

**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) № 6 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 № 4 від 20.12.2018 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

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Супрунцова Ю.А., Брунеткин А.И.</b><br>МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА ГАЗООБРАЗНОГО ГОРЮЧЕГО.....                                                        | 1  |
| <b>Супрунцова Ю.А., Брунеткин А.И.</b><br>АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ<br>УСЛОВНОЙ ФОРМУЛЫ ГОРЮЧЕГО ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА.....           | 7  |
| <b>Ткачук А.И., Доценко Н.В.</b><br>ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ.....                                                            | 11 |
| <b>Чернов М.Ю.</b><br>РАЗРАБОТКА В SCADA-СИСТЕМЕ TRACE MODE 6 ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ,<br>АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УДАЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ДЕАЭРАТОРЕ...16 |    |
| <b>Швец М.Ю., Заруба Д.С., Хохлов Ю.В.</b><br>ПОРІВНЯННЯ SQL ТА NOSQL БАЗ ДАНИХ.....                                                                            | 21 |
| <b>Щербак Д.В., Сирота О.П.</b><br>СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....                                                                              | 26 |

### ЕНЕРГЕТИКА

|                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Бойко С.М., Некрасов А.В., Борисенко О.М., Бондарець О.М., Онищенко А.О.</b><br>АСПЕКТИ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ЗА УМОВИ<br>ВПРОВАДЖЕННЯ ДО СИСТЕМИ ЇХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ..... | 30 |
| <b>Пантелєєва І.В.</b><br>СТАН РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ..                                                                                                                                     | 36 |
| <b>Стародуб А.О., Ложечнікова Н.В.</b><br>ДОСЛІДЖЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ<br>ЕКОНОМІЧНОСТІ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ У ТОПОЧНІЙ КАМЕРІ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50.....                                                     | 42 |
| <b>Нестерович С.О., Тарахтій О.С.</b><br>РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ<br>ІЗ PID, PI, I-РЕГУЛЯТОРАМИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ФАРФОРУ.....                                                  | 49 |

### МЕТАЛУРГІЯ

|                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Курпе О.Г., Кухар В.В., Шебаніц О.М.</b><br>ОСВОЄННЯ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНИХ РУЛОНІВ ІЗ МАРКИ СТАЛІ В<br>ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИРОБНИЦТВА ТРУБ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ API-5L<br>НА СТАНІ 1700 ПРАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА»..... | 56 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Гомеля М.Д., Шуриберко М.М., Голяка А.В.</b><br>ЗНЕКИСНЕННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ<br>НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОМІСТКИХ КОМПОЗИТІВ.....                                         | 64 |
| <b>Колб Ю.І., Конечна Р.Т., Новіков В.П.</b><br>ПРОГНОЗУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА “DRUG-LIKE” СПОЛУК РОДИНИ<br>RANUNCULACEAE ЯК ПОШУК НОВИХ ЕФЕКТИВНИХ ДІЮЧИХ РЕЧОВИН..... | 70 |
| <b>Рымар Т.Э.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ<br>ЖИДКОГО СТЕКЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА ГАЗООБРАЗУЮЩЕГО АГЕНТА.....                     | 77 |

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Смірнова О.О., Трохименко Г.Г., Гомеля М.Д.</b><br>АНАЛІЗ СТУПЕНЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД<br>ВІД НАФТОПРОДУКТІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЇ..... | 82 |
| <i>Статтю відкликано як таку, в якій виявлено академічний плагіат</i>                                                                        |    |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Твердохліб М.М., Гомеля М.Д.</b><br>ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ<br>ВІД СПОЛУК ЗАЛІЗА НА КАТАЛІТИЧНОМУ ФІЛЬТРІ..... | 87 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Фролова Л.А.</b><br>ФЕРИТИ ЯК ЕФЕКТИВНІ МАГНІТНІ АДСОРБЕНТИ<br>ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ КАТІОНІВ ХРОМУ (III) З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ..... | 92 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Valevskaya L.A., Ovsyannikova L.K., Sokolovskaya O.G., Orlova S.S., Grischuk Y.V.</b><br>COMPARATIVE ASSESSMENT OF CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL<br>AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF LAND SEED AND LAND CHIA..... | 97 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Кожевнікова В.О., Гушпіт Л.О., Ткачук О.В.</b><br>ПРЯНО-АРОМАТИЧНІ ДОБАВКИ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ІНГРЕДІЄНТ ПРОДУКТІВ<br>ОЗДОРОВЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО БІЗНЕСУ..... | 102 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Максимів Ю.І., Турчин І.М.</b><br>ВИКОРИСТАННЯ ОВОЧЕВОГО ПЮРЕ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ<br>ЦІННОСТІ МОЛОЧНОГО ПУДИНГУ..... | 107 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Миколенко С.Ю., Крикун Л.Ю.</b><br>РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗЕРНОВИХ ГАЛЕТ ІЗ ДИСПЕРГОВАНОЇ КУКУРУДЗИ ..... | 111 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Назаренко Ю.В., Трейтак Ю.А., Іващенко А.С.</b><br>ВИКОРИСТАННЯ КОЗИНОГО МОЛОКА У ХАРЧУВАННІ СУЧАСНОЇ ЛЮДИНИ..... | 116 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Перцевой Ф.В., Бідюк Д.О., Душенюк Д.К., Маренкова Т.І.</b><br>ОПТИМІЗАЦІЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ПОЛІСАХАРИДІВ У СИНЕРГЕТИЧНИХ КОМБІНАЦІЯХ<br>«СУЛЬФАТОВАНИЙ ПОЛІСАХАРИД – КОНЖАКОВИЙ ГЛЮКОМАННАН»..... | 124 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Перцевой Ф.В., Бідюк Д.О., Кошель О.Ю., Журахов В.А.</b><br>ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЦНОСТІ СТРУКТУРИ ГЕЛІВ НА ОСНОВІ БІНАРНОЇ КОМБІНАЦІЇ<br>ПОЛІСАХАРИДІВ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ..... | 129 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Скульська І.В., Цісарик О.Й.</b><br>ВПЛИВ БІОЗАХИСНОЇ КУЛЬТУРИ FRESH-Q НА ТЕРМІН ЗБЕРІГАННЯ БРИНЗИ,<br>ВИГОТОВЛЕНОЇ ЗА ВДОСКОНАЛЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ..... | 133 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Шершун М.І., Білей-Рубан Н.В.</b><br>ВИЗНАЧАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ<br>ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЖІНОЧИХ СУКОНЬ З ДЕКОРУВАННЯМ..... | 139 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## ТРАНСПОРТ

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Босий Д.О., Антонов А.В., Косарєв Є.М., Михайлов В.С.</b><br>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНИХ ПІДВІСОК<br>НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СТРУМОЗНІМАННЯ..... | 145 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Воропай В.С., Черкасова В.В., Ягмурджи А.А.</b><br>СИНХРОНІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ЦЕНТРУ ЗЕРНОВИХ<br>ТА МАСЛЯНИСТИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ НЕЧІТКОГО ТА НЕСТАБІЛЬНОГО<br>ФІНАНСУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ УКРАЇНИ..... | 152 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Литвиненко В.П., Вагнер М.А., Спиридонов В.В.</b><br>ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ЦИКЛЕ РАБОТЫ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ.. | 156 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Славін В.В., Томаш В.В.</b><br>ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ АВТОМОБІЛІВ НА ОТОЧУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ..... | 162 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Шелудченко Л.С., Поліщук Д.В., Комарніцький С.П., Носко В.Л., Кобринська Л.В.</b><br>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ<br>ДОРОГИ ШЛЯХОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ..... | 167 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **БУДІВНИЦТВО**

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Валовой О.І., Єрмоменко О.Ю., Валовой М.О., Афанасьєв В.В., Герб П.І.</b><br>НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ БАЛОК ІЗ СУМІСНИМ АРМУВАННЯМ<br>БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ ..... | 173 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Леренко Г.М.</b><br>ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА НА ҐРУНТАХ, ЩО НАБРЯКАЮТЬ.<br>МОЖЛИВІСТЬ ЗАКРІПЛЕННЯ НАБРЯКАЮЧИХ ҐРУНТІВ..... | 180 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Новомлинець О.О., Прибитько І.О., Ющенко С.М., Величко О.О.</b><br>ОГЛЯД СУЧАСНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ..... | 184 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Постернак А.А., Кравченко С.А., Агафонова І.П., Иванова С.С.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ<br>ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА МНОГОКОМПОНЕНТНОМ<br>ВЯЖУЩЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ..... | 189 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Самченко Р.В., Юхименко А.І.</b><br>ВРАХУВАННЯ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ ОСНОВ ЗА НАСЛІДКАМИ<br>ЇХ ОБТИСНЕННЯ ФУНДАМЕНТАМИ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ<br>ДЛЯ УСУНЕННЯ ЇХ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ..... | 194 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Стоянов В.В., Жгалли Ш.</b><br>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ<br>ВЕТРОВЫХ И СНЕГОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ..... | 199 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Трач Р.В.</b><br>ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕРБОК ПІД ЧАС РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ У БУДІВНИЦТВІ..... | 208 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **ГЕОДЕЗІЯ**

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Мамонов К.А.</b><br>ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ<br>ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ РЕГІОНУ..... | 212 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Пілічева М.О., Попик Н.В.</b><br>ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОБУДОВИ РЕЛЬЄФУ<br>ТА УХИЛІВ МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ПОТРЕБ..... | 217 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Поморцева О.Є.</b><br>МОДЕЛЮВАННЯ РОЗТАШУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ<br>ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ..... | 222 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **ЕЛЕКТРОНІКА**

|                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Оксанич А.П., Притчин С.Е., Когдась М.Г., Холод О.Г., Машенко М.А.</b><br>УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ПОРУВАТОГО ШАРУ НА ПІДКЛАДКАХ N-GaAs..... | 228 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

---

## CONTENTS

### INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

**Supruntsova Yu.A., Brunetkin A.I.**

MODEL OF CALCULATION OF THE CHANGING COMPOSITION OF GASEOUS BURIAL.....1

**Supruntsova Yu.A., Brunetkin A.I.**

ANALYSIS OF THE OPPORTUNITY OF A DIRECT SOLUTION OF THE TASK  
OF DETERMINING THE CONDITIONAL FORMULA OF A COMBUSTIBLE  
VARIABLE COMPOSITION .....7

**Tkachuk A.I., Dotsenko N.V.**

FEATURES OF THE PROJECT PORTFOLIO MANAGEMENT SYSTEM INTRODUCTION.....11

**Chernov M.Yu.**

DEVELOPMENT OF SCADA-SYSTEM TRACE MODE 6 SIMULATION MODEL,  
AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM REMOVAL OF OXYGEN IN THE DEAERATOR .....16

**Shvets M.Yu., Zaruba D.S., Hohlov Yu.V.**

COMPARISON OF SQL AND NOSQL DATABASES.....21

**Shcherbak D.V., Syrota O.P.**

A PERSONALIZED LEARNING RECOMMENDATION SYSTEM .....26

### POWER ENGINEERING

**Boiko S.M., Nekrasov A.V., Borysenko O.M., Bondarets O.M., Onichenko A.O.**

ASPECTS MODEL OF FORECASTING ELECTRICITY OF ENTERPRISES,  
ON THE CONDITIONS OF IMPLEMENTATION TO THEIR SYSTEM  
OF ELECTRICAL SUPPLY OF DISPOSABLE GENERATION .....30

**Panteleeva I.V.**

STATE OF DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS  
IN ELECTRICAL NETWORKS.....36

**Starodub A.O., Lozhechnikova N.V.**

STUDY OF THE IMPROVED AUTOMATIC SYSTEM OF REGULATION  
OF THE ECONOMY OF THE COMBUSTION PROCESS IN THE FLOWING CHAMBER  
OF THE STEAM BOILER GM-50 .....42

**Nesterovich S.A., Tarakhtii O.S.**

MODEL DEVELOPMENT FOR QUALITY CONTROL MIXING COMPONENTS  
WITH PID, PI, AND REGULATORS AT MANUFACTURING  
ELECTROTECHNICAL PORCELAIN.....49

### METALLURGY

**Kurpe O.H., Kukhar V.V., Shebanits O.M.**

DEVELOPING THE PRODUCTION OF HOT-ROLLED COILS OF STEEL GRADE B  
FOR FURTHER MANUFACTURING OF PIPES IN ACCORDANCE  
WITH API-5L REQUIREMENTS AT ROLLING MILL 1700, PJSC “ILYICH IRON  
AND STEEL WORKS” .....56

### CHEMICAL TECHNOLOGY

**Homelia M.D., Shuryberko M.M., Holiaka A.V.**

DEOXYGENATION OF WATER WITH HELP DOWNLOAD BASED  
ON IRON-CONTAINING COMPOSITES .....64

---

|                                                                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Kolb Yu.I., Konechna R.T., Novikov V.P.</b><br>PROGNOSIS OF BIOLOGICAL ACTIVITY AND DRUG-LIKE COMPLEX OF THE<br>RANUNCULACEAE FAMILY AS A SEARCH FOR NEW EFFECTIVE ACTIVE SUBSTANCES .....                            | 70  |
| <b>Rymar T.E.</b><br>STUDY OF THE STRUCTURE OF HEAT-INSULATING MATERIALS BASED<br>ON LIQUID GLASS DEPENDING ON THE AMOUNT OF GAS-FORMING AGENT .....                                                                     | 77  |
| <b>Smirnova O.O., Trokhymenko G.G., Homelia M.D.</b><br>ANALYSIS OF THE DEGREE OF WASTEWATER TREATMENT<br>FROM PETROLEUM PRODUCTS BY ELECTROFLOTATION .....                                                              | 82  |
| <i>The article was retracted because of academic plagiarism</i>                                                                                                                                                          |     |
| <b>Tverdokhlib M.M., Homelia M.D.</b><br>STUDY OF THE DYNAMICS PROCESS OF WATER PURIFICATION<br>FROM IRON COMPOUNDS ON THE CATALYTIC FILTER .....                                                                        | 87  |
| <b>Frolova L.A.</b><br>MAGNETIC FERRITES AS AN EFFICIENT ADSORBENT<br>FOR THE REMOVAL CR(III) FROM AQUEOUS SOLUTIONS .....                                                                                               | 92  |
| <b>TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY</b>                                                                                                                                                         |     |
| <b>Valevskaya L.A., Ovsyannikova L.K., Sokolovskaya O.G., Orlova S.S., Grischuk Y.V.</b><br>COMPARATIVE ASSESSMENT OF CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL<br>AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF LAND SEED AND LAND CHIA ..... | 97  |
| <b>Kozhevnikova V.O., Hushpit L.O., Tkachuk O.V.</b><br>AROMATIC ADDITIVES AS FUNCTIONAL INGREDIENTS OF HEALTHY PRODUCTS<br>FOR CATERING ESTABLISHMENTS .....                                                            | 102 |
| <b>Maximov Yu.I., Turchyn I.M.</b><br>USE OF VEGETABLE PUREE FOR INCREASE OF BIOLOGICAL VALUE OF MILK PUDDING ....                                                                                                       | 107 |
| <b>Mykolenko S.Yu., Krykun L.Yu.</b><br>DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF DISPERSED CORN HARDTACKS .....                                                                                                                      | 111 |
| <b>Nazarenko Yu.V., Treitiak Yu.A., Ivashchenko A.S.</b><br>USE OF GOAT'S MILK IN THE FOOD OF A MODERN PERSON .....                                                                                                      | 116 |
| <b>Pertsevoi F.V., Bidyuk D.O., Dushenok D.K., Marenkova T.I.</b><br>OPTIMIZATION OF GELLING AGENT RATIOS IN SYNERGETIC COMBINATION<br>"SULPHATED POLYSACCHARIDE – KONJACK GLUCOMMANNAN" .....                           | 124 |
| <b>Pertsevoi F.V., Bidyuk D.O., Koshel O.Yu., Zhurahov V.A.</b><br>DEPENDENCE OF STRENGTH OF GEL STRUCTURE BASED ON BINARY COMBINATION<br>OF POLYSACCHARIDES FROM TECHNOLOGICAL FACTORS .....                            | 129 |
| <b>Skulska I.V., Tsisaryk O.Y.</b><br>INFLUENCE OF FRESH-Q BIOSECURITY CULTIVATION ON THE GREENHOUSE<br>STORAGE TIME BRYNZA, MANUFACTURED BY EASTERN TECHNOLOGY .....                                                    | 133 |
| <b>Shershun M.I., Bilei-Ruban N.V.</b><br>DETERMINATIVE PROPERTIES OF MODERN MATERIALS<br>FOR THE MANUFACTURE OF WOMEN'S DRESSES WITH DECORATION .....                                                                   | 139 |
| <b>TRANSPORT</b>                                                                                                                                                                                                         |     |
| <b>Bosiy D.O., Antonov A.V., Kosariyev Ye.M., Mikhailov V.S.</b><br>INVESTIGATION OF CONTACT DETERMINATION PARAMETERS INFLUENCE<br>ON THE QUALITY INDICATORS OF STRUCTURE .....                                          | 145 |

**Voropai V.S., Cherkasova V.V., Yahmurji A.A.**

SYNCHRONIZATION OF LOGISTIC PORT OF CENTER OF GRAIN AND OILY CROPS  
IN THE CONDITIONS OF UNCLEAR AND UNSTABLE FINANCING  
OF INDUSTRIAL DISTRICT OF UKRAINE .....152

**Litvinenko V.P., Vagner M.A., Spiridonov V.V.**

PECULIARITIES OF GAS DYNAMIC PROCESS IN A CYCLE OF A SHIP DIESEL ENGINE .....156

**Slavin V.V., Tomash V.V.**

THE REDUCING OF HARMFUL EFFECTS OF AUTOMOBILE ON ENVIRONMENT.....162

**Sheludchenko L.S., Polishchuk D.V., Komarnitskiy S.P., Nosko V.L., Kobrinskya L.V.**

PROVIDING THE OPERATING RELIABILITY OF THE CONSTRUCTION  
OF THE AUTOMOTIVE ROAD BY THE INVESTIGATION OF ITS RHEOLOGICAL PROPERTIES..... 167

## CONSTRUCTION

**Valovoi O.I., Yeromenko O.Yu., Valovoi M.O., Afanasyev V.V., Gerb P.I.**

BEARING ABILITY OF BEAMS WITH COMBINED REINFORCEMENT USING  
BASALT FIBER REINFORCED POLYMER AND METAL ARMATURE.....173

**Levenko G.M.**

FEATURES OF CONSTRUCTION ON SWELLING SOILS.

THE POSSIBILITY OF FIXING SWELLING SOILS.....180

**Novomlynets O.O., Prybytko I.O., Yushchenko S.M., Velychko O.O.**

REVIEW OF CURRENT ROBOTIZED TECHNOLOGIES OF MASONRY .....184

**Posternak A.A., Kravchenko S.A., Agafonova I.P., Ivanova S.S.**

THE STUDY OF FLEXIBLE ELEMENTS OF CONCRETE ON MULTICOMPONENT  
BINDER UNDER THE ACTION OF SHORT-TERM LOAD .....189

**Samchenko R.V., Yukhymenko A.I.**

TAKING INTO ACCOUNT THE CHANGES IN THE SOILS CHARACTERISTICS  
UNDER THE INFLUENCE OF PROLONGED DEFLECTION BY THE FOUNDATIONS  
DURING THE BUILDINGS OPERATION WHEN ELIMINATING THEIR DEFORMED STATE .....194

**Stojanov V.V., Jgalli S.**

COMPARATIVE ANALYSIS OF TURBULENCE MODELS FOR SIMULATION  
OF WIND AND SNOW EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES .....199

**Trach R.V.**

CAUSES OF REWORK ON THE CONSTRUCTION PROJECT.....208

## GEODESY

**Mamonov K.A.**

THEORETICAL APPROACHES TO THE DEFINITION  
OF TERRITORIAL DEVELOPMENT OF LAND USE IN THE REGION .....212

**Pilicheva M.O., Popyk N.V.**

THE GEOINFORMATION TECHNOLOGIES OF AUTOMATION OF THE RELIEF  
AND SLOPES CONSTRUCTING FOR LAND MANAGEMENT NEEDS .....217

**Pomortseva O.E.**

MODELING OF THE LOCATION OF ENVIRONMENTALLY  
HAZARDOUS OBJECTS BY GEOINFORMATION SYSTEMS.....222

## ELECTRONICS

**Oksanich A.P., Pritchyn S.E., Kogdas M.G., Holod O.G., Maschenko M.A.**

IMPROVING THE METHOD OF RECEIVING THE PURPOSE OF THE N-GAAS DEPOSITS.....228

# ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 681.51

**Супрунцова Ю.А.**

Одесский национальный политехнический университет

**Брунеткин А.И.**

Одесский национальный политехнический университет

## МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА ГАЗООБРАЗНОГО ГОРЮЧЕГО

*В статье рассмотрена возможность снижения энергоемкости производства как доли стоимости (а не количества для энергоэффективности) энергоресурсов в стоимости продукции, которая выпускается. Это возможно без повышения энергоэффективности и без сопутствующих значительных финансовых вложений. Речь идет об использовании альтернативных видов топлива. Исследована математическая модель расчета переменного состава газообразного горючего.*

**Ключевые слова:** горючее переменного состава, состав горючего, состав продуктов сгорания, алгоритм решения.

**Постановка проблемы.** Высокая стоимость традиционных энергоносителей, выступающих, в том числе, и в качестве сырья для химической промышленности, обуславливает интерес к использованию вспомогательных (вторичных) горючих газов, имеющих гораздо более низкую стоимость или даже требующих вложения дополнительных средств для парирования их вредного воздействия на окружающую среду. Например:

- выносимых на поверхность вентиляционными и дегазационными системами угольных шахт (смесь метана с воздухом);
- образующихся при реализации некоторых технологических процессов (газы коксовых и доменных производств, газы нефтепереработки);
- образующихся при переработке отходов (газы со свалок, из метантенков, из пиролизных установок) и т.д.

Их полномасштабная утилизация как путем сжигания с целью получения энергии, так и путем использования в качестве химического сырья, позволит не только уменьшить долю стоимости энергоносителей и сырья в стоимости конечной продукции без вложения на начальном этапе значительных средств в технологии энергосбережения, но и уменьшит вредные выбросы или экономит средства, выделяемые на парирование их вредного влияния.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Широкий спектр разнообразных вторичных энергоносителей привел к разработке различных способов мониторинга качества процессов их переработки с целью коррекции расходов горючего и окислителя для организации оптимальных реакций.

Оптимальность может проявляться по-разному. Так в случае сжигания топлива только в энергетических целях (нагрев теплоносителя, производство пара) необходимо обеспечить стехиометрическое (или близкое к нему) соотношение горючего и окислителя. При сжигании же топлива, например, в печах без окислительного нагрева или с целью получения синтез-газа процесс протекает при существенном недостатке окислителя. При этом коэффициент соотношения горючего и окислителя строго регламентируется. Отмеченные случаи не охватывают всех возможных вариантов использования вторичных энергоресурсов, но позволяют выделить два направления обеспечения оптимальности технологических процессов:

1. стехиометрическое соотношение горючего и окислителя подразумевает экстремальность характеристик протекающих процессов. На этом и основаны методы мониторинга их оптимальности. Например:

– компанией *General Electric* разработан [1] и запатентован регулятор *LEANOX®* для газопоршневых двигателей, работающих на рудничном газе. Использование такого газа сопровождается скачкообразным изменением его состава из действующих угольных разработок. Предложенная система фиксирует уменьшение мощности двигателя из-за изменения теплоты сгорания топлива и производит регулирование подачи горючего газа и воздуха;

– в [2] предложена корреляционно-экстремальная система управления процессами горения смеси газов в топке парового котла на основе текущих оценок КПД. Работа этой системы обеспечивает минимальные потери, что соответствует соотношению компонентов близкому к стехиометрическому и, следовательно, максимальную температуру в топке;

– определение в дымовых газах наличия кислорода или угарного газа (недожог). Регулирование процесса горения может производиться путем изменения подачи воздуха. Соотношение горючего и окислителя, близкое к стехиометрическому, обеспечивает одновременную минимизацию как  $O_2$ , так и  $CO$ ;

– прямое измерение температуры в топке. Регулирование процесса горения может производиться путем изменения подачи воздуха с помощью экстремального регулятора. Соотношению горючего и окислителя, близкое к стехиометрическому, соответствует максимальная температура. Следует подчеркнуть, что важно определить не величину температуры, а отметить ее максимум.

2. Строгая регламентация в ряде технологических процессов коэффициента избытка окислителя, существенно отличающегося от стехиометрического, требует знания химического состава поступающего горючего и расчета необходимого количества известного окислителя. Определение состава горючего может происходить различными методами. Например:

- в рамках классической аналитической химии;
- с помощью различного рода газоанализаторов;
- с помощью хроматографии, относящейся к аналитической химии.

**Постановка задания.** Существующие методы обеспечения оптимальности использования вторичных энергоресурсов не позволяют в полной мере реализовать потенциал ресурсов. Это обусловлено либо узкой избирательностью некоторых методов по отношению к составу горючего, либо не оперативностью получения результатов

анализа составляющих, а также сложностью аналитических исследований.

Необходим метод, позволяющий определять изменяющийся состав, а также энергосодержание (энтальпию) используемого вторичного энергоресурса со скоростью, не зависящей или мало зависящей от количества компонентов, входящих в его состав. Чтобы избежать влияния квалификации обслуживающего персонала, анализ должен производиться в автоматическом режиме. Используемые измерительные приборы должны входить в перечень существующих штатных. Это необходимо для того, чтобы их обслуживание, ремонт, замену мог осуществлять имеющийся персонал

**Изложение основного материала исследования.** Для выяснения особенностей построения модели этот процесс будем осуществлять с привлечением примера сжигания спирта в воздухе. Запишем условные формулы горючего и окислителя. С учетом химической структуры этилового спирта его формула имеет вид:  $C_2H_5(OH)$ . Исходя из условий построения модели, нет необходимости учитывать структуру рассматриваемого вещества. В этом случае условная формула горючего имеет вид:



Здесь  $b_c, b_h, b_o$  – количество соответствующих атомов в условной формуле горючего. Для этилового спирта:

$$b_c=2, b_h=6, b_o=1. \quad (2)$$

В качестве окислителя рассмотрим воздух. Его состав в объемных долях соответствует приблизительно: 21% –  $O_2$  кислород, 78% –  $N_2$  азот и 1% приходится на различные примеси в виде аргона, углекислого газа и других, в общем инертных, примесей. Все эти примеси не участвуют в процессе горения также, как и азот. В силу этого для упрощения расчетов все примеси представим в виде еще 1% –  $N_2$ . В конечном итоге воздух в расчетах представляется исходя из состава: 21% –  $O_2$  кислород, 79% –  $N_2$ . Условная формула строится исходя из количества атомов, входящих, например, в структурную формулу. Поэтому перейдем от объемных к массовым долям. Примем атомные массы:

$$\mu_O=15.9994; \mu_N=14.0070. \quad (3)$$

В этом случае с учетом принятого процентного состава формула воздуха будет иметь вид:



Рассмотрим реакцию горения спирта в кислороде при их стехиометрическом соотношении:



Из (5) следует, что для стехиометрического сжигания одного моля спирта необходимо три моля кислорода. Другими словами, для пары спирт кислород мольный стехиометрический коэффициент имеет значение

$$\chi_0^O = 3 \quad (6)$$

С учетом же принятого состава окислителя в виде воздуха (4) мольный стехиометрический коэффициент реакции будет равен:

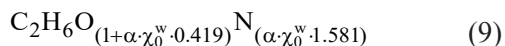
$$\chi_0^w = 14.32 \quad (7)$$

Реакции горения в энергетическом оборудовании идут не обязательно в стехиометрическом соотношении. Это учитывается введением коэффициента избытка окислителя и все соотношения реакций строятся с использованием мольного коэффициента соотношения компонентов:

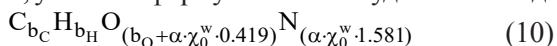
$$\chi^w = \alpha \cdot \chi_0^w \quad (8)$$

Коэффициента избытка окислителя показывает превышение мольного коэффициента соотношения компонентов над мольным стехиометрическим.

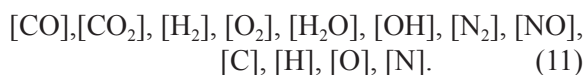
Расчет состава продуктов сгорания ведется на основе условной формулы топлива, включающей горючее и окислитель с учетом величины  $\alpha$ . Так для этилового спирта с учетом (1), (2), (4), (7) и (8) эта формула будет иметь вид:



В общем виде для произвольного углеводородного кислородсодержащего горючего, сжигаемого в воздухе, условная формула топлива будет иметь вид:



Запишем перечень веществ и ионов, которые могут образоваться в процессе горения такого топлива:



Определение состава продуктов сгорания заключается в нахождении количественного соотношения газов из этого перечня. Количество неизвестных в модели определяется перечнем веществ в (11).

При варьировании коэффициента избытка окислителя  $\alpha$  будет меняться количество и состав образующихся веществ. Например, при  $\alpha < 1$ , т.е. при нехватке окислителя, в смеси может отсутствовать  $[O_2]$  и присутствовать  $[CO]$  и  $[H_2]$ . В противоположность этому при  $\alpha > 1$  появляются  $[O_2]$  и  $[no]$ , но исчезают  $[CO]$  и  $[H_2]$ . В состав продуктов сгорания могут входить и другие вещества более сложного состава, но при любой величине  $\alpha$  их количество будет исчезающе мало. Поэтому в рас-

четах они не принимаются во внимание. Таким образом в (11) приведен перечень веществ, охватывающий практически важные случаи.

Рассмотрим уравнения химического равновесия для веществ из списка (11). Их перечень приведен в таблице

Таблица

**Основные реакции образования  
зависимых веществ**

|   |                               |   |                            |   |                            |
|---|-------------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|
| 1 | $CO \leftrightarrow C + O$    | 4 | $OH \leftrightarrow H + O$ | 7 | $N_2 \leftrightarrow 2H$   |
| 2 | $CO_2 \leftrightarrow C + 2O$ | 5 | $H_2 \leftrightarrow 2H$   | 8 | $NO \leftrightarrow N + O$ |
| 3 | $H_2O \leftrightarrow 2H + O$ | 6 | $O_2 \leftrightarrow 2O$   |   |                            |

Для уравнений, приведенные в таблице, можно записать закон действующих масс, который представляет собой отношение концентрации веществ соответствующих реакций, являющийся константой химического равновесия. Так, например, для второго уравнения из таблицы выражение закона будет иметь вид:

$$\frac{c(C) \cdot c^2(O)}{c(CO_2)} = K_{CO_2}(T) \quad (12)$$

Здесь  $c(C)$ ,  $c(O)$ ,  $c(CO_2)$  – мольные концентрации соответственно углерода, кислорода и углекислого газа,  $K_{CO_2}(T)$  – константа химического равновесия образования углекислого газа при некоторой температуре  $T$ . Показатель степени определяется коэффициентом при соответствующем химическом элементе. Уравнения вида (12), записанные для веществ из таблицы являются частью разрабатываемой модели.

Удобнее состав смеси газов определять не через концентрации, а через их парциальные давления. Уравнения вида (12) можно выразить и через эти величины. Мольные концентрации продуктов сгорания определяются по отношению, например, к одному молю топлива на основании выражения (10). Для замены концентраций на парциальные давления дополнительно к ним введем еще одну переменную  $M_T$  – количество рассматриваемых молей топлива. Ее величину будем не выбирать, а определять в процессе расчетов таким образом, чтобы величины парциальных давлений продуктов сгорания численно были равны их концентрациям. Таким образом всего модель включает 13 неизвестных величин: 12 парциальных давлений газов (11) в продуктах сгорания и число молей  $M_T$  рассматриваемого количества топлива.

Первые 8 уравнений запишем, выражая через парциальные давления продуктов сгорания закон действующих масс для реакций из Таблицы:

$$\frac{P_C \cdot P_O}{P_{CO}} = K_{CO}(T) \quad (12) \quad \frac{P_C \cdot P_O^2}{P_{CO_2}} = K_{CO_2}(T) \quad (13) \quad \frac{P_H^2 \cdot P_O}{P_{H_2O}} = K_{H_2O}(T) \quad (14)$$

$$\frac{P_H \cdot P_O}{P_{OH}} = K_{OH}(T) \quad (15) \quad \frac{P_H^2}{P_{H_2}} = K_{H_2}(T); \quad (16) \quad \frac{P_O^2}{P_{O_2}} = K_{O_2}(T) \quad (17)$$

$$\frac{P_N^2}{P_{N_2}} = K_{N_2}(T) \quad (18) \quad \frac{P_N \cdot P_O}{P_{NO}} = K_{NO}(T) \quad (19)$$

Константы химического равновесия табулированы в соответствующих справочниках и в расчетах для соответствующей температуры могут быть выбраны или рассчитаны с помощью аппроксимационных полиномов. Кроме того, они могут быть рассчитаны на основе энтальпий образования и энтропий веществ, входящих в рассматриваемые реакции, которые, в свою очередь, также табулированы или могут быть рассчитаны на основе аппроксимационных полиномов.

Следующие 4 уравнения запишем, выражая закон сохранения вещества в виде равенства количества атомов соответствующего химического элемента в топливе и продуктах сгорания. Воспользуемся тем, что в рассматриваемом случае парциальные давления газов в продуктах сгорания численно равны их концентрациям. Количество атомов в топливе берем на основании выражения (10) с учетом количества рассматриваемых его молекул:

$$\text{для [C]} \quad b_C \cdot M_T = P_{CO} + P_{CO_2} + P_C; \quad (21)$$

$$\text{для [H]} \quad b_H \cdot M_T = 2 \cdot P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{H_2} + P_H; \quad (22)$$

$$\text{для [O]} \quad (b_O + \alpha \cdot \chi_0^w \cdot 0.419) \cdot M_T = P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{O_2} + P_{NO} + P_O; \quad (23)$$

$$\text{для [N]} \quad (\alpha \cdot \chi_0^w \cdot 1.581) \cdot M_T = 2 \cdot P_{N_2} + P_{NO} + P_N. \quad (24)$$

Для замыкания системы в качестве последнего уравнения запишем закон Дальтона, выражающий равенство суммы парциальных давлений продуктов сгорания давлению в камере сгорания (топке)  $P_\Sigma$ :

$$P_\Sigma = P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + P_{H_2} + P_{O_2} + P_{N_2} + P_{NO} + P_C + P_H + P_O + P_N. \quad (25)$$

Модель представляет собой систему нелинейных алгебраических уравнений и в процессе ее решения требует линеаризации. Для уменьшения разницы между обусловленными парциальными давлениями (она может достигать 10-15 порядков) и, соответственно, до уменьшения погрешности и увеличения стойкости решения, все уравнения выходной системы логарифмируются. Это приводит к тому, что члены модифицированной системы остаются нелинейными, но будут отличаться между собой не больше, чем в 10-15 раз.

При линеаризации, которая проводится обычным образом, с использованием в качестве

аргументов величин (парциальных давлений продуктов сгорания), поправки будут определяться для них. Следовательно, они будут отличаться между собой на те же 10-15 раз. Чтобы избежать этого, в качестве аргументов при дифференцировании используют логарифмы искоемых аргументов (парциальных давлений и величин). Члены уравнений являются логарифмами любых функций. Все уравнения имеют вид:  $\sum \{ \ln[f(x_i)] \}$

В связи с этим для выполнения линеаризации необходимо найти производную вида:

$$d \sum \{ \ln[f(x_i)] \} / d \ln(x_i) = \sum \{ d \ln[f(x_i)] / d \ln(x_i) \}.$$

Особенностью системы после логарифмирования является линейный характер функции  $f(x_i)$ . По этой причине форма производной будет иметь вид:

$$d \ln(k \cdot x + a) / d \ln(x),$$

где  $k, a$  – постоянная. В итоге:

$$d \ln(k \cdot x + a) / d \ln(x) = k \cdot x / (k \cdot x + a). \quad (26)$$

Для упрощения записи модели в дальнейшем выражение  $\Delta[\ln(P_O)]$  будет представляться как  $\Delta_O$ , а, например,  $\Delta[\ln(P_{CO_2})]$  как  $\Delta_{CO_2}$ .

После линеаризации с учетом (2) модель в отклонениях имеет вид:

$$1 \cdot \Delta_C + 1 \cdot \Delta_O - 1 \cdot \Delta_{CO} \quad (1) \cdot \{ \ln(P_C) + \ln(P_O) - \ln(P_{CO}) - \ln[K_{CO}(T)] \}^*, \quad (27)$$

$$1 \cdot \Delta_C + 2 \cdot \Delta_O - 1 \cdot \Delta_{CO_2} \quad (1) \cdot \{ \ln(P_C) + 2 \cdot \ln(P_O) - \ln(P_{CO_2}) - \ln[K_{CO_2}(T)] \}^*, \quad (28)$$

$$2 \cdot \Delta_H + 1 \cdot \Delta_O - 1 \cdot \Delta_{H_2O} \quad (1) \cdot \{ 2 \cdot \ln(P_H) + \ln(P_O) - \ln(P_{H_2O}) - \ln[K_{H_2O}(T)] \}^*, \quad (29)$$

$$1 \cdot \Delta_H + 1 \cdot \Delta_O - 1 \cdot \Delta_{OH} \quad (1) \cdot \{ \ln(P_H) + \ln(P_O) - \ln(P_{OH}) - \ln[K_{OH}(T)] \}^*, \quad (30)$$

$$2 \cdot \Delta_H - 1 \cdot \Delta_{H_2} \quad (1) \cdot \{ 2 \cdot \ln(P_H) - \ln(P_{H_2}) - \ln[K_{H_2}(T)] \}^*, \quad (31)$$

$$2 \cdot \Delta_O - 1 \cdot \Delta_{O_2} \quad (1) \cdot \{ 2 \cdot \ln(P_O) - \ln(P_{O_2}) - \ln[K_{O_2}(T)] \}^*, \quad (32)$$

$$2 \cdot \Delta_N - 1 \cdot \Delta_{N_2} \quad (1) \cdot \{ 2 \cdot \ln(P_N) - \ln(P_{N_2}) - \ln[K_{N_2}(T)] \}^*, \quad (33)$$

$$1 \cdot \Delta_H + 1 \cdot \Delta_O - 1 \cdot \Delta_{NO} \quad (1) \cdot \{ \ln(P_H) + \ln(P_O) - \ln(P_{NO}) - \ln[K_{NO}(T)] \}^*, \quad (34)$$

$$\text{для [C]} \quad \frac{P_{CO}}{A} \Delta_{CO} + \frac{P_{CO_2}}{A} \Delta_{CO_2} + \frac{P_C}{A} \Delta_C - 1 \cdot \Delta_{M_T} - (-1) \cdot \{ \ln(A) - \ln(M_T) - \ln(b_C) \}^*, \quad (35)$$

где  $A = P_{CO} + P_{CO_2} + P_C$ ;

$$\frac{2 \cdot P_{H_2O}}{B} \Delta_{H_2O} + \frac{P_{OH}}{B} \Delta_{OH} + \frac{2 \cdot P_{H_2}}{B} \Delta_{H_2}.$$

$$\text{для [H]} \quad \Delta_{H_2} + \frac{P_H}{B} \Delta_H - 1 \cdot \Delta_{M_T} - \quad (36)$$

где  $B = 2 \cdot P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{H_2} + P_H$ ;

$$\begin{aligned} & \frac{P_{CO}}{B} \cdot \Delta_{CO} + \frac{2 \cdot P_{CO_2}}{B} \cdot \Delta_{CO_2} + \frac{P_{H_2O}}{B} \cdot \Delta_{H_2O} + \\ \text{для [O]} & + \frac{P_{OH}}{B} \cdot \Delta_{OH} + \frac{2 \cdot P_{O_2}}{B} \cdot \Delta_{O_2} + \\ & + \frac{P_{NO}}{B} \cdot \Delta_{NO} + \frac{P_{N_2}}{B} \cdot \Delta_{N_2} - 1 \cdot \Delta_{M_T} - \end{aligned} \quad (37)$$

где  $B = P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{O_2} + P_{NO} + P_{O_2}$ ;

$$\begin{aligned} & \frac{P_{H_2}}{B} \cdot \Delta_{H_2} + \frac{P_{H_2O}}{B} \cdot \Delta_{H_2O} + \frac{P_{NO}}{B} \cdot \Delta_{NO} + \\ \text{для [N]} & + \frac{P_{N_2}}{B} \cdot \Delta_{N_2} - 1 \cdot \Delta_{M_T} - \\ & - (-1) \cdot [\ln(B) - \ln(M_T) - \ln(\alpha \cdot \chi_O^w)] \end{aligned} \quad (38)$$

где  $\Gamma = 2 \cdot P_{N_2} + P_{NO} + P_{N_2}$ ;

$$\begin{aligned} & \frac{P_{CO}}{D} \cdot \Delta_{CO} + \frac{P_{CO_2}}{D} \cdot \Delta_{CO_2} + \frac{P_{H_2O}}{D} \cdot \Delta_{H_2O} + \\ \text{для [PΣ]} & + \frac{P_{OH}}{D} \cdot \Delta_{OH} + \frac{P_{O_2}}{D} \cdot \Delta_{O_2} + \frac{P_{NO}}{D} \cdot \Delta_{NO} + \\ & + \frac{P_{N_2}}{D} \cdot \Delta_{N_2} + \frac{P_{H_2}}{D} \cdot \Delta_{H_2} + \frac{P_{H_2O}}{D} \cdot \Delta_{H_2O} + \frac{P_{NO}}{D} \cdot \Delta_{NO} + \\ & + \frac{P_{N_2}}{D} \cdot \Delta_{N_2} + \frac{P_{H_2}}{D} \cdot \Delta_{H_2} - (-1) \cdot [\ln(D) - \ln(P_x)]^* \end{aligned} \quad (39)$$

где  $D = P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + P_{H_2} + P_{O_2} + P_{N_2} + P_{NO} + P_{CO} + P_{H_2} + P_{O_2} + P_{N_2}$ .

В приведенных выше уравнениях часть, указанная верхним индексом (\*), относится к начальному приближению.

В записанной выше линеаризованной модели (27-33) выражается закон действующих. Уравнения (28-37) отображают закон сохранения жидкости. В виде уравнения (29) записан закон Дальтона.

Особенностью предложенной модели является замена мольного коэффициента соотношения компонентов  $\chi_i^w$  на  $\alpha \cdot \chi_i^w$ . Для его использования необходимы знания двух величин, которые могут быть определены только при знании состава топлива

и окислителя (воздуха). Предлагается изменить его на величину измеряемого технологического параметра – отношение объемных расходов окислителя и топлива. Такая замена справедлива для газообразных компонентов потому, что мольные объемы любых газов – одинаковые. Тогда отношение объемных расходов окислителя и топлива соответствует мольному соотношению компонентов даже для газов неизвестного состава.

Решение строится на предположении про изохэнтальпийность процесса в камере сгорания (топке) энергетического оборудования. Для выбранной пары топливо-окислитель с известными для них энтальпиями  $I^{(T)}$  и  $I^{(O)}$  и заданной величины  $\chi^w$  мольного коэффициента соотношения компонентов вычисляется энтальпия топлива  $I^{(T)} = I^{(T)} + \chi^w \cdot I^{(O)}$ .

**Выводы.** При разработке и доведении до практической реализации в виде программного обеспечения модели определения на основе измеряемых технологических параметров в виде объемных расходов горючего и воздуха, а также температуры пламени, произвольного переменного состава газообразного горючего в процессе его горения в специальном устройстве в режиме реального времени.

На основе уравнений химической кинетики, а также законов сохранения материального баланса предложена математическая модель определения переменного состава газообразного топлива в модельном представлении его условной формулы, которая позволяет за счет использования измеренных расходов и температуры пламени в процессе сжигания в специальном устройстве горючего в воздухе, определять состав условной формулы газообразного топлива и его теплотворной способности и дает возможность организовать процесс эффективного управления процессом сжигания топлива переменного состава.

#### Список литературы:

1. Сайт подразделения «GE Energy» компании General Electric. URL: [http://www.ge-energy.com/products\\_and\\_services/products/gas\\_engines\\_power\\_generation/gas\\_engines\\_jenbacher\\_type\\_2.jsp](http://www.ge-energy.com/products_and_services/products/gas_engines_power_generation/gas_engines_jenbacher_type_2.jsp)
2. Казаринов Л.С., Кинаш А.В. Способ экстремальной автоматической системы регулирования процессами горения в топке парового котла при использовании смеси газов. Материалы 67-й научно-технической конференции: ГОУ ВПО «МГТУ». Магнитогорск 2009 г. Т. 2. С. 138 – 139.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31371.6-2008 (ИСО 6974-6:2002) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 6. Определение водорода, гелия, кислорода, азота, диоксида углерода и углеводородов C1–C8 с использованием трех капиллярных колонок. Москва, 2009.
4. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. (Общая теория ракетных двигателей). Москва, МГТУ им. Баумана, 1999. URL: <http://www.engineer.bmstu.ru/res/dorofeev/MAIN.HTM>
5. Брунеткин А.И., Максимов М.В., Бондаре А.В. Идентификация количественного состава неизвестного газообразного горючего и его продуктов сгорания на основе измеренных технологических параметров

тров процесса сжигания топлива. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків, НТУ «ХПІ», 2014. № 12(1055). 194 с.

6. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов. Руководство. 2002, 25 с. URL: <http://www.doc01.ru/rukovodstvo-2-1/14>

7. Росляков П.В., Ионкин И.Л., Плешанов К.А. Эффективное сжигание топлива с контролируемым химическим недожогом. Теплоэнергетика. Москва, 2009, №1, стр. 20-23.

### МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ЗМІННОГО СКЛАДУ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛЬНОГО

*У статті розглянуто можливість зниження енергоємності виробництва як частини вартості (а не кількості для енергоефективності) енергоресурсів у вартості продукції, яка випускається. Це можливо без підвищення енергоефективності і без супутніх значних фінансових вкладень. Йдеться про використання альтернативних видів палива. Досліджено математичну модель розрахунку змінного складу газоподібного палива.*

**Ключові слова:** пальне змінного складу, склад пального, склад продуктів згоряння, алгоритм вирішення.

### MODEL OF CALCULATION OF THE CHANGING COMPOSITION OF GASEOUS BURIAL

*The article considers the possibility of reducing the energy intensity of production as a fraction of the cost (rather than the amount for energy efficiency) of energy resources in the cost of production, which is produced. This is possible without increasing energy efficiency and without significant financial investments. It is about using alternative fuels. The mathematical model of calculation of variable composition of gaseous fuel is studied.*

**Key words:** fuel of variable composition, composition of fuel, composition of combustion products, algorithm of solution.

УДК 681.51

Супрунцова Ю.А.

Одесский национальный политехнический университет

Брунеткин А.И.

Одесский национальный политехнический университет

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВНОЙ ФОРМУЛЫ ГОРЮЧЕГО ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

*В статье рассмотрен анализ возможности прямого решения задачи определения условной формулы горючего переменного состава, который не ставит целью разработку математических методов решения систем нелинейных уравнений, обладающих какими-либо особенностями. Тем не менее необходим хотя бы краткий анализ возможных причин возникших трудностей. Задачей является поиск инженерных методов их преодоления с целью получения необходимых решений.*

**Ключевые слова:** линейные уравнения, продукты сгорания, состав горючего, метод Ньютона Рафсона.

**Постановка проблемы.** Разработанная в предыдущей статье «Модель расчета переменного состава газообразного горючего» модель является системой нелинейных алгебраических уравнений. Возможный метод ее решения – метод Ньютона. Его применение для задачи определения температуры продуктов сгорания при известном составе топлива (назовем эту задачу **прямой**) дает сходящееся решение. Но попытка применения его для решения задачи определения состава горючего на основе модели, разработанной в предыдущей статье «Модель расчета переменного состава газообразного горючего» (назовем эту задачу **обратной**), положительного результата не дала. Не удалось получить подобным образом и решения в более простом случае углеводородного горючего (без содержания в своем составе кислорода как химического элемента). В последнем случае в качестве модельного горючего рассматривался метан ( $\text{CH}_4$ ). Углеводородное горючее выбрано по причине совпадения его состава продуктов сгорания по сравнению со случаем сжигания кислородсодержащего горючего. Различие касается только количества определяемых величин и, следовательно, количества уравнений. Так состав углеводородного горючего определяется только двумя величинами  $b_C$  и  $b_H$  в условной формуле горючего  $\text{C}_{b_C}\text{H}_{b_H}$ , а кислородсодержащего углеводородного горючего – тремя:  $b_C$ ,  $b_H$ ,  $b_O$  в условной формуле  $\text{C}_{b_C}\text{H}_{b_H}\text{O}_{b_O}$ .

**Изложение основного материала исследования.** Использованный способ решения является широко применяемым в инженерных приложениях методом Ньютона-Рафсона, также известным как метод касательных – это итерационный

численный метод нахождения корня (нуля) заданной функции. Метод был впервые предложен английским физиком, математиком и астрономом Исааком Ньютоном. Поиск решения осуществляется путём построения последовательных приближений и основан на принципах простой итерации. Метод обладает квадратичной сходимостью. Модификацией метода является метод хорд и касательных. Также метод Ньютона может быть использован для решения задач оптимизации, в которых требуется определить ноль первой производной либо градиента в случае многомерного пространства.

Иллюстрация метода Ньютона представлена на рисунке 1 (синим изображена функция  $f(x)$ , ноль которой необходимо найти, красным – касательная в точке очередного приближения  $x_n$ ). Здесь мы можем увидеть, что последующее приближение  $x_{n+1}$  лучше предыдущего  $x_n$ .

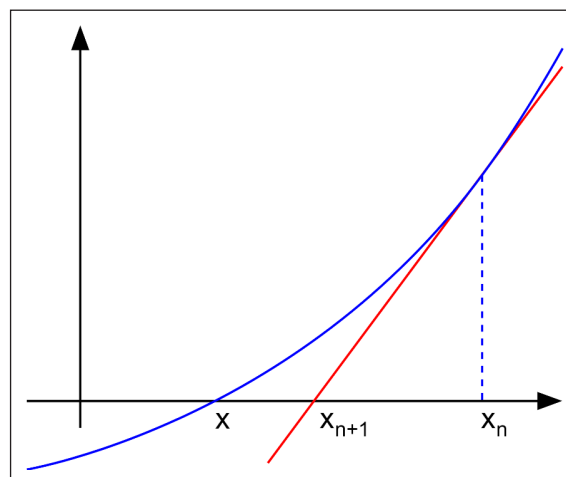


Рис. 1. Иллюстрация метода Ньютона

В процессе поиска причин возникновения сбоя в процессе решения была проанализирована система линейных уравнений, образующаяся при линеаризации исходной нелинейной системы. Вычисление ее определителя во всех рассматриваемых случаях дало конечную величину. Это свидетельствует о не вырожденности системы и, следовательно, о корректности модели, а также о теоретической возможности получить сходящееся решение.

Для определения причины неустойчивости численного процесса при попытке получить решение исходной нелинейной системы уравнений рассмотрим обусловленность матрицы линеаризованной системы, характеризующей чувствительность ее решения к малым изменениям коэффициентов. В [1] отмечается: «Широко распространено заблуждение, что малость  $\det(A)$  влечет за собой плохую обусловленность матрицы  $A$ ». Далее, «...значение  $\text{cond}(A)$  является гораздо более важным критерием трудности решения линейной системы  $Ax=b$ , чем малость  $\det(A)$ , либо громадность порядка  $n$ ».

Определим число обусловленности квадратной матрицы как:

$$\text{cond}(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|. \quad (1)$$

Здесь  $\|A\|$  и  $\|A^{-1}\|$  – нормы соответственно исходной и обратной матриц линеаризованной системы уравнений рассматриваемой модели.

Число обусловленности матрицы зависит от выбора нормы. Но если матрица хорошо обусловлена, то её число обусловленности будет мало при любом выборе, а если она плохо обусловлена, то её число обусловленности будет велико при любом выборе нормы. Обычно норму выбирают исходя из соображений удобства. На практике наиболее широко используют 1-норму, 2-норму и  $\infty$ -норму. Для вычислений выберем последнюю, определяемую в виде максимальной суммы модулей элементов каждой из строк матрицы:

$$\|A\|_{\infty} = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \quad (2)$$

Таким образом, в конечном варианте число обусловленности будем определять исходя из соотношения:

$$\text{cond}(A) = \|A\|_{\infty} \cdot \|A^{-1}\|_{\infty}. \quad (3)$$

Обусловленность оценивает близость матрицы коэффициентов  $A$  к вырожденной. Число обусловленности  $\text{cond}(A)$  является количественной оценкой обусловленности. Отметим, что всегда  $\text{cond}(A) \geq 1$ . Если  $\text{cond}(A) \geq 10^3$ , то говорят, что матрица  $A$  плохо обусловлена. Если  $1 \leq \text{cond}(A) \leq 100$ , то матрица считается хорошо обусловленной.

На основании вышеизложенного определение обусловленности системы линеаризованных уравнений было выполнено для двух типов горючего, сжигаемого в воздухе:

1. для более простого углеводородного горючего (на примере метана  $\text{CH}_4$ );

2. для более сложного кислородсодержащего углеводородного горючего (на примере этилового спирта  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ).

Для каждого типа горючего было рассмотрено по два варианта:

a. при решении прямой задачи (определение температуры продуктов сгорания при известном составе горючего);

b. при решении обратной задачи (определение состава горючего по измеренным технологическим параметрам – соотношению расходов горючего и воздуха и температуре продуктов сгорания).

Как ранее отмечено в вариантах **1.a** и **2.a**, получено устойчивое решение исходных систем нелинейных уравнений. В то время, как в вариантах **1.b** и **2.b** решения получить не удалось.

Для варианта **1.a** величина  $\text{cond}(A)$  вычислена для двух случаев:

1.a.1)  $\text{cond}(A)=540$  – для момента исходного (начального) приближения;

1.a.2)  $\text{cond}(A)=1390$  – для момента окончания решения, когда коэффициенты системы линеаризованных уравнений более не изменяются.

Подобная картина получена и для варианта **2.a**:

2.a.1)  $\text{cond}(A)=73$  – для момента исходного (начального) приближения;

2.a.2)  $\text{cond}(A)=230$  – для момента окончания решения, когда коэффициенты системы линеаризованных уравнений более не изменяются.

Для рассмотренных вариантов **1.a** и **2.a** значения  $\text{cond}(A)$  получены разные, но тенденции одинаковы. Число обусловленности систем близка или более 100 и увеличивается по мере приближения к решению. Причиной этому служит то, что по мере приближения к решению разность между предыдущим приближением и рассчитанным текущим уменьшается. При этом возрастает влияние погрешности вычисления коэффициентов матрицы линеаризованной системы уравнений. Значительная величина  $\text{cond}(A)$  потребовала для обеспечения сходимости процесса вычисления применения на каждой итерации коэффициента нижней релаксации (0.5). Такой подход в рассмотренных случаях позволил получить адекватные решения.

Иная ситуация для вариантов **1.b** и **2.b**. Вычисление  $\text{cond}(A)$  для момента исходного (начального) приближения дало следующие величины:

для **1.b**  $\text{cond}(A)=5200$ ;  
для **2.b**  $\text{cond}(A)=110000$ .

Столь значительные величины чисел обусловленности объясняют отсутствие сходящегося решения для вариантов **1.b** и **2.b**, соответствующих интересующей нас задаче. Как показали расчеты для вариантов **1.a** и **2.a**, следует учитывать еще большее увеличение величин  $\text{cond}(A)$  по мере итерационного приближения к решению.

Плохая обусловленность систем линеаризованных уравнений, используемых в итерационном процессе решения исходных систем нелинейных уравнений, отражает высокую чувствительность получаемых приближений к точности вычислений коэффициентов матриц и свободных членов. Проблема может быть решена путем задания более точных начальных приближений. Причем, чем хуже обусловленность, тем точнее должно быть начальное приближение определяемых величин. В их качестве выступают парциальные давления продуктов сгорания и количество атомов химических элементов в условной формуле горючего. Но природа решаемой задачи не позволяет сделать это. Количество атомов в процессе решения может непредсказуемо меняться.

Приведенные выше расчеты касаются видов горючих, состоящих не более чем из трех хими-

ческих элементов  $C, H, O$ . Еще меньше вероятность получения решения прямым использованием метода Ньютона-Рафсона при добавлении в состав условной формулы горючего дополнительных химических элементов, например азота (N), серы (S).

Существуют и другие методы, используемые при решении систем нелинейных уравнений. Например, метод простой итерации, метод Зейделя. Но они могут сходиться еще медленнее, чем метод Ньютона. Кроме того, как и в рассмотренном выше случае, для них одной из наиболее трудных проблем является локализация решения (выбор начального приближения).

**Выводы.** Плохая обусловленность систем линейных уравнений, возникающих при решении исходной модели, не позволяет получить сходящегося итерационного процесса. Может быть предложен метод решения исходной модели на основе заранее сформированной базы возможных составов горючего. Эта база включает данные многократного хорошо сходящегося решения прямой задачи определения температуры продуктов сгорания при всевозможных комбинациях видов условной формулы горючего и соотношения горючего и окислителя (воздуха).

#### Список литературы:

1. Форсайт Дж., Молер К. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений: пер. с англ. М.: Мир, 1969. 168 с.
2. Сайт подразделения «GE Energy» компании General Electric. URL: [http://www.ge-energy.com/products\\_and\\_services/products/gas\\_engines\\_power\\_generation/gas\\_engines\\_jenbacher\\_type\\_2.jsp](http://www.ge-energy.com/products_and_services/products/gas_engines_power_generation/gas_engines_jenbacher_type_2.jsp)
3. Казаринов Л.С., Кинаш А.В. Способ экстремальной автоматической системы регулирования процессами горения в топке парового котла при использовании смеси газов. Материалы 67-й научно-технической конференции: ГОУ ВПО «МГТУ». Магнитогорск 2009 г. Т. 2. С. 138 – 139.
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31371.6-2008 (ИСО 6974-6:2002) Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Часть 6. Определение водорода, гелия, кислорода, азота, диоксида углерода и углеводородов C1–C8 с использованием трех капиллярных колонок. Москва, 2009.
5. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. (Общая теория ракетных двигателей). Москва, МГТУ им. Баумана, 1999. URL: <http://www.engineer.bmstu.ru/res/dorofeev/MAIN.HTM>
6. Брунеткин А.И., Максимов М.В., Бондарев А.В. Идентификация количественного состава неизвестного газообразного горючего и его продуктов сгорания на основе измеренных технологических параметров процесса сжигания топлива. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків, НТУ ХПІ, 2014. № 12(1055). 194 с.
7. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов. Руководство. 2002, 25 с. URL: <http://www.doc01.ru/rukovodstvo-2-1/14>
8. Росляков П.В., Ионкин И.Л., Плешанов К.А. Эффективное сжигание топлива с контролируемым химическим недожогом. Теплоэнергетика. Москва, 2009, №1, стр. 20-23.

#### **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ПРЯМОГО РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВНОЇ ФОРМУЛИ ПАЛЬНОГО ЗМІННОГО СКЛАДУ**

*У статті розглянуто аналіз можливості прямого рішення задачі визначення умовної формули пального змінного складу, який не ставить за мету розробку математичних методів рішення систем нелінійних рівнянь, що володіють будь-якими особливостями. Проте необхідний хоча б короткий аналіз можливих причин труднощів, що виникли. Завданням є пошук інженерних методів їх подолання з метою отримання необхідних рішень.*

**Ключові слова:** лінійні рівняння, продукти згоряння, склад пального, метод Ньютона Рафсона.

#### **ANALYSIS OF THE OPPORTUNITY OF A DIRECT SOLUTION OF THE TASK OF DETERMINING THE CONDITIONAL FORMULA OF A COMBUSTIBLE VARIABLE COMPOSITION**

*The article considers the analysis of the possibility of directly solving the problem of determining the conditional formula of a fuel of variable composition, which does not aim at the development of mathematical methods for solving systems of nonlinear equations with any features. Nevertheless, at least a brief analysis of the possible causes of the difficulties encountered is necessary. The task is to find engineering methods to overcome them in order to obtain the necessary solutions.*

**Key words:** linear equations, combustion products, fuel composition, Newton Raphson method.

УДК 65.012.32:331

**Ткачук А.И.**Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»**Доценко Н.В.**Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»

## ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТОВ

*Рассмотрены особенности внедрения системы управления портфелем проектов. Определены этапы проекта внедрения системы управления портфелем проектов. Рассмотрена трехуровневая система функционирования проектного офиса и построена модель системы функционирования проектного офиса. Разработаны рекомендации по внедрению системы портфельного управления. Построена компьютерная модель процесса формирования портфеля проектов.*

**Ключевые слова:** портфель проектов, портфельный подход, формирование портфеля, управление проектами.

**Постановка проблемы.** Увеличение количества реализуемых компанией проектов приводит к необходимости внедрения портфельного подхода для обеспечения жизнеспособности и конкурентоспособности компании, достижения ее стратегических целей.

Большая часть проектно-ориентированных компаний в Украине осуществляют управление проектами при жестких финансовых ограничениях, что приводит к дополнительным требованиям к ресурсному обеспечению проектов и необходимости осуществления управления ресурсами на уровне единого пула портфеля проектов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Согласно результатам исследования агентства Gartner, «ключевой причиной неудачи большинства проектов является отсутствие полного понимания специфических целей проекта среди основных владельцев бизнес-проектов, финансовых управляющих и руководителей управленческого подразделения» [1; 2].

Существующие в настоящее время методологии портфельного управления проектами не обладают методологическим единством, что негативно влияет на эффективность управления в мультипроектной среде [3; 4]. Трансформация управления от классического к гибкому приводит к необходимости адаптации существующих в компаниях систем управления проектами к изменениям, возникающим в бизнес-среде.

Согласно опросу, проведенному IT-компанией PortaONE Inc в 2017 г., внедрение портфельного

управления является актуальной задачей. По результатам опроса 517 представителей корпораций, предприятий, компаний, принимающих решения в сфере IT, розничной торговле и др., 72% респондентов подтвердили, что они принимают политику управления портфелем проектов [5].

В процессе совершенствования предприятием системы управления проектами фокусировка на исключительно ретроспективных данных перестаёт соответствовать интересам бизнеса, что приводит к необходимости анализа данных, полученных в режиме реального времени [6; 7].

Процесс управления портфелем проектов – это циклический процесс выбора и управления оптимальным набором проектно-ориентированных инвестиций, дающих максимальную полезность [7].

Распределение ресурсов в портфеле проектов были рассмотрены в работах [8; 9]. Применение компетентностного подхода при формировании команд проектов в мультипроектной среде позволит обеспечить реализацию проектов при заданных ресурсных ограничениях [10].

Общая схема управления портфелем проектов организации включает сбор данных, оценку последовательности действий проекта и программ, входящих в портфель, сопоставление достигнутых целей с требованиями стратегического плана организации и составление отчетов на предприятии. Решением всех перечисленных задач руководит Офис управления проектами (ОУП), еженедельно получающий отчеты о состоянии проектов и скорректированные графики их

выполнения для составления на их основе обобщенных отчетов о состоянии портфеля проектов в целом.

Формирование портфеля проектов является одной из ключевых задач, стоящих перед любой компанией. В портфель проектов должны входить только те проекты, которые приносят наибольшую пользу, удовлетворяют ресурсным ограничениям и особенно важно, соответствуют стратегическим целям предприятия. При этом важно, что при формировании портфеля необходимо отбирать проекты не по одному критерию эффективности, а по достаточно большому набору параметров (финансовая эффективность, общественная значимость для компании и т.д.) [11; 12].

**Постановка задания.** Агрессивное влияние внешней среды проекта, нестабильность бизнес-окружения, конфликты между стейкхолдерами проектов в мультипроектной среде, приводит к необходимости разработки эффективных методов управления портфелями проектов. Актуальным остается вопрос разработки критериев оценивания готовности компании к внедрению портфельного управления проектами – project portfolio management (PPM). Целью статьи является разработка рекомендаций по внедрению системы управления портфелем проектов.

**Изложение основного материала исследования.** Внедрение портфельного подхода к управлению позволяет переместить акценты с управления отдельными проектами к менеджменту портфеля проектов, что требует пересмотра системы управления в целом.

Внедрение портфельного подхода является проектом развития. Если в компании процессы управления не формализованы, то можем говорить о проектах реинжиниринга системы управления.

При инициации проекта целесообразно применять метод анализа согласованности приоритетов, применение которого позволяет определить расхождений в понимании стратегии на разных уровнях иерархии управления и выявить стартовую точку реинжиниринга [13].

Проведение реинжиниринговых проектов в компании носит инновационный характер и сопряжено с сопротивлением персонала. С целью минимизации негативного влияния человеческого фактора (саботаж внедрения) необходимо разработать комплекс мероприятий по управлению изменениями. На этапе внедрения портфельного управления предлагается провести обучение участников рабочей группы методикам и инстру-

ментариям управления портфелем проекта, организовать семинары-тренинги для руководителей верхнего и среднего уровня, специалистов.

Проведение диагностических семинаров с руководителями проектов способствует выделению ключевых проблем и поиску путей их решения.

Основными этапами проекта внедрения системы управления портфелем проектов являются:

**Этап 1.** Подготовительный.

**Этап 2.** Моделирование и анализ бизнес-процессов управления проектами «AS IS».

**Этап 3.** Моделирование бизнес-процессов управления портфелем проектов «TO BE».

**Этап 4.** Подготовка к внедрению.

**Этап 5.** Внедрение.

На подготовительном этапе проекта внедрения портфельного подхода в рамках процедур диагностики компании производится оценка проектной зрелости компании.

Применение стандартных инструментов определения технологической зрелости, таких как модель Керцнера, интегральная модель зрелости функциональных возможностей организации CMMI, модель OPM3 Organization Project Management Majority Model, модель зрелости управления портфелями, программами и проектами (P3M3), позволяет оценить уровень развития системы управления в проектно-ориентированной компании [14].

Эффективное управление проектами невозможно без внедрения специального программного обеспечения по управлению проектами и программами. Внедряемые программные продукты должны соответствовать потребностям организации и не являться избыточными. Выбор программного продукта и вида внедрения осуществляется на начальных этапах проектов внедрения. В зависимости от результатов диагностики процессов управления возможно создание офиса управления проектами, определенного уровня (табл. 1, рис. 1).

Как правило, внедрение портфельного подхода является развитием проектного управления. По инициативе руководства компания может быть изначально (без опыта управления отдельными проектами) ориентирована на внедрение портфельного подхода. В данном случае необходимо привлечение консалтинговых компаний по управлению проектами для разработки рекомендации по внедрению и формализации процессов управления.

Одним из направлений совершенствования является внедрение в компании пула ресурсов портфеля проектов, который будет применяться

Трехуровневая система функционирования проектного офиса [3]

| Уровень                                                             | Обозначение | Описание уровня                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Проектный офис                                                      | $P_1$       | Создается для поддержания отдельных масштабных и сложных проектов. Ориентирован на проекты и мультипроекты.          |
| Проектный офис бизнес-единицы (функционального подразделения)       | $P_2$       | Ориентация на достижение стратегических результатов бизнес-подразделений.                                            |
| Офис управления проектами (корпоративный офис управления проектами) | $P_3$       | Дает возможность организации управлять всем набором проектов, как одним или несколькими взаимосвязанными портфелями. |



Рис. 1. Модель системы функционирования проектного офиса

при формировании команд проектов в мультипроектной среде.

Анализ человеческих ресурсов компании, выявление недостатка опыта и необходимого уровня компетенций персонала позволит определить процессы, требующие совершенствования. При отсутствии в компании сотрудников, обладающих необходимыми компетенциями, для выполнения ряда задач целесообразно применение аутсорсинга. Для развития компетенций, необходимых для обеспечения жизнеспособности портфеля, необходимо разработать систему развития персонала, что позволит снизить зависимость от внешнего окружения компании.

Наличие ресурсов в необходимом количестве (функции наличия, доступности ресурсов) может оказывать влияния на сроки выполнения и бюджет проекта [4].

В результате анализа ресурсов компании определяется ресурсная проектная зрелость компании,

которая позволяет оценить возможность внедрения портфельного управления при существующих ресурсах компании.

Важным элементом внедрения портфельного подхода является разработка системы контроля и мониторинга. Внедрение динамичной системы мониторинга изменений в проектах портфеля позволит выявить наиболее критичные изменения, а также факторы их вызывающие.

Мониторинг всех элементов портфеля проектов позволяет обнаружить избыточные, перекрывающиеся или слабо активные проекты, определить альтернативные пути использования задействованных ресурсов для более критичных бизнес-задач.

Изменение ключевых характеристик (время выполнения, стоимость, требования к ресурсному обеспечению) одного из проектов портфеля влечет необходимость пересмотра всего портфеля

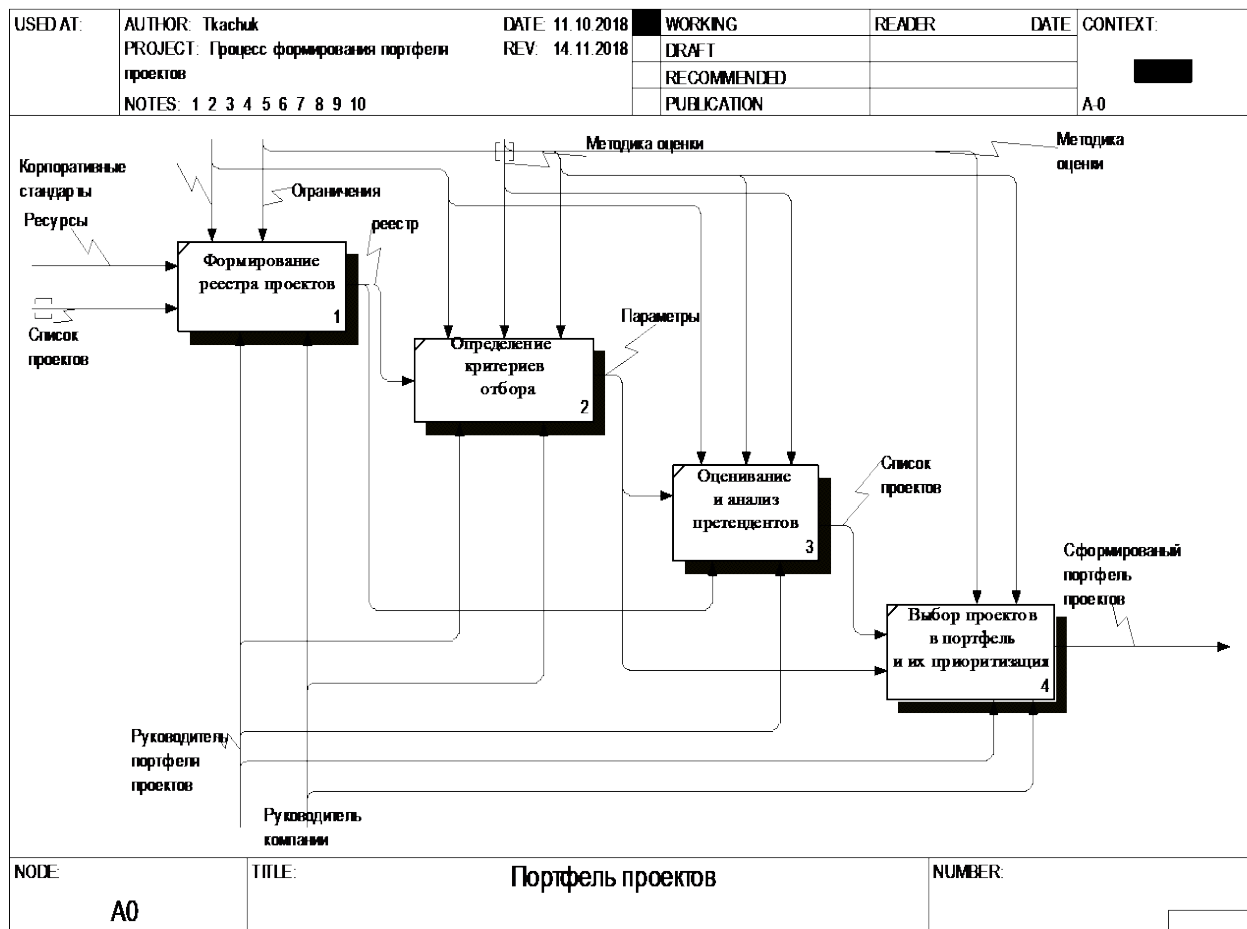


Рис. 2. Модель процесу формування портфелю проектів

проектів. При зміні часових рамок реалізації проекту відбувається зміна вартості, визначеної на етапі планування, що є основою для перегляду доцільності продовження проекту [12].

В результаті впровадження портфельного управління досягається:

- усунення дублювання функцій в командах проектів;
- скорочення зайвих погоджень;
- спрощення процедур прийняття рішень (делегування відповідальності);
- комплексна автоматизація за рахунок впровадження корпоративної системи управління портфелем проектів;
- впровадження елементів системи Work Flow.

Для формалізації процесу формування портфелю проектів побудована модель «AS-IS» в програмному забезпеченні AllFusion Process Modeller (рис. 2).

На основі вимог до складу проектів офісом управління проектами формується

портфель, який включає в себе проекти, які є найбільш ефективними за критичними для організації критеріями (строки виконання, вартість, рівень ризику, навантаження стратегічно важливих ресурсів тощо).

**Висновки з даного дослідження.** Впровадження системи управління портфелями проектів в діяльність сучасних проектних організацій є актуальною задачею. Створення проектного офісу, впровадження портфельного підходу, розробка типових проектних рішень і формалізація процесів формування і функціонування портфелю проектів дозволить оперативно реагувати на зміни зовнішніх вимог і досягати стратегічних цілей організації з мінімальними витратами ресурсів.

Перспективним напрямком дослідження є розробка адаптивних систем управління портфелями проектів і автоматизація процесів оцінки і аналізу проектних альтернатив.

**Список литературы:**

1. Gomolski B., Smith M. Program and Portfolio Management: Getting to the Next Level. Gartner Research, November 27, 2006.
2. Ферару Г.С. Условия, факторы и критерии успешной реализации проекта: обобщение опыта проектного управления. Современные технологии управления. №11 (47). Номер статьи: 4710. Дата публикации: 2014-11-08. URL: <https://sovman.ru/article/4710/>
3. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. М.: ПМСОФТ, 2005. 206 с.
4. Аньшин В.М., Демкин И.В., Никонов И.М., Царьков И.Н. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности. М.: Издательский центр МАТИ, 2007. 116 с.
5. URL: <https://www.portaone.com/documentation/old>
6. Cardin Lewis. The Forrester Wave: Project Portfolio Management Tools. Q4 2007. Forrester Research, December 18, 2007.
7. Гаврилов Н.Н., Матвеев А.А. Введение в управление портфелями проектов. Труды Инженерно-экономического института РЭА им. Г.В. Плеханова. Вып. 4. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2014. С. 139-149.
8. Новиков Д.А. Математические методы формирования и функционирования команд. М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. 184 с.
9. Доценко Н.В., Сабадош Л.Ю., Чумаченко І.В. Методи управління людськими ресурсами при формуванні команд мультипроектів та програм: монографія. Харків: нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. 201 с.
10. Dotsenko N. Application of the donor-acceptor approach to resource providing in a multi-project environment. Transformational processes the development of economic systems in conditions of globalization: scientific bases, mechanisms, prospects: collective monograph / edited by M. Bezpartochnyi, in 2 Vol. / ISMA University. Riga: Landmark SIA, 2018. Vol. 1. P. 173–181.
11. Афоничкин, А.И., Афоничкина, Е.А. Управление портфелем стратегического развития экономических систем. Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. 2016. Т. 2. № 3. С. 13-19.
12. Мошкова Т.А. Управление портфелем инвестиционного развития экономических систем: монография / Под науч. ред. А.И. Афоничкина. Самара: Издательство СНЦ, 2017. 234 с.
13. Доценко Н.В., Синицкая Н.В. Применение метода анализа согласованности приоритетов стратегий для выявления стартовой точки реинжиниринга бизнес-процессов. Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. Вип. № 1 (65). Х., 2014. С. 150-156.
14. Русякова М.С. Обзор современных моделей оценки зрелости управления проектами. Молодой ученый. 2014. №11. С. 230-236. URL: <https://moluch.ru/archive/70/12127/> (дата обращения: 14.11.2018).

**ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЕМ ПРОЕКТІВ**

*Розглянуто особливості впровадження системи управління портфелем проектів. Визначено етапи проекту впровадження системи управління портфелем проектів. Розглянуто трирівневу систему функціонування проектного офісу і побудовано модель системи функціонування проектного офісу. Розроблено рекомендації щодо впровадження системи портфельного управління. Побудовано комп'ютерну модель процесу формування портфеля проектів.*

**Ключові слова:** портфель проектів, портфельний підхід, формування портфеля, управління проектами.

**FEATURES OF THE PROJECT PORTFOLIO MANAGEMENT SYSTEM INTRODUCTION**

*The features of the project portfolio management system implementation are considered. The stages of the project implementation project portfolio management system are defined. The three-level system of project office functioning was considered and model of the project office system was built. Recommendations about introduction of portfolio management system are developed. The computer model of the project portfolio formation process has been built.*

**Key words:** project portfolio, portfolio approach, portfolio formation, project management.

**Чернов М.Ю.**

Одесский национальный политехнический университет

## РАЗРАБОТКА В SCADA-СИСТЕМЕ TRACE MODE 6 ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ, АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УДАЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ДЕАЭРАТОРЕ

*В статье рассмотрен вопрос разработки программного обеспечения для автоматической системы регулирования удалением кислорода в деаэраторе с применением кислородомера. Для успешного наблюдения и своевременной коррекции технологического процесса была использована программная среда SCADA системы Trace Mode 6.*

**Ключевые слова:** деаэрационная установка, деаэратор, SCADA система Trace Mode, человеко-машинный интерфейс, имитационная модель, автоматическая система регулирования.

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день автоматическое управление деаэратором осуществляется только за счет двух параметров: расхода греющего пара, подаваемого в деаэрационную колонну, и уровня конденсата в баке-аккумуляторе. Основной задачи деаэратора, а именно удаления газов в конденсате, не всегда успешно удается достигнуть, и количество растворенного газа превышает требуемые параметры, что может привести к дополнительным затратам, связанным с ремонтом и заменой оборудования. Ведь если сигнал по содержанию газа в конденсате не является управляющим, то значит, что при превышении концентрации растворимого газа и до возвращения в норму, происходит задержка по времени, при которой конденсат с высоким содержанием кислорода продолжает движение по контуру, вплоть до компонентов греющего устройства. Ранее, для уменьшения воздействия этих негативных факторов была предложена автоматическая система регулирования удаления кислорода в деаэраторе с применением кислородомера [3, с. 31].

В связи со всеобщей компьютеризацией и развитием технологий в этой сфере, а также усложнением технологического процесса, возникает необходимость в разработке программного обеспечения, призванного облегчить представление информации, и упростить процесс автоматического управления технологическим объектом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы разработки программного обеспечения для автоматической системы регулирования удалением кислорода в деаэраторе с применением кислородомера, ранее не были рассмотрены в работах, поскольку данная система предложена как модернизация уже существующих классиче-

ских способов автоматического регулирования деаэратора, в которых, сигнал по содержанию газа в конденсате не является управляющим.

**Постановка задания.** Создание удобного и интуитивно понятного интерфейса для автоматической системы регулирования удаления кислорода в деаэраторе с применением кислородомера, на базе SCADA-системы Trace Mode 6.

**Изложение основного материала исследования.** Усложнение технологических процессов требует задачи создания распределенных иерархических автоматизированных систем, такие системы напоминают из себя пирамиду, и могут охватывать весь цикл работы производства от системы управления нижним уровнем до систем управления предприятия в целом. В зависимости от сложности объекта управления, архитектура может состоять из нескольких уровней управления.

Верхний уровень представлен в виде автоматизированного диспетчерского пульта управления для оператора технолога, где в режиме реального времени представлен технологический процесс в виде мнемосхем, графиков и различных параметров. При необходимости диспетчер может оперативно управлять процессом. Современные SCADA-системы поддерживают управление как в автоматическом, так и в ручном режиме, а также позволяют оперативное изменение при модернизации или замене технологического оборудования. К основным преимуществам SCADA-систем следует отнести возможность работы на виртуальной модели, для определения ошибок или различных недоработок проекта, которые в дальнейшем могли бы привести к поломке реальных элементов системы регулирования. Работа по модели предусмотрена также в случае выхода одного из

датчиков, расположенных на технологическом оборудовании, что позволяет продолжить процесс управления во время замены неисправных элементов.

Данная работа посвящена разработке имитационной модели, а также графического интерфейса оператора для автоматической системы регулирования удалением кислорода в деаэраторе с применением кислородомера в программном комплексе TRACE MODE 6.

Разработка человеко-машинного интерфейса будет реализоваться путем создания интерактивных экранов, включающих в себя:

Упрощенная схема технологического процесса со значением параметров;

Экраны регулирования тех. процессом;

Экран архивирования данных.

Прежде всего рассмотрим, что из себя представляет технологический объект управления.

Деаэрационная установка предназначена для:

Деаэрации основного конденсата путем нагрева его до температуры насыщения, при которой растворимость газов ( $O_2$ ,  $CO_2$  и прочих) стремится к нулю;

Создания необходимого запаса воды в баках аккумуляторов RL21,22B01 для компенсации небаланса между расходом питательной воды и расходом основного конденсата на период переходных режимов;

Использования её как источника постоянного давления для обеспечения безкавитационного режима работы предвключённых насосов и ВПЭН;

Питания паром основных эжекторов, эжектора уплотнений и подачи пара на концевые уплотнения ТГ и ТПН;

Подогрева питательной воды.

Деаэрационная установка состоит из 2-х деаэраторов RL21,22B01, связанных между собой уравнительными трубопроводами по пару и воде, и трубопроводов обвязки (создание графического интерфейса будет представлено для одного деаэратора). Схематическое представление деаэратора показано на рисунке 1.

Деаэрационная колонка струйно-барботажного типа ДП-1600-2 (рисунок 2) состоит из корпуса, смесительного устройства, дырчатой тарелки, водонаправляющего листа, барботажного устройства, коллекторов подачи пара и воды. В нижней части колонки расположен коллектор подвода греющего пара с перфорацией (в нижней своей половине) и перепускной патрубком, установленный в горловине бака.

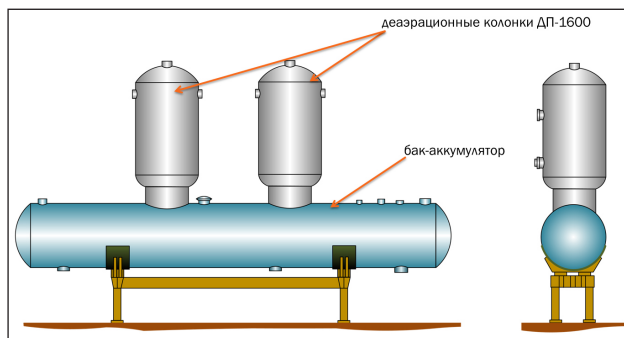


Рис. 1. Схема деаэратора типа ДП-3200 (2x1600)/185 к ПТУ К-1000-60/3000

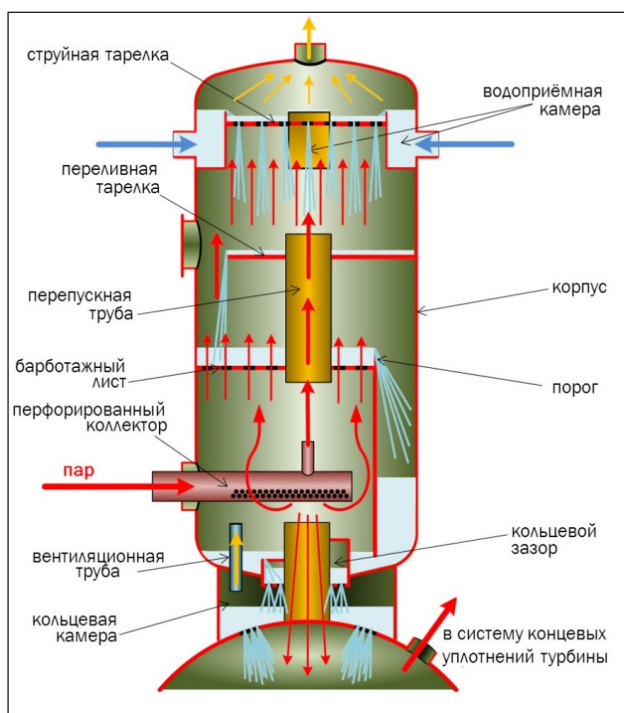


Рис. 2. Деаэрационная колонка струйно-барботажного типа ДП-1600-2

Деаэрационный бак-аккумулятор представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд длиной 23415 мм и диаметром 3442 мм, корпус выполнен из сварных листов толщиной 16 мм. Работа деаэратора основана на принципе термической деаэрации, заключающемся в том, что при температуре жидкости, равной температуре кипения при заданном давлении, растворимость газов в жидкости становится равной нулю.

Технические характеристики деаэратора приведены в таблице 1.

На реальных объектах следует проконтролировать массовую концентрацию содержания растворенного кислорода в питательной воде после деаэраторов. При значении указанного параметра в воде менее  $10 \text{ мкг/дм}^3$  разрешается подача воды в парогенератор

и дальнейший подъём давления. Контроль за массовой концентрацией содержания растворенного кислорода в питательной воде осуществляет оперативный персонал блочного щита управления (ведущий инженер управления турбиной) по фрагментам рабочего места оператора-технолога 4,6 (RX00M).

Таблица 1

## Технические характеристики деаэратора

| Наименование параметра                     | Диапазон допускаемых значений | Единица измерения   |
|--------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Рабочее давление                           | От 5.9 до 6.1.                | кгс/см <sup>2</sup> |
| Рабочая температура                        | От 160 до 165.                | °                   |
| Допустимая температура стенки              | Не более 172.                 | °                   |
| Геометрический объём деаэрационной колонки | 58                            | м <sup>3</sup>      |
| Рабочий объём бака-аккумулятора            | 185                           | м <sup>3</sup>      |
| Геометрический объём бака-аккумулятора     | 208                           | м <sup>3</sup>      |

Принцип разработки проектов в SCADA-системе TRACE MODE заключается в создании виртуальных органов управления и контроля, исходя из этого все датчики и исполнительные механизмы рассмотренного процесса были подключены к виртуальному контролеру, который осуществляет регулирование по команде, полученной от панели управления.

В ходе разработки модели автоматической системы регулирования удалением кислорода в деаэраторе был использован «Редактор проектов», в котором созданный узел RTM\_1, соответствует рабочему месту оператора, осуществляющему отображение на экранах мнемосхем технологического процесса и сохранение данных о ходе регулирования в виде архива значений за каждый промежуток времени, а также отображение аварий и неисправностей.

Для наблюдения за изменением процесса регулирования в реальном времени были созданы 3 экраны формы: мнемосхема, регулирование, архив.

На экранной форме мнемосхема, представленная на рисунке 3 при помощи графических объектов, была построена упрощенная схема технологического объекта управления. Два экрана приборов, показывающих параметры, которые соответствуют показаниям датчиков по давлению в колонке деаэ-

ратора, а также содержание кислорода, растворенного в конденсате в баке аккумулятора. Учитывая, что мнемосхема является стартовым экраном, на ней были расположены кнопки навигации, позволяющие переходить на другие экраны системы.

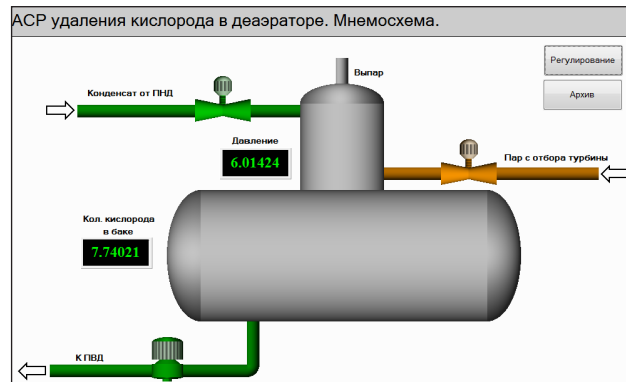


Рис. 3. Мнемосхема объекта автоматизации

Присутствующие на данной форме два экрана параметров могут показывать за счет цветов режимы, в которых происходит работа в данный момент времени, где: зеленый цвет – работа в нормальном режиме, желтый цвет – срабатывание предупредительной защиты, красный цвет – срабатывание аварийной защиты (рисунок 4). При помощи данной цветовой схемы, оператор сможет сразу узнать о выходе параметров за пределы нормы.

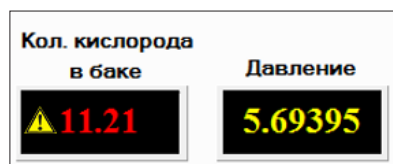


Рис. 4. Смоделированные примеры выхода за пределы нормальных значений

На экранной форме Регулирование, показанной на рисунке 5, оператор сможет увидеть точные интервалы работы деаэрационной установки, а также интерфейс позволяет помимо навигации по кнопкам, непосредственно управлять технологическим процессом.



Рис. 5. Экранная форма Регулирование

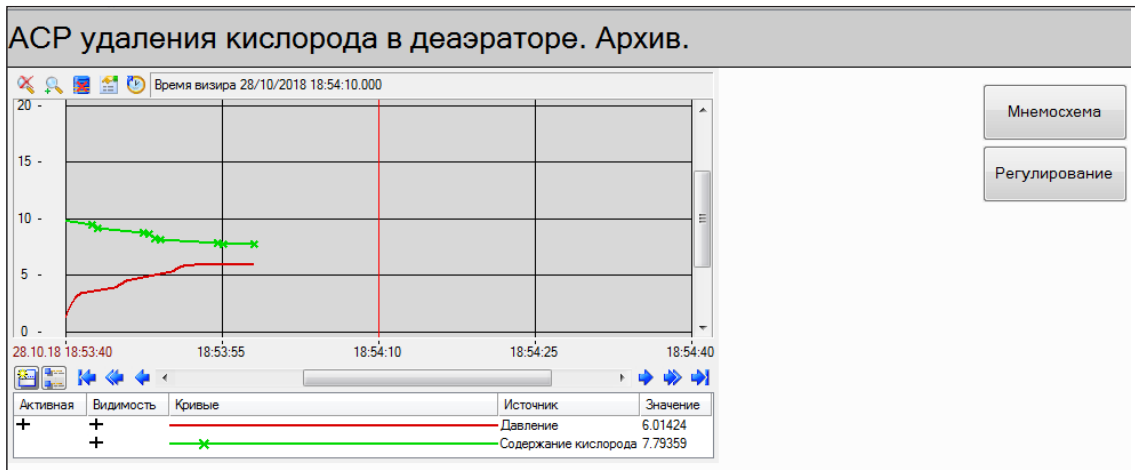


Рис. 6. Экранная форма Архив

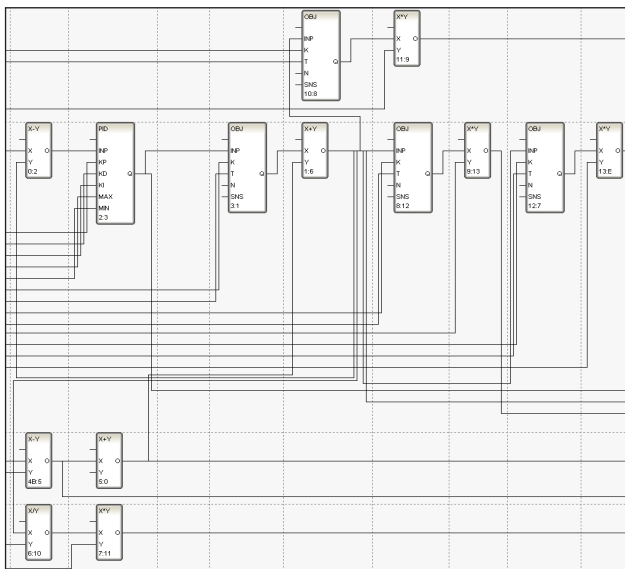


Рис. 7. Имитатор объекта на языке программирования FBD.

На экранной форме Архив, показанной на Рисунке 6, отображены графики изменения показаний по давлению и содержанию кислорода в конденсате, выходящего после деаэратора. Данное окно также позволяет предоставить параметры в необходимый момент времени в виде графиков и таблиц. Помимо этого, возможен про-

смотр, в каких режимах работы находился технологический объект за прошедшее время (нормальный режим, срабатывание предупреждения, аварийный).

С целью моделирования работы системы была создана имитационная модель на языке программирования Техно FBD (рисунок 7), где блоки также могут иметь сигнальные выходы. На сигнальные входы подаются сигналы от предыдущих блоков или от приборов. Выходные сигналы подаются в следующие блоки или выводятся на графики. Используемые в управлении настройки регуляторов найдены по методам теории автоматического управления при расчетах.

**Выводы.** В ходе работы было разработано программное обеспечение для ранее предложенной схемы автоматической системы регулирования удаления кислорода в деаэраторе с применением кислородомера [3, с. 31] на базе SCADA-системы Trace Mode 6, которое включает в себя разработку имитационной модели и программного интерфейса, позволяющего оператору-технологу наблюдать за автоматической работой технологического оборудования, а также управлять данным процессом, и по необходимости представить архив параметров и режимы работы за прошедшее время.

#### Список литературы:

1. Деаэрационная установка, учебное пособие. ОП «Запорожской АЭС», 2005. 383 с.
2. Блинов И.В. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы). Мир компьютерной автоматизации. ДонНТУ, 1999. №3. 42-59 с.
3. Чернов М.Ю., Харabet О.М. Дослідження динаміки процесу управління видаленням кисню в деаераторі атомної електричної станції. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29 (68) Ч. 2. №3. 2018. С. 30–33.
4. Лопатин А.Г., Киреев П.А. Методика разработки систем управления на базе SCADA – система Trace Mode. Новомосковск: РХТУ, 2007. 112 с.

**РОЗРОБКА У SCADA-СИСТЕМІ TRACE MODE 6 ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ,  
АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ВИДАЛЕННЯ КИСНЮ У ДЕАЕРАТОРІ**

*У статті розглянуто питання розробки програмного забезпечення для автоматичної системи регулювання видаленням кисню у деаераторі зі застосуванням киснеміру. Для успішного спостереження і своєчасної корекції технологічного процесу було використано програмне середовище SCADA системи Trace Mode 6.*

**Ключові слова:** деаераційна установка, деаератор, SCADA система Trace Mode, людино-машинний інтерфейс, імітаційна модель, автоматична система регулювання.

**DEVELOPMENT OF SCADA-SYSTEM TRACE MODE 6 SIMULATION MODEL,  
AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM REMOVAL OF OXYGEN IN THE DEAERATOR**

*The article deals with the development of software for automatic control system of oxygen removal in the deaerator using an oxygen meter. For successful observation and timely correction of the technological process, the SCADA software environment of the Trace Mode 6 system was used.*

**Key words:** deaeration plant, deaerator, SCADA system Trace Mode, human-machine interface, simulation model, automatic control system.

УДК 681.5.004.65

**Швець М.Ю.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Заруба Д.С.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Хохлов Ю.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ПОРІВНЯННЯ SQL ТА NOSQL БАЗ ДАНИХ

*За останні десятиліття значно збільшилось використання додатків, що генерують нові потоки даних, які раніше були немислимі як за різноманітністю, так і за кількістю. Але ці нові дані будуть корисними лише якщо база даних не буде відставати і підтримуватиме необхідну швидкість обробки. Метою даної роботи є порівняння двох типів баз даних та визначення того, який тип краще використовувати залежно від поставленого завдання. Було проведено аналітичний огляд реляційних та нереляційних баз даних. Проаналізовані переваги та недоліки SQL та NoSQL баз даних. Проведено тестування систем керування SQL та NoSQL базами даних. За допомогою програми Sysbench на основі операційної системи Linux було виконано тестування СУБД MySQL та MongoDB.*

**Ключові слова:** база даних, система керування базами даних, SQL, NoSQL, MySQL, MongoDB, Sysbench.

За останні десятиліття значно збільшилось використання датчиків. Вони можуть бути застосовані при вимірюванні фізичної структури для виявлення аномалій, моніторингу енергетичної мережі, щоб зрівноважити виробництво та споживання енергії, при роботі з інтернетом речей та розумними середовищами, такими як розумні будинки [1, с. 431]. Датчики стають меншими, простішими у використанні та дешевшими. Ці зміни призводять до зростання попиту на зберігання та обробку даних.

Ці дані зазвичай незмінні, великі за обсягом, впорядковані за часом і в основному агреговані для доступу. Для обробки всієї інформації потрібно створення величезної кількості сховищ даних різного призначення. Сучасні інформаційні системи характеризуються величезними обсягами збережених даних, складною організацією, необхідністю задовольняти різноманітні вимоги численних користувачів. Основою інформаційної системи є бази даних.

Метою будь-якої інформаційної системи є обробка даних про об'єкти реального світу. У широкому сенсі слова, база даних – це сукупність відомостей про конкретні об'єкти реального світу у будь-якій предметній області.

Актуальність роботи надає пришвидшення темпів автоматизації керівничо-виробничої, офісної та інших видів робіт, де необхідні збір, збе-

рігання, переробка, отримання та передача інформації. Вибір необхідної бази даних відіграє дуже важливу роль у забезпеченні швидкості обробки даних, пошуку необхідної інформації серед безлічі даних та коректному доступі до них.

**Постановка проблеми.** У роботі з великою кількістю даних основна проблема полягає у тому, що чим більший обсяг накопичених даних, тим більш вимоглива система зберігання і управління цими даними. Необхідно купувати або дороге обладнання, або миритися з недоліками зберігання даних у хмарних середовищах.

На тепер немає єдиного підходу для всіх технологій баз даних. Саме тому у залежності від завдання використовують як реляційні, так і нереляційні бази даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Галузеві аналітики очікують, що до 2020 року у повсякденні об'єкти будуть вбудовані 40 мільярдів датчиків. У сучасному поколінні автомобілів генерується 25 ГБ даних на годину. Наступне покоління буде генерувати 250 ГБ на годину. Традиційні технології управління даними не були призначені для обробки такої кількості даних або темпів зміни.

Згідно з рейтингом DB-Engines Ranking [10], реляційні бази даних є більш використовуваними та популярними за кількістю згадок про них.

Аналізуючи реляційні і нереляційні бази даних, Ян Сіпке ван дер Вейн говорить, що NoSQL бази даних намагаються вирішити деякі проблеми традиційних баз даних SQL [1, с. 431]. Послаблюючи вимоги до узгодженості або доступності, база даних NoSQL може працювати досить добре в умовах, коли ці обмеження не є необхідними [2, с. 2].

У своїй статті Ішань Лі і Сатімаорті Манохара вказують на те, що не завжди є беззаперечна перевага у швидкодії між реляційними і нереляційними базами даних [3, с. 18].

Постановка завдання. Метою даної роботи є порівняння двох типів баз даних та визначення який тип краще використовувати у залежності від поставленого завдання, проведення аналітичного огляду реляційних та нереляційних баз даних. Аналіз переваг та недоліків SQL та NoSQL баз даних. Тестування швидкодії систем керування SQL та NoSQL базами даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. Реляційні (SQL) сховища забезпечують найкращу суміш простоти, стійкості, гнучкості, продуктивності, масштабованості і сумісності. Але основною проблемою є те, що різноманітність додатків зростає, а отже, виникає необхідність у збільшенні місця. З ростом кількості баз даних масштабованість починає переважати над іншими особливостями. Оскільки все більше додатків працюють в умовах високого навантаження, наприклад, таких як веб-сервіси, їх вимоги до масштабованості дуже швидко змінюються і сильно зростають. Саме тому почали з'являтися бази даних, що забезпечують інший механізм зберігання та видобування даних, ніж звичайний підхід таблиць-відношень у реляційних базах даних. Сплеск популярності був спричинений потребами Web 2.0 компаніями, такими як Facebook, Google та Amazon.com.

Нереляційні (NoSQL) бази даних є документно-орієнтовані, їх співвідносять із папкою, наповненою файлами. Однією з основних особливостей технології NoSQL є відмова від реляційної моделі. Кожне рішення у рамках технології NoSQL використовує свою власну модель. NoSQL бази даних все більше і більше використовуються у задачах зі застосуванням Big Data та веб-додатках.

NoSQL бази даних, у порівнянні з SQL, набагато краще масштабуються, не накладають обмежень на типи даних, які можна зберігати разом, і дозволяють додавати нові типи при зміні потреб. З NoSQL базами даних можна зберігати різні типи даних в одному місці, не вказуючи завчасно, які типи даних необхідно використовувати. Нереляційні бази даних дешевші і мають швидшу

обробку даних. Але при цьому NoSQL бази даних жертвують відповідністю вимогам ACID для забезпечення гнучкості та швидкості обробки, що є не бажаним для фінансових додатків. Натомість нереляційні бази даних засновані на принципі «кінцевої послідовності». Це забезпечує деякі переваги продуктивності, але створює ризик того, що дані на одному вузлі бази даних можуть не синхронізуватися з даними іншого вузла. Однак правильно підібрані критерії, згідно з теоремою CAD, допоможуть досягти необхідної швидкості обробки інформації, доступності та узгодженості даних.

Переваги SQL бази даних:

1. Відповідність ACID [5] (атомарність, узгодженість, ізолюваність, довговічність), що захищає цілісність бази даних, визначаючи точно, як транзакції взаємодіють з базою даних.

2. Кожна таблиця містить одну або декілька категорій даних у стовпцях [6].

3. Кожен рядок містить унікальний екземпляр даних для категорій, визначених стовпцями [7].

4. Користувач може отримати доступ до даних з бази даних, не знаючи структури таблиці бази даних [6].

Недоліки SQL бази даних:

1. Масштабованість: користувачі повинні масштабувати реляційні бази даних на потужних серверах, які є дорогими та складними для обробки. Щоб масштабувати реляційну базу даних, вона повинна бути розподілена на декілька серверів [6].

2. Складність: дані SQL-сервера повинні бути вписані у таблиці. Якщо дані не вкладаються у таблиці, необхідно проектувати структуру бази даних, яка буде складною і важкою для обробки [6].

3. Вартість: реляційні системи керування базами даних (СКБД) вимагають дорогих систем зберігання та запатентованих серверів [7].

Переваги NoSQL бази даних:

1. Зберігання великих обсягів даних, які погано структуровані. База даних NoSQL не обмежує типи даних, які можна зберігати разом, і дозволяє додавати нові типи. За допомогою баз даних на базі документів можна зберігати дані в одному місці, не визначаючи заздалегідь, які «типи» цих даних [8].

2. Швидша обробка даних, ніж у реляційних базах даних [6].

3. Дешевше: не реляційні бази даних використовують дешеві кластери товарних серверів для управління операціями та даними [7].

4. Краща масштабованість у порівнянні з реляційними базами даних. Проте NoSQL бази даних не повністю масштабовані у всіх ситуаціях [9].

Недоліки NoSQL бази даних:

1. Узгодженість даних: більшість баз даних NoSQL не виконують транзакції ACID. Натомість NoSQL покладається на принцип «кінцевої послідовності». Це забезпечує деякі переваги продуктивності, але це створює ризик того, що дані на одному вузлі бази даних можуть не синхронізуватися з даними іншого вузла [9];

2. Відсутність стандартизації: NoSQL не є специфічним типом інтерфейсу бази даних або програмування. Мова дизайну та запитів баз даних NoSQL різко відрізняється між різними продуктами NoSQL – набагато ширше, ніж серед традиційних баз даних SQL [9].

3. Деякі не реляційні бази даних погано розповсюджуються на декілька вузлів. Якщо база даних не може відокремитись автоматично, вона не може автоматично збільшуватись або зменшуватись у відповідь на коливальний попит.

Для того, щоб визначити який тип баз даних, реляційні чи нереляційні, найбільше підходить для роботи з великими даними, було обрано найбільш популярні системи керування базами даних (згідно з рейтингом DB-Engines Ranking [10]). Для реляційних баз даних для тестування було обрано СКБД MySQL (2 місце у рейтингу серед реляційних баз даних), для нереляційних – MongoDB (1 місце серед нереляційних баз даних).

Гнучкість СКБД MySQL забезпечується підтримкою великої кількості типів таблиць: користувачі можуть вибрати як таблиці типу MyISAM, що підтримують повнотекстовий пошук, так і таблиці InnoDB, що підтримують транзакції на рівні окремих записів. Більш того, СКБД MySQL поставляється зі спеціальним типом таблиць EXAMPLE, що демонструє принципи створення нових типів таблиць. Завдяки відкритій архітектурі і GPL-ліцензуванню, у СКБД MySQL постійно з'являються нові типи таблиць.

MongoDB – це документно-орієнтована база даних. Основною причиною відходу від реляційної моделі є полегшення масштабування. Документно-орієнтована база даних замінює поняття «рядок» більш гнучкою моделлю – «документом». За допомогою вкладеного документа та масиву, документно-орієнтований підхід дозволяє представляти складні ієрархічні зв'язки з єдиним записом [11, с. 3].

Горизонтальне масштабування, яке наявне у MongoDB, значно полегшує роботу з додатками.

З кількома варіантами масштабування, у тому числі на основі діапазонів, з використанням хеш і обміну зонами – MongoDB може підтримувати тисячі вузлів, петабайт даних і сотні тисяч операційних систем у секунду, не вимагаючи створення користувацьких розділів і кешування.

Аналіз, візуалізація і реагування на вихідні дані з датчиків вимагають потужних інструментів, які можуть запускати складні запити з низькою затримкою у наборах даних, що швидко змінюються. Завдяки потужній індексації і підтримці запитів, у тому числі підтримці вторинних запитів, наявності геопросторових і текстових пошукових індексів, структури агрегації і вбудованій підтримці Apache Spark – MongoDB може запускати складну спеціальну або звітну аналітику даних з датчиків прямо на місці.

За безпеку даних у MongoDB відповідають надійні засоби перевірки автентичності, авторизації, аудиту та шифрування. Вони захищають цінні дані з датчиків і отримані на основі них дані аналітики.

Обрані СКБД було протестовано на швидкодію за допомогою програми для тестування ефективності системи з (потенційно) високим навантаженням СКБД Sysbench.

Для тестування СКБД MySQL було встановлено на налаштовано додаток, створено базу даних. При тестуванні було встановлено 10 одночасно запущених запитів, тип тесту oltp. У таблицю було записано 10 000 рядків.

Для тестування MongoDB було встановлено розширення для Sysbench, яке дозволяє проводити тестування цієї бази даних. Далі, за умови того, що встановлено MongoDB, необхідно створити досліджувану БД, та користувача. Для тесту створено 16 колекцій, кожна з яких складається з 10 мільйонів документів. Можливо переглянути розмір бази даних відносно розміру пам'яті, щоб забезпечити тестування лише робочого навантаження на основі пам'яті та робочого навантаження, що перевищує обсяг пам'яті та використання диска.

З отриманих результатів тестування було вираховано середню кількість записів. Система керування нереляційною базою даних MongoDB робить у 15 разів більшу кількість вставок за секунду, ніж система керування реляційною базою даних MySQL. Різницю у швидкодії можна побачити на рис. 1.

Результати, отримані у ході тестування, слід порівнювати лише між собою, оскільки вони були виконані за однакових умов. При викорис-

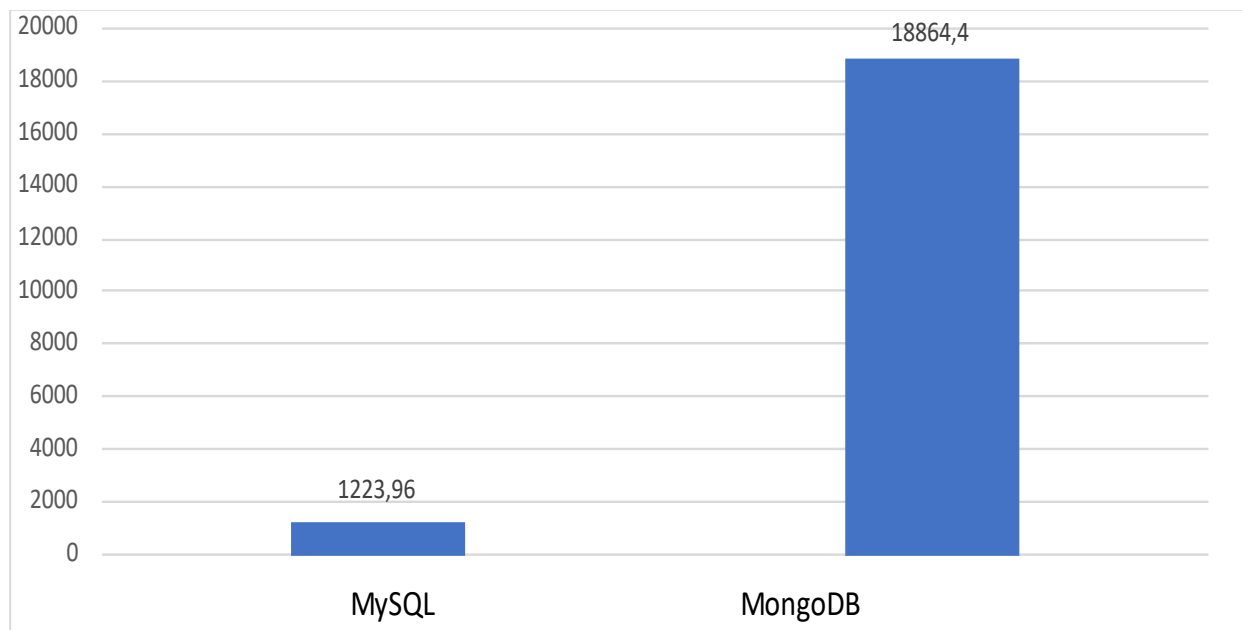


Рис. 1. Кількість вставок для СКБД MySQL і MongoDB

танні більш потужної техніки результати можуть змінитись.

Але не можна стверджувати, що нереляційні бази даних повністю витіснять реляційні у майбутньому. Навіть оскільки бази даних NoSQL посилюють популярність за їх швидкістю та масштабованістю, все ще є ситуації, коли доцільною є високо структурована SQL база даних.

На тепер не існує єдиного підходу для всіх технологій баз даних. Саме тому у залежності від завдання використовують як реляційні, так і нереляційні бази даних. NoSQL бази даних стають все більш популярними внаслідок їх швидкодії та здатності до масштабування, але все одно є ситуації, коли перевага віддається більш структурованим SQL базам даних.

Як правило, база даних NoSQL жертвує ACID для забезпечення гнучкості та швидкості обробки, але для електронної комерції та фінансових додатків переважним варіантом залишається база даних, сумісна з ACID.

**Висновки.** Аналізуючи все, що було викладено у даній статті, можна зробити висновок, що SQL бази даних є сенс використовувати, коли необхідно забезпечити транзакції та надійність системи у сенсі зв'язків між таблицями. Якщо дані вдається структурувати, то далі працювати з ними набагато легше.

Всі реляційні бази даних підтримують SQL, саме тому при зміні реляційних баз даних у користувача і розробника не виникне суттєвих проблем.

NoSQL бази даних краще використовувати, коли інформацію, яку необхідно зберегти, важко структурувати і її тип відмінний для різних об'єктів; при необхідності зберігати великі кількості інформації з датчиків температури, вологості, місцезнаходження, датчиків медичної апаратури для аналізу і подальшої їх обробки; коли навантаження на систему може зростати з часом, і система потребує масштабування на декілька машин; при розробці додатків, де можна пожертвувати зв'язками між таблицями для отримання високої швидкодії.

Виходячи з отриманих результатів, вважаємо, що нереляційні бази даних будуть все більше застосовуватись при розробці додатків. Адже кількість інформації, яка передається з датчиків, використовується у веб-сервісах, необхідна для аналізу – стрімко зростає. Те, що NoSQL бази даних здатні до масштабування, робить їх суттєво більш вигідними для розробників, а перевага у швидкодії дозволяє підтримувати необхідну швидкість обробки потоків даних та вчасно реагувати на збої у системі.

Отримані результати можуть бути використані для досліджень у сферах інформатики та електроніки. При виборі необхідного типу бази даних для зберігання і подальшої обробки результатів вимірювань з датчиків, опрацювання великих даних, при розробці додатків для інтернету речей, алгоритмів машинного навчання, розробці веб-ресурсів та в інших сферах життя людини.

### Список літератури:

1. J. S. van der Veen, B. van der Waaij, and R. J. Meijer. Sensor data storage performance: SQL or NoSQL, physical or virtual, in Proceedings of the IEEE 5th International Conference on Cloud Computing (CLOUD '12), pp. 431–438, IEEE, June 2012.
2. Agrawal R., Ailamaki A., Bernstein P. A., Brewer E. A. and G. Weikum, The claremont report on database research. 2008, 11 pages.
3. Li Y., Manohara S. A performance comparison of SQL and NoSQL databases. Conference: Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM), 2013 IEEE Pacific Rim Conference on, pp. 15-19, IEEE, August 2013.
4. SQL – Transactions. URL: <https://www.tutorialspoint.com/sql/sql-transactions.htm> (дата звернення: 07.11.2018).
5. Richards J. Advantages of NoSQL Databases. URL: <https://bigdata-madesimple.com/advantages-of-nosql-databases-what-you-need-to-know/> (дата звернення: 11.05.2018).
6. The Limitations of NoSQL Database Storage. URL: <http://www.channelfutures.com/cloud-services/limitations-nosql-database-storage-why-nosqls-not-perfect> (дата звернення: 11.05.2018).
7. Wodehouse C. SQL vs. NoSQL Databases: What's the Difference? / Carey Wodehouse. URL: [www.upwork.com/hiring/data/sql-vs-nosql-databases-whats-the-difference/](http://www.upwork.com/hiring/data/sql-vs-nosql-databases-whats-the-difference/) (дата звернення: 07.06.2018).
8. 10gen – ещё один стартап в области Cloud Computing. URL: [special.habrahabr.ru/kyocera/p/3660/](http://special.habrahabr.ru/kyocera/p/3660/) (дата звернення: 15.05.2018).
9. Knowledge Base of Relational and NoSQL Database Management Systems. URL: <https://db-engines.com/en/ranking> (дата звернення: 07.11.2018).
10. DB-Engines Ranking. URL: <https://db-engines.com/en/ranking> (дата звернення: 21.10.2018).
11. K. Chodorow and M. Dirolf, MongoDB: The Definitive Guide. O'Reilly Media, 2010, 409 pages.
12. Babarika E. Как создать пользователя MySQL и настроить права доступа. URL: [www.hostinger.ru/rukovodstva/kak-sozdat-polzovatelya-mysql-i-nastroit-prava-dostupa/](http://www.hostinger.ru/rukovodstva/kak-sozdat-polzovatelya-mysql-i-nastroit-prava-dostupa/) (дата звернення: 02.03.2018).
13. MongoDB CRUD Operations. URL: <https://docs.mongodb.com/manual/crud/> (дата звернення: 07.06.2018).
14. MySQL 5.6 Reference Manual. URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.6/en/> (дата звернення: 02.03.2018).

### СРАВНЕНИЕ SQL И NOSQL БАЗ ДАННЫХ

За последние десятилетия значительно увеличилось использование приложений, генерирующих новые потоки данных, которые ранее были немыслимы как по разнообразию, так и по количеству. Но эти новые данные будут полезными только если база данных не будет отставать и будет поддерживать необходимую скорость обработки. Цель данной работы – сравнить два типа баз данных и определить какой тип лучше использовать в зависимости от поставленного задания. Был проведен аналитический осмотр реляционных и нереляционных баз данных. Проанализировано преимущества и недостатки SQL та NoSQL баз данных. Проведено тестирование системы управления SQL и NoSQL базами данных. С помощью программы Sysbench на основе операционной системы Linux было выполнено тестирование СУБД MySQL и MongoDB.

**Ключевые слова:** база данных, система управления базами данных, SQL, NoSQL, MySQL, MongoDB, Sysbench.

### COMPARISON OF SQL AND NOSQL DATABASES

Over the past decades, the number of applications that generate big amount of data has increased significantly. But this data will be useful only if the database keeps up and maintains the necessary processing speed. The purpose of this article is to compare two types of databases. An analytical review of relational and non-relational databases was conducted. The advantages and disadvantages of SQL and NoSQL databases was analyzed.

The purpose of this work is to compare two types of databases. Determine which type suits best depending on the task. Performance of SQL and NoSQL database-management system was measured. With using of the program Sysbench based on the Linux operating system, MySQL and MongoDB were tested.

**Key words:** database, database-management system, SQL, NoSQL, MySQL, MongoDB, Sysbench.

УДК 004.896

**Щербак Д.В.**

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

**Сирота О.П.**

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

## СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦІЙ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*В інтернеті постійно збільшується обсяг інформації, студентам все складніше знайти інформацію з відповідних навчальних матеріалів, яка задовольнить їхні потреби. Ефективна особиста система рекомендацій навчальних матеріалів не тільки зменшить інформаційне перевантаження, рекомендуючи відповідний навчальний матеріал для своїх студентів, а також надасть їм необхідну інформацію у необхідний час та запропонує необхідний шлях. У даній статті буде представлено опис і аналіз наявних систем рекомендацій і виявлення завдань для розробки та оцінки наборів даних. Потім розглянемо підхід для розробки рекомендаційної системи, метою якої є підтримка студента через Систему управління навчанням, щоб знайти відповідний матеріал для покращення знань студента.*

**Ключові слова:** Система управління навчанням, рекомендаційна система, алгоритм, система.

**Постановка проблеми.** Кожен студент має різні вподобання й постійно зайнятий пошуком інформації у напрямку, що цікавить. Для розвитку йому потрібно закріплювати наявні та здобувати нові знання, вивчаючи нові технології та методи розробки. Університети не можуть дати всі необхідні знання по всім предметним областям й для розвитку своєї кар'єри студенту потрібно отримувати нові навички, які в університеті не викладають, тому студенти витрачають багато часу на пошук цих знань.

У статті розглядається система, в якій студент буде обирати цікаву йому предметну область й система буде радити йому напрямки для розвитку у програмній області, яку він обрав. Студенти зможуть оцінювати свої поточні та запропоновані шляхи розвитку, й ця оцінка буде використовуватися для формування рекомендацій для інших студентів.

Є багато рекомендаційних алгоритмів, що мають свої переваги та недоліки та підходять до відповідних задач.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Області застосування систем рекомендацій у сучасному інтернеті:

- Рекомендації товарів в інтернет-магазинах. Мабуть, цей варіант застосування на сьогодні найбільш актуальний; системи рекомендацій інтернет-магазинів пропонують користувачеві придбати потрібний, на думку алгоритму, товар, ґрунтуючись на різноманітних факторах;

- Рекомендації фільмів / музики / відео. Сервіси на зразок Netflix, YouTube або LastFM реко-

мендують зареєстрованим відвідувачам той чи інший контент залежно від їхніх попередніх переглядів або прослуховувань і / або рейтингів того чи іншого відео, фільму або виконавця;

- Рекомендації новин. Система рекомендує «схожі» на раніше прочитані матеріали новини, ґрунтуючись або на схожості ключових слів, або, знову ж таки, на виборі користувачів зі схожими інтересами.

Нещодавно LinkedIn запустив LinkedIn Learning. Раніше їхні рекомендації базувалися на загальних та рандомізованих підходах, проте вони вирішили представити персоналізовані рекомендації, й саме вони допомогли їм покращити зацікавленість до свого ресурсу на 58%. LinkedIn використовує дані профілю та професійні зв'язки для того, щоб дізнатися те, що цікаво користувачу. В їхній системі є багато курсів, й для того, щоб зробити рекомендацію, вони розбивають курси та користувачів на множини навичок, шукають споріднені серед них й вони відбираються для рекомендації користувачу, після чого відбувається процес обробки вибраних рекомендацій, для того, щоб уникнути подібних [1].

Pluralsight використовує експертний підхід, який полягає у формуванні каналів експертом та підписанні команди на нього. Експерт має можливість редагувати канали, надавати на них посилання. Також система представляє аналітику по тому, як часто команда користується каналом, середні та індивідуальні показники прогресу. Використовуючи таку аналітику менеджери та

адміністратори зможуть отримати інформацію по сильних та слабких сторонах власної команди, визначити, в яких напрямках їм буде необхідно розвивати свої навички. Командному менеджеру буде простіше планувати розробку й назначати на неї людей, враховуючи персональні навички кожного. Персональна аналітика навичок базується на переоцінці, що є ключовим фактором до поліпшення відслідкованості [2].

**Постановка завдання.** Експеримент буде полягати у створенні системи, яка на відміну від LinkedIn Learning та Pluralsight буде орієнтована на навчальні заклади. У системі модераторами будуть створені базові навички та теми, що входять у ці навички. Користувачі, що відповідають за завантаження курсів, у нашому випадку викладачі, матимуть змогу створити курс, використовуючи при цьому власний чи сторонній матеріал. Після створення курсу викладачі проставляють теми, які покриває їхній курс.

Користувачами нашої системи будуть студенти, вони матимуть змогу переглядати список курсів, проходити їх та отримувати навички, що будуть відображатися в їхньому профілі. Під час проходження курсу, студентам може бути не зрозумілий деякий матеріал, й вони будуть користуватися пошуковими системами, для знаходження відповідей на свої запитання. На відміну від LinkedIn, у нашій системі студенти зможуть додати знайдену відповідь до курсу. Всі ці доповнення будуть знаходитись у БД, й по проходженню подібної теми іншим студентом, система буде рекомендувати йому додаткову інформацію, що завантажив інший студент. По проходженню курсу, студент може оцінювати як сам курс, так й рекомендований додатковий матеріал інших студентів. Система буде збирати не лише оцінки користувачів, а й користувацькі дії, такі як перегляд курсів, перегляд доповнень тощо. Система буде рекомендувати студенту теми, навички, по яких йому було б цікаво отримати інформацію, або він буде обирати теми власноруч, після чого система запропонує курси, які допоможуть отримати необхідні знання. А викладачам система запропонує створити нові курси, на основі популярних тем для студентів. Дана система буде відкритою, це означає те, що додавати контент зможуть як викладачі, так і студенти. Викладачі будуть створювати курси та додавати різні статті, а студенти у свою чергу можуть доповнювати курси, роблячи матеріал зрозумілішим.

Під час розробки будуть проаналізовані математичні моделі для персоналізованих рекоменда-

ційних систем та обрано математичну модель, яка буде вдало виконувати поставлену задачу.

**Виклад основного матеріалу.** Рекомендаційні системи – це програмні засоби на основі рекомендаційних алгоритмів, які надають пропозиції щодо потенційно корисної інформації для студента [3].

Є основні рекомендаційні алгоритми:

- Фільтрація контенту,
- Колаборативна фільтрація,
- Гібридна система фільтрації.

Рекомендаційні система, що базується на фільтрації контенту передбачає цікавий користувачу елемент, опис якого схожий на модель властивості користувача. Ця система працює з користувачами і профілями об'єктів, з якими користувач взаємодіє у минулому. Профілі взаємодії представлені векторами, які отримують характеризуючі атрибути об'єктів або користувачів. Прототип такої рекомендаційної системи для навчання був запущений у 2014, але розробники зіштовхнулися з проблемою, що рекомендації були згенеровані для всіх студентів одноманітні і їм бракувало персоналізації [4].

Техніки колаборативної фільтрації найчастіше використовуються у соціальних мережах і медіа ресурсах, що пропонують цікаві спільні ресурси. Метою даної системи є оцінка індивідуальних преференцій і пропозиція посилань на інші ресурси або інші системи, продукти й ресурси, які вірогідно будуть цікаві користувачу. Основне допущення полягає у наступному: ті, хто однаково оцінювали будь-які курси у минулому, схильні давати схожі оцінки інших предметів і у майбутньому. Наприклад, за допомогою колаборативної фільтрації музичний додаток здатний прогнозувати, яка музика сподобається користувачу, маючи неповний список його переваг (симпатій і антипатій). Прогнози складаються індивідуально для кожного користувача, хоча використовувана інформація зібрана від багатьох учасників. Тим самим колаборативна фільтрація відрізняється від більш простого підходу тим, що дає усереднену оцінку для кожного об'єкта інтересу, наприклад, що базується на кількості поданих за нього голосів. Обмеження даної системи у тому, що вона об'єднує у групи користувачів зі схожим стилем навчання й навичками та пропонує їм одне й те саме, не враховуючи особливості кожного. У 2015 році була створена навчально колаборативна система фільтрації під назвою U Learn (<http://ulearn.education>). Ця система забезпечує пропозиціями навчальних матеріалів, викладення їх найкоротшим

шляхом, спрощує переміщення по навчальному ресурсі. Проблемаю даної системи є те, що у ній користувачі не можуть взаємодіяти з матеріалом, доповнюючи його, тим самим допомагаючи один одному краще зрозуміти його.

Гібридна система фільтрації включає та комбінує наступні техніки: рекомендації, колаборативну та фільтрацію на основі контенту. Є багато типів гібридних рекомендаційних систем, але основними є наступні:

- колаборативна з доданими можливостями, взятими у техніки фільтрації контенту,
- фільтрація контенту з використаними техніками колаборативної фільтрації.

У даній роботі буде обрана гібридна система з більш активним використанням фільтрації контенту і менш активною – колаборативною фільтрацією. Колаборативна фільтрація має обмеження. Рекомендації, які вона створює, підходять до користувачів з однаковим стилем навчання. З іншої сторони, метод фільтрація контенту підходить для більш персоналізованих рекомендацій користувачу курсів у додатку, вона буде визначати, з якими об'єктами він взаємодівав у минулому, аналізувати його профіль й на основі цього пропонувати матеріал.

Специфіка завдання у цьому випадку додає нові напрямки розвитку рекомендаційної системи. По-перше, це можливість побудови адаптивної рекомендаційної системи, яка буде підлаштовуватися під потреби користувача у кон-

кретний момент, аналізуючи його активність й надаючи більшу вагу останнім діям і пропонувати йому оптимальні курси та доповнення. По-друге, можна витягти залежності між навчальними матеріалами з даних про те, як користувачі їх проходять. Ці дані можуть допомогти виділити окремі теми у матеріалах, зв'язку між цими темами, їх співвідношення за складністю.

**Висновки.** У даній роботі ми представили дослідження оціночних систем рекомендацій, піднімаючи ряд проблем, що зустрічаються у цих системах. Ми також обрали тип персоналізованої навчальної системи та обговорювали суміжні технології.

Запропонований клас рекомендаційних систем має вдалі характеристики у рекомендації, що допомагають студентам вибрати відповідні навчальні матеріали.

Кожен користувач, у нашому випадку студент, буде мати індивідуальні потреби та конкретні вимоги. Деякі студенти сильно мотивовані і полюбують вчити нове, у той час як інші студенти віддають перевагу специфічним гайдам та структурованому шляху. З щоденним ростом комп'ютерних та інтернет технологій, багато закордонних університетів використовують системи керування навчанням для підтримки викладання та навчання. Ці системи поширюють інформацію, файли, посилання на блоги та форуми тощо. У деяких випадках, ці системи можуть бути покращені впровадженням підтримки персоналізованих рекомендацій.

#### Список літератури:

1. Персоналізована рекомендаційна система в LinkedIn. URL: <https://engineering.linkedin.com/blog/2016/12/personalized-recommendations-in-linkedin-learning> (дата звернення 10.11.2018)
2. Персоналізуйте ваш досвід навчання, досягайте бізнес цілей простіше. URL: <https://www.pluralsight.com/product/channels> (дата звернення 8.9.2018)
3. Adomavicius G. and Tuzhilin A., 2005. Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. IEEE transactions on knowledge and data engineering, 17(6), pp.734-749.
4. Burke R., 2002. Hybrid recommender systems: Survey and experiments. User modeling and user-adapted interaction, 12(4), pp.331-370.
5. Candillier L., Jack K., Fessant F. and Meyer F., 2009. State-of-the-art recommender systems. Collaborative and Social Information Retrieval and Access Techniques for Improved User Modeling.
6. Kramár T. and Bieliková M., 2012, September. Dynamically selecting an appropriate context type for personalisation. In Proceedings of the sixth ACM conference on Recommender systems (pp. 321-324). ACM
7. Santos O.C. and Boticario J.G., 2011. Requirements for semantic educational recommender systems in formal e-learning scenarios. Algorithms, 4(2), pp.131-154.
8. Thai-Nghe N., Drumond L., Krohn-Grimberghe A. and Schmidt-Thieme L., 2010. Recommender system for predicting student performance. Procedia Computer Science, 1(2), pp.2811-2819.
9. Ricci F., Rokach L. and Shapira B., 2011. Introduction to recommender systems handbook. In Recommender systems handbook (pp. 1-35). Springer US.
10. Pazzani M.J. and Billsus D., 2007. Content-based recommendation systems. In The adaptive web (pp. 325-341). Springer, Berlin, Heidelberg.
11. Poorni G., Student P.G., Balaji K. and DeepthiNivetha C., A Personalized E-Learning Recommender System Using the Concept of Fuzzy Tree Matching.

## СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦИИ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*В интернете постоянно увеличивается объем информации, студентам все сложнее найти информацию из соответствующих учебных материалов, которая удовлетворит их потребности. Эффективная личная система рекомендации учебных материалов не только уменьшит информационную перегрузку, рекомендуя соответствующий учебный материал для своих студентов, а также окажет им необходимую информацию в нужное время и предложит необходимый путь. В данной статье будет представлено описание и анализ существующих систем рекомендаций и выявления задач для разработки и оценки наборов данных. Затем рассмотрим подход для разработки рекомендательной системы, целью которой является поддержка студента через Систему управления обучением, чтобы найти подходящий материал для улучшения знаний студента.*

**Ключевые слова:** Система управления обучением, рекомендательная система, алгоритм, система.

## A PERSONALIZED LEARNING RECOMMENDATION SYSTEM

*The amount of information on the Internet is constantly increasing, it is becoming more and more difficult for students to find information from relevant educational materials that will satisfy their needs. An effective personalized recommendation system for educational materials will not only reduce information overload, recommending appropriate educational material for its students, but also provide them with the necessary information at the right time and offer the necessary path. This article will provide a description and analysis of existing systems of recommendations and identification of tasks for the development and evaluation of data sets. Then we will look at the way for developing a recommender system, the purpose of which is to support the student through the Learning Management System, in order to find suitable material to improve the student's knowledge.*

**Key words:** Learning management system, recommendation system, algorithm, system.

## ЕНЕРГЕТИКА

---

УДК 621.311.1

**Бойко С.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Некрасов А.В.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Борисенко О.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Бондарець О.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Онищенко А.О.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

### АСПЕКТИ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ЗА УМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДО СИСТЕМИ ЇХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

*Метою роботи є синтез особливостей прогнозування електроспоживання підприємств при впровадженні за умови впровадження до системи їх електропостачання розосередженої генерації. Враховуючи те, що на підприємствах актуальне впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації, запропоновано впровадження відновлюваних джерел енергії. Між тим із метою прогнозування, з достатнім рівнем вірогідності, електроенергоспоживання підприємств необхідно вирішити багатокритеріальну задачу. Застосування нейронних мереж у системах прогнозування електроенергетичних параметрів дасть змогу забезпечити багатофакторне прогнозування. Такий підхід дасть змогу покращити прогнозованість згенерованої електроенергії розосередженою генерацією в часі, що зменшить, своєю чергою, похибку прогнозу електроспоживання з мережі в умовах підприємств. Запропонована структурна схема визначення прогнозних показників енергоспоживання з мережі підприємства при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації з метою подальшої реалізації прогновної моделі.*

**Ключові слова:** розосереджена генерація, відновлювальні джерела енергії, електропостачання підприємств, прогнозування електроспоживання, штучні нейронні мережі.

**Постановка проблеми.** Україна має потужні ресурси вітрової енергії та сонячної енергії. Як приклад, річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд кВт·год. Експлуатація тихохідних багатолопатевих вітроустановок із підвищеним обертаючим моментом є ефективною практично на всій території України [1].

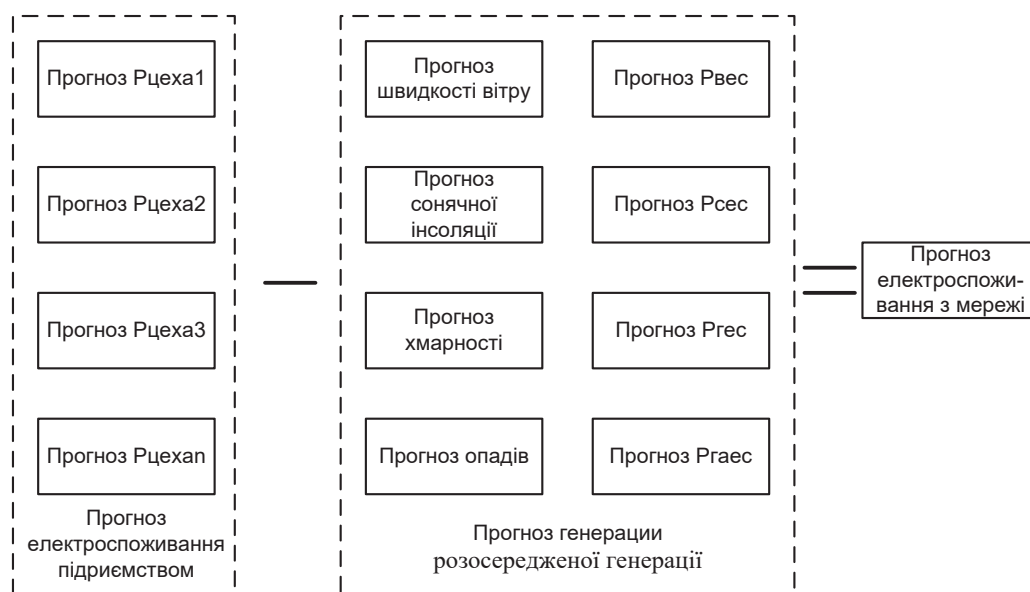
Низка промислових підприємств розташовані на побережжі водойм, що зумовлено технологічним процесом чи особливостями транспортування продукції.

Між тим водоймища мають позитивний вплив на енергетичні показники відновлювальних дже-

рел енергії (ВДЕ), що, як правило, входять до складу розосередженої генерації (РГ). В Україні налічується близько 30 тисяч водосховищ, ставків, великих каналів, із-поміж яких 10 великих водоводів у водозабірних басейнах річок [2].

Підприємства є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів України. Між тим, що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення щороку зростають.

Як друге незалежне джерело живлення електроспоживачів можуть бути використані, у



**Рис. 1. Структурна схема визначення прогнозних показників енергоспоживання із мережі підприємства під час впровадження в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації**

тому числі, спеціальні агрегати безперебійного живлення та акумуляторні батареї. Тому одним з альтернативних рішень є використання розосередженої генерації, розташованої на території підприємства, з метою електропостачання відповідальних електроприймачів в аварійних ситуаціях та інших псевдоаварійних режимах роботи, зменшення витрат за спожиту електроенергію та підвищення рівня надійності електропостачання.

Водночас аналіз розподілу потоків споживання електроенергії свідчить, що велика частка електричної енергії припадає саме на локальні енергетичні об'єкти, що зумовлює загальною актуальність вивчення питання особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств та актуальності застосування при цьому комбінованого підходу, особливо у разі впровадження в структуру електропостачання цих підприємств РГ [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У низці попередніх досліджень автори обґрунтовують позитивний ефект водойм на енергетичні показники вітру, а саме збільшення швидкості та стабільності вітру у береговій зоні водойм, і чим більша водойма, тим більший ефект.

Між тим ці об'єкти (а це в масштабах України сотні гектарів) за всіма своїми параметрами можуть і мають стати полігоном для розміщення комплексів РГ, які, по суті, мають стати міні- або мікроелектростанціями в структурі систем елек-

тропостачання підприємств України, у тому числі гірничих [3].

**Постановка завдання.** Метою статті є визначення особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств РГ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В результаті аналізу можливості впровадження ВДЕ у складі локальних енергетичних систем (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 їхній 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 [4].

До складу запропонованої системи електропостачання РГ входить таке устаткування: вітроенергетична станція (ВЕС), сонячна електростанція (СЕС), гідроенергетична станція (ГЕС), гідроакумуляуюча станція (ГАЕС); батарея акумуляторів, що служить для накопичення електроенергії при роботі ВДЕ з метою живлення системи її управління (або, за необхідності, як резервне джерело живлення); перетворювальна апаратура, у разі використання генератора змінної напруги,

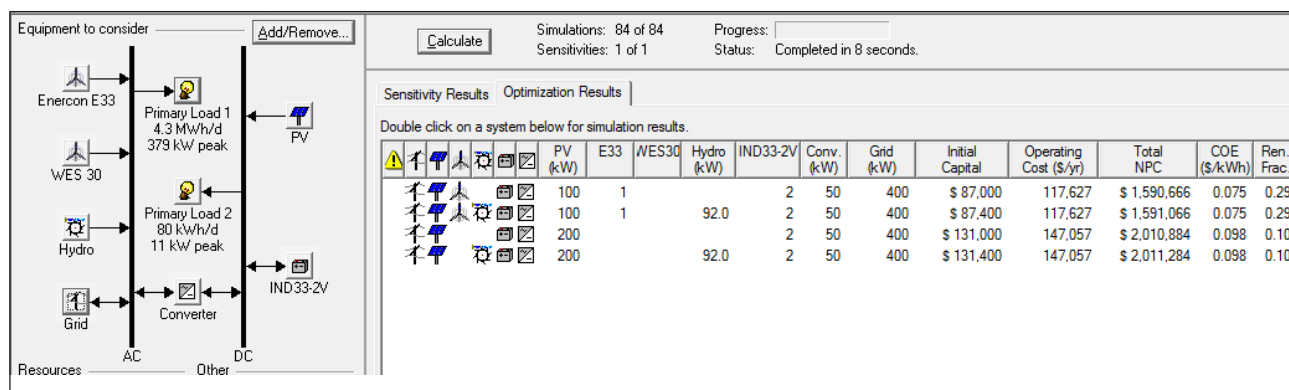


Рис. 2. Схема електропостачання на базі ВДЕ в програмі Homer energy

що служить 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).

Беручи до уваги раніше отримані результати [5] досліджень, у середовищі програми Homer energy було змодельовано запропоновану систему електропостачання на базі ВДЕ (рис. 2).

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.

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.

А за умови генерування РГ більшої потужності від необхідного споживання підприємством потужність спожитої електричної енергії з енергосистеми дорівнює [6]:

$$S_{PS} = S_{PP} - \left( \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right), \quad (3)$$

За умови можливості накопичення надлишку згенерованої електричної енергії ВДЕ потужність спожитої електричної енергії з енергосистеми дорівнює:

$$S_{PS} = S_{PP} \pm S_{\Sigma EB} - \left( \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right), \quad (4)$$

За умови від'ємного значення потужності спожитої електричної енергії з енергосистеми відбувається віддача надлишку згенерованої електричної енергії до мережі.

Оскільки під час впровадження комбінованого електропостачання велика кількість можливих конфігурацій, буде актуальним описування цих конфігурацій у вигляді тензора. Тензор електропостачання від ЛЕС із використанням ВДЕ представлено у вигляді [7]:

$$B_i^k \Sigma_{PP} = \sum_{i=1}^{k=4} S_i^k t^i = \begin{pmatrix} S_1^1 t^1 & S_2^1 t^2 & S_3^1 t^3 & S_4^1 t^4 & S_5^1 t^5 \\ S_1^2 t^1 & S_2^2 t^2 & S_3^2 t^3 & S_4^2 t^4 & S_5^2 t^5 \\ S_1^3 t^1 & S_2^3 t^2 & S_3^3 t^3 & S_4^3 t^4 & S_5^3 t^5 \\ S_1^4 t^1 & S_2^4 t^2 & S_3^4 t^3 & S_4^4 t^4 & S_5^4 t^5 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де  $k$  – варіанти електропостачання,  $i$  – джерела постачання ЕЕ,  $S_i^k$  – потужність  $i$ -го джерела ЕЕ в  $k$ -му варіанті електропостачання,  $t_i$  – час електропостачання від  $i$ -го джерела ЕЕ,  $S^k$  – варіант електропостачання ЕЕ,  $S_1$  – електромережа,  $S_2$  – вітроелектростанція,  $S_3$  – сонячна фотоелектростанція,  $S_4$  – мікрогідроелектростанція,  $S_5$  – акумулятори.

Перший рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за першим варіантом.

Другий рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за другим варіантом.

Третій рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за третім варіантом.

Четвертий рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за четвертим варіантом.

Згідно з правилом додавання, знак суми в записі тензора можна опустити і записати його у вигляді:

$$B_i^k \Sigma_{PP} = S_i^k t^i.$$

Таким чином, інструментом для побудови прогнозу були вибрані штучні нейронні мережі. Крім того, використання нейронних мереж позбавить нас необхідності дотримуватися якоїсь певної сезонної або трендової моделей. Ця модель здатна отримувати інформацію ззовні та має властивість самонавчання.

Теоретично доведено, що за допомогою таких найпростіших перетворень можна наблизити дуже важкі багатомірні функції, отже, оцінювати важкі залежності.

Специфікою нейромережових класифікаторів є навчання їх характеристик на навчальній множині. Реалізація таких алгоритмів у нейромережевому базисі можлива на основі мереж Кохонена, які вважаються самонавчального (самоорганізації). Основу навчання таких мереж становить конкуренція між нейронами. При цьому вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків кожного  $i$ -го нейрона вихідного шару нейронної мережі Кохонена утворюють вектор  $w_i = (w_{i1}; w_{i2}; \dots; w_{i10})^T$  при  $i = 1, 2, \dots, n$  [8].

Навчання нейронної мережі Кохонена на основі конкуренції нейронів є таке впорядкування нейронів, яке мінімізує значення очікуваного спотворення, що оцінюється похибкою апроксимації вхідного вектору  $\Delta Y$ , значеннями вагових коефіцієнтів нейрона-переможця. При  $L$  вхідних векторах  $(\Delta Y)_j$ , ( $j = 1, 2, \dots, L$ ) і евклідової метриці ця похибка може бути виражена як [9–11]:

$$E = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \|(\Delta Y)_j - w_p(j)\|^2; \quad (6)$$

де  $w_p(j)$  – вагові коефіцієнти нейрона-переможця при пред'явленні мережі вектору  $(\Delta Y)_j$ .

Побудова цього прогнозу реалізована у пакеті «St Neural Networks».

Результат дослідження зображено на рис. 3–4.

Отже, аналізуючи дослідження цього методу прогнозування, було встановлено, що методи відрізняються швидкістю обчислень, незначною похибкою отриманого прогнозу, кількістю необхідних даних для точного прогнозування та ін. [11–13].

#### Висновки.

1. На підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії. Водночас із метою

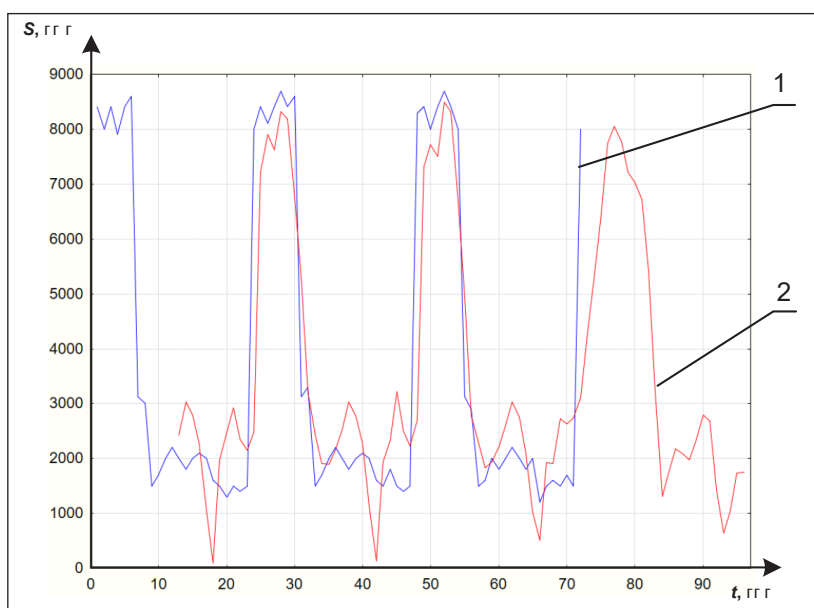


Рис. 3. Погодинний прогноз електроспоживання на добу:  
1 – фактичне споживання; 2 – згладжений ряд

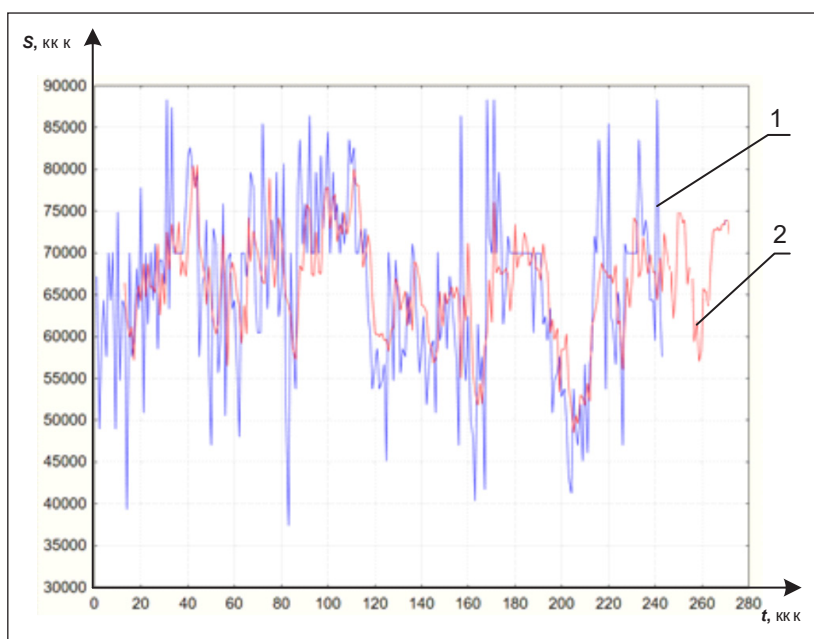


Рис. 4. Місячний прогноз на місяць в 2017 р.:  
1 – фактичне споживання; 2 – згладжений ряд

достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурах систем електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання, що пов'язані з приєднанням джерел розосередженої генерації в комплекс вищезгаданих систем.

2. З метою прогнозування, з достатнім рівнем вірогідності, електроенергоспоживання підприємствами необхідно вирішити багатокритеріальну задачу з обов'язковим попереднім визначенням

всіх факторів, що впливають та визначають рівні енергоспоживання конкретного підприємства.

3. Застосування нейронних мереж у системах прогнозування електроенергетичних параметрів відновлювальних джерел енергії дасть змогу забез-

печити багатфакторне прогнозування, що уможливить покращення прогнозованості згенерованої електроенергії розосередженою генерацією в часі, що зменшить, своєю чергою, похибку прогнозу електроспоживання з мережі в умовах підприємств.

#### Список літератури:

1. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізничних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
2. Клімат України / За ред. В.М. Лівійського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 133 с.
3. Загальна гідрологія: Підр. / Левківський С.С., Хільчевський В.К., Оболюцький О.Т. та ін.; за ред. С.М. Лисогора. К.: Фітосоціоцентр, 2000. 264 с.
4. Гурін А.О. Аерологія гірничих підприємств / А.О. Гурін, П.В. Бересневич, А.А. Немченко, І.Б. Ошманський. Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2007. 262 с. ISBN 978-966-350-369-1.
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. Кузнєцов М.П. Методи оцінки випадкових параметрів роботи енергосистем з інтегрованими вітровими електростанціями. Відновлювана енергетика. 2014. № 1. С. 59-64.
8. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.
9. 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.
10. Bayir R. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors [Text] / R. Bayir, O.F. Bay: IJSIT Lecture Note of International Conference on Intelligent Knowledge Systems. 2004. Vol. 1. № 1.
11. Charytoniuk W., Chen M.S. Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network. IEEE Trans. on Power Systems. 1995. Vol. 7. № 1.
12. Boiko S. The operative prognosis to the conditions of the electrical supply complex – electric consumption of mining companies. Авіація, промисловість, суспільство: Збірник тез доповідей І Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів (27 квітня 2018 р., м. Кременчук). Кременчук, ПП Щербатих О.В., 2018. С. 30.
13. Розен В.П., Шокарьов Д.А., Ляпота К.П. Побудова прогнозної моделі енерговитрат за допомогою застосування методу планування експерименту. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірка наукових праць «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія й практика». 2010. № 28. С. 220-223.

#### АСПЕКТЫ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ В СИСТЕМУ ИХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАССРЕДОТОЧЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

*Целью работы является синтез особенностей прогнозирования электропотребления предприятий при условии внедрения в систему их электроснабжения рассредоточенной генерации. Учитывая, что на предприятиях актуальным является внедрение в общую структуру систем электропитания рассредоточенной генерации, предложено внедрение возобновляемых источников энергии. Между тем, для прогнозирования с достаточным уровнем достоверности электроэнергопотребления предприятий необходимо решить многокритериальную задачу. Применение нейронных сетей в системах прогнозирования электроэнергетических параметров позволит обеспечить многофакторное прогнозирование. Такой подход позволит улучшить прогнозируемость сгенерированной электроэнергии рассредоточенной генерацией во времени, что уменьшит, в свою очередь, погрешность прогноза электропотребления из сети в условиях предприятий. Предложенная структурная схема определения прогнозных показателей энергопотребления с сети предприятия при внедрении в структуру электро-*

снабжения этих предприятий рассредоточенной генерации для дальнейшей реализации прогнозной модели.

**Ключевые слова:** рассредоточенная генерация, возобновляемые источники энергии, электро-снабжение предприятий, прогнозирование электропотребления, искусственные нейронные сети.

#### **ASPECTS MODEL OF FORECASTING ELECTRICITY OF ENTERPRISES, ON THE CONDITIONS OF IMPLEMENTATION TO THEIR SYSTEM OF ELECTRICAL SUPPLY OF DISPOSABLE GENERATION**

*The purpose of this work is to synthesize peculiarities of forecasting of substations' electric consumption at introduction, provided that generations are dispatched to their electricity supply system. Taking into account the fact that the enterprises actual introduction into the general structure of power supply systems of distributed generation, proposed the introduction of renewable energy sources. Meanwhile, for forecasting, with a sufficient level of probability, the electricity consumption of enterprises it is necessary to solve a multicriteria problem. Application of neural networks in systems of forecasting of electric power parameters will allow to provide multifactor forecasting. This approach will improve the predicted generation of electricity by dispersed generation in time, which in turn reduces the forecast error of the electricity consumption from the network in the conditions of enterprises. The structural scheme of determination of forecast indicators of energy consumption from the network of the enterprise is proposed, with the introduction of the electricity supply of these dispersed generation enterprises, for further implementation of the forecast model.*

**Key words:** dispersed generation, renewable energy sources, electrical supply of enterprises, forecasting of electro-consumption, artificial neurons networks.

**Пантелєєва І.В.**

Українська інженерно-педагогічна академія

## СТАН РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

*У статті розглядаються основні напрями розвитку автоматизованих систем управління (АСУ) електричних мереж, зокрема, підстанцій. Необхідність створення таких систем визначається складністю режимів роботи електромережі. Також треба враховувати, що наявні елементи мережі 35÷750 кВ обладнані електромеханічними чи статичними пристроями захисту та автоматики, які виробили свій фізичний та моральний ресурс. З'явилася необхідність автоматизації цілої низки технологічних операцій. Усі ці фактори визвали необхідність інтеграції всіх автоматичних та автоматизованих пристроїв у єдину автоматизовану систему управління електричною мережею.*

**Ключові слова:** електрична мережа, підстанція, автоматизована система управління, релейний захист, протиаварійна автоматика, лінія електропередачі, облік електроенергії, лічильник електроенергії, системи зв'язку, акумуляторна батарея.

### Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.

Технічні системи електроенергетики вже на перших стадіях свого розвитку були обладнані деякими пристроями автоматичного управління у зв'язку з тим, що електричні процеси протікають з надзвичайно великою швидкістю, яка вимірюється у долях секунди. Ці пристрої, насамперед пристрої релейного захисту від коротких замикань та лінійної автоматики, розміщуються на підстанціях (ПС) та розподільчих пристроях електростанцій. З часом функції та склад автоматичних пристроїв суттєво розширились [4, с. 22–30]. З'явилась необхідність автоматизації багатьох технологічних операцій, зріс обсяг обміну інформацією про стан об'єктів управління, виникла необхідність координації оперативної діяльності сусідніх об'єктів електричної мережі. Ці фактори визначили необхідність інтеграції всіх автоматичних та автоматизованих пристроїв в єдину автоматизовану систему управління технологічними процесами мережі за широкого обміну інформацією про її стан.

У електроенергетичній системі на різних елементах електричних мереж можуть виникати пошкодження (короткі замикання), які приводять до відхилень від нормальних режимів роботи. Є відома теоретична загальність початкових концепцій структури побудови релейного захисту та лінійної автоматики (РЗА) мереж напругою 110 кВ і вище в Україні та в закордонній практиці. Водночас є низка принципових відмінностей, по-перше, в обладнанні РЗА України і світових фірм. По-друге, в Україні відсутні спеціалізовані

підприємства з виробництва панелей, так званих «складних» захистів елементів мереж. Беручи до уваги, що ці захисти за їх високої вартості відстають від сучасних вимог, розгляд можливостей використання сучасного обладнання є особливо актуальним [2; 3].

Традиційні електромеханічні та статичні релейні пристрої (ТРП) мають гостру направленість дії. Вони призначені для виконання фіксованих функцій. ТРП захисту та автоматики автономні, вони розділені та являють абсолютно різні конструкції – панелі (шафи). У складі РЗА наявні автономні захисти абсолютної та відносної селективності будь-якого елемента мережі, що захищається. При цьому у пристроїв навіть вимірювальні органи виконані на різних принципах, тому використання потребує додаткової апаратури для їх узгодження [1; 4].

**Постановка завдання.** Мета статті – розробити таку структуру автоматизованої системи управління технологічними процесами електричної мережі (АСУ ТП ЕМ), щоб вона забезпечувала єдиний підхід до функціонального наповнення організації технологічного управління, формування масивів інформації та організації доступу до цих масивів від усіх рівнів оперативного управління та архівів інформації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Необхідність створення такої АСУ диктується зростаючою складністю режимів роботи електромережі, прагненням підвищити надійність і стійкість роботи електроенергетичної системи, підвищити швидкодню ліквідації порушень нормальних режимів за рахунок забезпечення оперативного

персоналу всіх рівнів оперативної ієрархії необхідною інформацією про характер порушення режиму, про функціонування захисних пристроїв та засобів протиаварійного управління, а також про стан обладнання об'єкта та пристроїв управління об'єкта.

Можливість створення систем АСУ ТП ЕМ визначається прогресом нових технологій у релейному захисті, протиаварійній автоматизації, контролі складу об'єкта, реєстрації аварійних подій та обліку електроенергії за рахунок використання мікропроцесорних систем, які мають: велику швидкодію і інформативність, глибокий автоконтроль функціонування апаратури, блокування від неправильних дій персоналу [6].

Цифрові мікропроцесорні релейні пристрої є результатом втілення комп'ютерних технологій у релейний захист. Це дало змогу різко зменшити вагу та габарити пристроїв, знизити споживання струму та напруги, а також втілити функції автоконтролю і практично ліквідувати періодичне технічне обслуговування. Цифрові методи дають змогу більш точно і з великою швидкістю вести аналіз вхідних параметрів. Головну перевагу цифрових захистів можна оцінити по напрямках:

- об'єднання одиничних функцій та підвищення точності, селективності, гнучкості;
- адаптивність до режимів енергосистеми, які відрізняються від номінального;
- створення передумов для координації управління та захисту у межах об'єкта.

Найважливішою особливістю захисту ліній електропередачі, наприклад на мікропроцесорній техніці, є комплексне використання великої кількості функцій в одному пристрої, що дає змогу максимально знизити вартість комплексу захисту й автоматики приєднання. Основними постачальниками мікропроцесорних захистів є закордонні фірми: "ABB", "SIEMENS", "ALSTOM" та вітчизняний виробник НВО «Хартрон» [5].

Питання поєднання традиційних захистів та сучасних мікропроцесорних пристроїв не мають єдиного рішення. Принципово можливі різні варіанти такого рішення, що враховується як рівнем готовності мікропроцесорних захистів і обсягом їх засвоєння, так і рівнем готовності експлуатаційного персоналу до їх обслуговування. Загалом, протягом тривалого часу необхідно буде враховувати сумісність використання традиційних і сучасних пристроїв як у межах мережі, так і в межах різних елементів мережі, які захищаються. У 2001–2002 рр. закінчилось проектування та втілення сучасних мікропроцесорних захистів фірми

"SIEMENS" для всіх повітряних ліній 500÷750 кВ України. Такий комплекс захистів встановлено паралельно наявному комплексу захисту серії ПДЕ-2000. У перспективі аналогічні комплекси мали бути встановлені на лінії 110÷330 кВ. Для захисту ЛЕП 35 кВ та нижче необхідно використовувати сучасні мікропроцесорні захисти вітчизняного виробника «Київприбор» і «Хартрон-Інкор», які включають і функції автоматики: пристроїв резервування відказу вимикачів, АПВ та визначення місць пошкодження.

Комплекс пристроїв протиаварійної автоматики (ПА) створює глибоко резервовану систему запобігання розвитку пошкоджень, дії яких поширюються від відключення пошкодженого елемента мережі до збереження стійкості енергосистеми, до розділення її в асинхронному ході, запобігання лавині частоти та напруги. Для створення ефективного протиаварійного управління енергосистемою (ЕС) України передбачається трирівнева система управління [7; 8].

На її нижньому рівні забезпечується статична та динамічна стійкість локальних енерговузлів – потужних ТЕС, АЕС, ГЕС. До функцій другого рівня управління входить задача збереження стійкості внутрішніх зв'язків ЕС України, а також забезпечення режиму роботи прикордонних з Україною країн (за контрактними умовами). Третій рівень управління – координуючий центр, який забезпечує зв'язок дій локальних і загальносистемних комплексів з метою забезпечення оптимізації їх роботи.

Трирівнева система управління будується таким чином, щоб у виході з роботи координуючого центру комплекси ПА першого і другого рівнів управління самостійно виконували свої функції щодо забезпечення статичної стійкості міжсистемних зв'язків, статичної та динамічної стійкості генеруючих станцій, тобто без участі координуючого центру (рис. 1).

Основний принцип побудови ПА в ЕС України у сучасних умовах може бути сформульований таким чином: кожний регіон мусить мати свою систему ПА, яка забезпечує стійкість у разі відключення в цьому регіоні найбільш потужних ЛЕП чи генеруючих блоків. При цьому результуючий небаланс, який зумовлений збуренням і керуючими діями, не має перевищувати допустимої величини, яка визначається стійкістю електропередач у інших регіонах України. У такому вигляді цей принцип був покладений в основу побудови ПА в ЕС України. Однак у сучасних умовах він має бути доповнений новою та складною

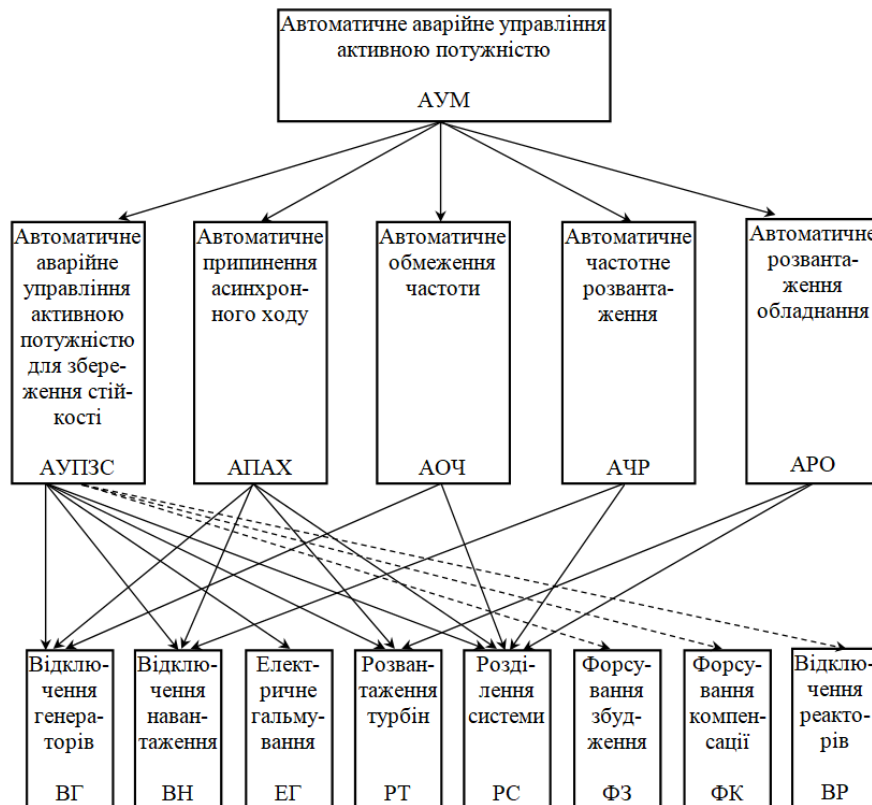


Рис. 1. Схема протиаварійного управління (суцільні лінії – основні дії, пунктирні лінії – дії для підвищення пропускної здатності ліній)

вимогою: виконувати керуючі дії в максимальному обсязі у регіоні поблизу місця аварії. Цю нову вимогу складно виконати, тому що обсяг керуючих дій у кожному регіоні обмежений.

Система координації (третій рівень управління) допомагає вирішити цю задачу, діючи у двох напрямках:

- збільшення допустимого небалансу керуючих дій на основі аналізу напруженого режиму всієї енергосистеми України;
- адаптивний розподіл керуючих дій на основі визначення «винуватця» створення напруженого режиму.

Для збереження статичної та динамічної стійкості енергооб'єктів України пристрої управління активною потужністю (АУПЗС, рис. 1) виконують: відключення частини гідроелектричних станцій, а в деяких випадках, коли це технологічно допустимо, теплових електростанцій (ВГ); швидке зниження чи набір потужності парових турбін без автоматичного відновлення навантаження, що було раніше (розвантаження турбін РТ); відключення (за необхідності) частини навантаження споживачів, які легко переносять короткочасну перерву в електропостачанні (ВН); автоматичне розділення

енергосистеми (РС), якщо вказані вище заходи недостатні; короткочасне розвантаження турбін; короткочасне включення навантажувальних активних опорів (електричне гальмування ЕГ).

Пристрої АУПЗС зазвичай використовують також і для підвищення пропускної здатності ліній електропередачі, тобто вони виконують деякі функції, які виходять за межі свого призначення.

Для підтримки нормальних та економічно вигідних параметрів роботи енергосистеми України у разі можливих збурень задіяні також пристрої автоматичного регулювання частоти (АЧР), ця система заснована на таких принципах: основним об'єктом визначення обсягу АЧР є вся електроенергетична система України як сума обсягів АЧР частин, які становлять систему; допустима нижня уставка – 46,5 Гц, тому що подальше зниження може привести до виникнення лавини частоти; необхідний максимальний обсяг першої черги АЧР має приблизно дорівнювати потужності найбільшого генератора у системі.

За останні десятиріччя в електроенергетиці пройшли великі зміни технічного та економічного характеру. Ці фактори суттєво вплинули як

на режими роботи енергосистем та обладнання електростанцій, так і на умови роботи протиаварійних автоматик, зокрема і на АЧР. Триває робота з визначення нової концепції побудови сучасної системи АЧР, адаптованої до прогнозованих режимів роботи енергосистеми України на більш віддалену перспективу [11].

Важливим елементом створення загальноенергетичного інформаційного середовища буде широке втілення реєстрації параметрів у нормальних, доаварійних, аварійних і післяаварійних режимах. Основу такого середовища становлять інформаційно-діагностичні комплекси, які забезпечують реєстрацію режимних параметрів, їх аналіз, розробку рекомендацій з проведення режимів, організації експлуатації обладнання, рішення техніко-економічних задач.

Інформаційно-діагностичний комплекс має на нижньому рівні охоплювати всі приєднання підстанції, силове обладнання, системи вторинної комутації. Інформація у вигляді аналогових і дискретних сигналів після первинної обробки має передаватися на підстанційний рівень для її обробки, аналізу, підготовки для передачі на щит управління станції або диспетчерський пункт.

Створення системи інформаційно-діагностичного забезпечення ЕС України, з огляду на їх масовість, має базуватися на продукції вітчизняних виробників і науково-технічних комплексів. Вітчизняні системи реєстрації, які втілюються нині, за технічною реалізацією відповідають рівню розробок провідних світових фірм, а за функціональними можливостями (у деяких випадках) їх перевищують. Вони розроблені під технічні вимоги та умови електроенергетичної системи України, а вартість їх значно менша [9; 12].

Технічна експлуатація сучасних підстанцій та електричних мереж неможлива без багатьох різноманітних пристроїв, які передбачені для управління комутаційними апаратами, контролю і діагностики стану електрообладнання; пристроїв релейного захисту та автоматики, вимірювання, сигналізації, блокування та реєстрації аварійних процесів. Від надійної роботи цих пристроїв, які називають «вторинними», що об'єднані між собою вторинними ланцюгами, залежить безаварійна і раціональна експлуатація об'єктів електричної мережі. Використання мікропроцесорних вторинних пристроїв змінює характер роботи персоналу підстанції. Однією з важливих переваг сучасних вторинних пристроїв є можливість фіксувати у режимі реального часу всі параметри технологічного процесу та стану самих пристроїв, а також дії

персоналу. Подальший аналіз цієї інформації дає змогу оперативно розслідувати причини аварійних ситуацій та попередити аналогічні похибки у подальшій експлуатації об'єктів.

Необхідно відзначити, що такі системи слід втілювати на підстанціях класу напруги 330÷750 кВ, тому що системи передбачають визначений рівень обслуговування і, крім того, необхідні значні інвестиції як на закупку та ввід до експлуатації окремих пристроїв, так і системи загалом.

Комплексна система автоматизації підстанції передбачає здійснення інформаційного обміну між окремими модулями системи волоконно-оптичними кабелями. Для перетворення сигналів використовують оптикоелектричні конвертори. Однак зв'язок з силовим обладнанням, приводами комутаційних апаратів, трансформаторами струму та напруги виконується струмопровідними кабельними зв'язками. Використання мікропроцесорних пристроїв на підстанціях з відкритими розподільчими пристроями 110÷750 кВ потребує особливої уваги до захисту вторинних ланцюгів, позаяк через низький рівень та широкий частотний спектр робочих сигналів, ці пристрої мають високу чутливість до імпульсних електромагнітних перешкод. Нормативними документами встановлені допустимі значення напруг перешкод, виходячи з умов, що дослідницькі напруги мікропроцесорних вторинних пристроїв задовольняють стандартам МЕК – міжнародної електротехнічної комісії.

Зниження рівня перешкод до допустимих значень досягається виконанням низки вимог до заземлення [13], вибору типу кабелю та засобу його прокладки. Для об'єктів, що реконструюються, вибір конкретних заходів має здійснюватися на базі випробувань, які включають комплексну діагностику стану заземлюючого пристрою з перевіркою рівня імпульсних перешкод у вторинних ланцюгах.

Уявляється перспективним використання мікропроцесорних пристроїв захисту, автоматики, контролю та управління приєднань 6÷10 кВ. Такий пристрій розміщується, як правило, безпосередньо в комірці КРП та є уніфікованим, може використовуватись як для приєднань, що відходять, так і для ввідних та секційних вимикачів. За відносно низької вартості значно розширюється діапазон функцій, що виконуються, без встановлення додаткових елементів.

Ефективне функціонування вторинних пристроїв неможливе без організації надійної роботи системи оперативного струму. Використання

сучасних високовольтних елегазових і вакуумних вимикачів з електромагнітними приводами та струмом живлення ланцюга електромагнітів не більше 11 А, а також використання герметизованих акумуляторних батарей дало змогу перейти до постійного оперативного струму для підстанцій напругою від 35 кВ, які виконані за спрощеними схемами. Розроблені та успішно використовуються сучасні щити постійного струму, які забезпечують повноцінне розділення ланцюгів живлення основних та резервних захистів лінійних приєднань і підстанційних елементів [8;10]. Для забезпечення селективної роботи захисних апаратів у мережі постійного струму розроблені і встановлюються у щити постійного струму автоматичні вимикачі серії ВА09-35С, які мають уставки спрацювання у часі у зоні струмів короткого замикання від 0,1 с до 0,5 с. Автоматичні вимикачі не мають аналогів у світовій практиці та дають змогу забезпечити повну селективність у мережах оперативного постійного струму.

Для підстанцій 35÷220 кВ, які виконані за спрощеними схемами, використовується компактна система організації постійного оперативного струму, яка складається з однієї чи двох шаф з акумуляторними батареями (АБ) та двох шаф управління з вбудованими пристроями, що спрямляють. У них передбачене повне розділення ланцюгів живлення основних та резервних захистів, можливість виводу у ремонт однієї з секцій та акумуляторної батареї (за двох АБ). Захист приєднань та ланцюга АБ здійснюється автоматичними вимикачами, передбачений контроль рівня ізоляції у мережі постійного струму, контроль напруги, захист АБ від глибокого розряду. Наявність на підстанціях двох АБ дає змогу значно підвищити надійність живлення оперативних ланцюгів. Коротке замикання в системі оперативного постійного струму однієї з двох АБ не впливає на рівень напруги у системі другої АБ, що забезпечує нормальне функціонування пристроїв РЗА, які живляться від другої АБ. Обмін інформацією про стан об'єктів

управління в енергетиці неможливий без сучасних засобів зв'язку. Розвиток засобів зв'язку електроенергетичної галузі на період до 2020 р. йтиме шляхом широкого втілення цифрових систем передачі інформації та комутації на базі створення: цифрових високочастотних (ВЧ) каналів по ЛЕП усіх класів напруги; волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) з підвіскою волоконно-оптичних кабелів на опорах повітряних ліній електропередачі напругою 110÷330 кВ; цифрових радіорелейних ліній.

ВОЛЗ мають низку переваг перед іншими системами зв'язку. Швидке втілення в інформаційні мережі оптичних ліній зв'язку є результатом переваг, які витікають із особливостей розповсюдження сигналів у оптичному середовищі. До переваг оптичних волокон можна віднести таке: широка полоса пропускання; мале затухання світлового сигналу у волокні; низький рівень шумів; висока перешкодозахищеність; мала вага та обсяг волоконно-оптичних кабелів; висока захищеність від несанкціонованого доступу; гальванічна розв'язка; вибухо- та пожежна безпека; економічність; довготривалий термін експлуатації та інше.

До недоліків волоконно-оптичних систем відноситься висока вартість прецизійного монтажного обладнання і лазерних джерел випромінювання. Однак переваги від використання ВОЛЗ настільки значні, що подальші перспективи розвитку технології ВОЛЗ більш ніж очевидні.

**Висновки.** 1. Розроблена структурна схема противарійного управління підстанціями АСУ ТП ЕМ.

2. АСУ ТП ЕМ має виконувати такі функції управління: релейного захисту та лінійної автоматики; противарійного управління; оперативного управління; контролю і діагностування стану об'єкта; реєстрації аварійних ситуацій; обліку електричної енергії; контролю якості електричної енергії; обміну інформацією.

3. Проаналізовані переваги та недоліки деяких підструктурних об'єктів розробленої схеми управління.

#### Список літератури:

1. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических объектов. Издательство МЭИ, 2009. 324 с.
2. Ларионова В.В. Системы регулирования в энергетике – подходы и решение. Автоматизация в промышленности. 2004. № 4. С. 15–19.
3. Лукоянов В.Ю. Комплект микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики для оснащения подстанций 6–35 кВ. В кн. Релейная защита и автоматика энергосистем, 2004. С. 277, 278.
4. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. Энергоатомиздат, 2004. 568 с.
5. Кузнецов А.Н. Программное обеспечение устройства противоаварийной автоматики с применением микроЭВМ. Электротехника. 1995. № 9. С. 54–57.

6. Алимов Ю.Н., Белотелов А.К., Левиуш А.И. Основные принципы построения релейной защиты оборудования 330-750 кВ с использованием микропроцессорных устройств. Электрические станции. 2005. № 9. С. 42–45.
7. Пантелеева І.В. Основні протиаварійні заходи на промислових підприємствах. Modern Methods, Innovations and Experience of Practical Application in the Field of Technical Sciences. Poland, 2017. С. 80–82.
8. Пантелеева І.В., Шматько Н.М., Горбенко Н.І. Протиаварійне керування в енергосистемах при глибоких зниженнях напруги. Системи озброєння і військова техніка. ХУПС, 2010. № 1 (21). С. 228–231.
9. Лепейко Т.І., Шматько Н.М. Особливості прояву енергетичних ефектів в українській економіці. Бізнес Інформ Business Inform, 2012. № 11. С. 6–8.
10. Юшков А.М., Орлов Р.П., Рычаев В.Н. Опыт компании «АББ Автоматизация» в области реализации систем АСУ ТП подстанций, сетей и электрической части электростанции на базе микропроцессорной техники. Информационные материалы II Научно-технического семинара. ОРГРЭС, 2001. 120 с.
11. Пантелеева І.В., Олійник Ю.С. Особливості регулювання електродвигунів пристроями силової перетворювальної техніки промислового електроприводу. Комунальне господарство міст. 2013. № 109. С. 89–95.
12. Шматько Н.М. Рекомендації щодо оцінки складових фінансового потенціалу гнучкості машинобудівного підприємства. Вісник НТУ «ХПІ». 2011. № 25. С. 79–85.
13. Budanov P. Improvement of safety of autonomous electrical installations by implementing a method for calculating the electrolytic grounding electrodes parameters / P. Budanov, K. Brovko, A. Cherniuk, I. Pantelieieva, Yu. Oliynyk, N. Shmatko, P. Vasyuchenko. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2018. 5/5 (95). P. 20–28. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144925>

## СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*В статье рассматриваются основные направления развития автоматизированных систем управления (АСУ) электрических сетей, в частности, подстанций. Необходимость создания таких систем определяется сложностью режимов работы электросети. Также необходимо учитывать, что существующие элементы сети 35÷750 кВ оборудованы электромеханическими или статическими устройствами защиты и автоматики, которые выработали свой физический и моральный ресурс. Появилась необходимость автоматизации целого ряда технологических операций. Все эти факторы вызвали необходимость интеграции всех автоматических и автоматизированных устройств в единую автоматизированную систему управления электрической сетью.*

**Ключевые слова:** электрическая сеть, подстанция, автоматизированная система управления, релейная защита, противоаварийная автоматика, линия электропередачи, учет электроэнергии, счетчик электроэнергии, системы связи, аккумуляторная батарея.

## STATE OF DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS IN ELECTRICAL NETWORKS

*The article discusses the main directions of development of automated control systems (ACS) of electrical networks, in particular, substations. The need to create such systems is determined by the complexity of the modes of operation of the power grid. It is also necessary that the existing network elements of 35÷750 kV are equipped with electromechanical or static protection and automation devices, which have developed their physical and moral resource. There is a need to automate a number of technological operations. All these factors necessitated the integration of all automatic and automated devices into a single automated system for managing the electrical network.*

**Key words:** electrical network, substation, automated control system, relay protection, emergency control, power line, electricity metering, electricity meter, communication systems, rechargeable battery.

**Стародуб А.О.**

Одеський національний політехнічний університет

**Ложечнікова Н.В.**

Одеський національний політехнічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ У ТОПОЧНІЙ КАМЕРІ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50

*За останнє десятиріччя істотно змінилися склад і структура технологічних засобів, що застосовуються в автоматизованих системах управління технологічними процесами. Подальше вдосконалення виробництва, ускладнення реалізованих технологій призводять до такої ситуації, за якої управління технологічним процесом, виконання необхідного режиму експлуатації та технологічного регламенту можливі лише при посередництві автоматизованих систем управління, що відповідає найсучаснішим вимогам. Паровий котел – основний агрегат теплової електростанції (ТЕС). Робочим тілом у ньому для отримання пари є вода, а теплоносієм слугують продукти горіння різних органічних палив. Необхідна теплова потужність парового котла визначається його паропродуктивністю при забезпеченні встановлених температури і робочого тиску перегрітої пари. При цьому у топці котла спалюється розрахована кількість палива. Значне зростання цін на енергоносії та загострення екологічних проблем ставить все більш суворі вимоги до систем автоматичної оптимізації економічності процесу спалювання органічного палива.*

**Ключові слова:** автоматизована система регулювання, паровий котел, автоматизація, математична модель, процес горіння.

**Постановка проблеми.** Оптимізація процесу горіння, що зводиться до підтримання режиму на межі хімічного недопалу, не допускаючи при цьому значних перевитрат палива, ґрунтується на вимірюванні мікроконцентрацій складових хімічного недопалу  $q_3$  у димових газах – оксиду вуглецю  $CO$  і/або водню  $H_2$ , при цьому ці параметри мають високу чутливість до зміни характеристик процесу спалювання і майже нечутливі до підсів повітря по газовому тракту котла.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автор А.С. Горбачев написав дисертацію на тему – «Оптимізація процесу горіння в топках барабанних котлів з використанням екстремальних систем та комплексних критеріїв», де автор досліджує та впроваджує моделі та системи для оптимізації процесу горіння та приходять до висновків: застосування даного методу оптимізації процесу горіння досі стримувалося лише відсутністю надійних, простих і швидких пристроїв для вимірювання мікроконцентрацій складових хімічного недопалу.

Останнім часом були розроблені перспективні аналізатори компонентів хімічного недопалу з використанням високочутливих твердотільних датчиків, що здатні швидко і відтворювано вимірювати малі концентрації  $CO$  у димових газах [5, с. 38].

Проте на даний час залишається не вирішеним питання експериментів таких систем та теорій на реальних об'єктах. Відсутні адекватні методи визначення максимальної ефективності методик та їх оцінки.

**Постановка завдання.** Склад продуктів спалювання палива визначається температурою, загальним тиском, під яким знаходиться газова суміш, а також масовими частками хімічних елементів, що входять до сполук, які складають продукти спалювання.

Ступінь дисоціації газу швидко зростає зі збільшенням температури і залежить від тиску. Зі зниженням загального тиску у продуктах спалювання вуглеводних палив збільшується відносний вміст продуктів неповного спалювання і взагалі всіх продуктів, утворення яких супроводжується витратою тепла і збільшенням хімічної енергії, тобто ступінь дисоціації продуктів спалювання збільшується.

Розрахунок складу продуктів спалювання з урахуванням дисоціації починається зі складання наступних рівнянь:

1. Рівнянь констант рівноваги тих реакцій дисоціації, що враховуються у розрахунок;
2. Рівнянь балансу елементів, що входять до паливної суміші;

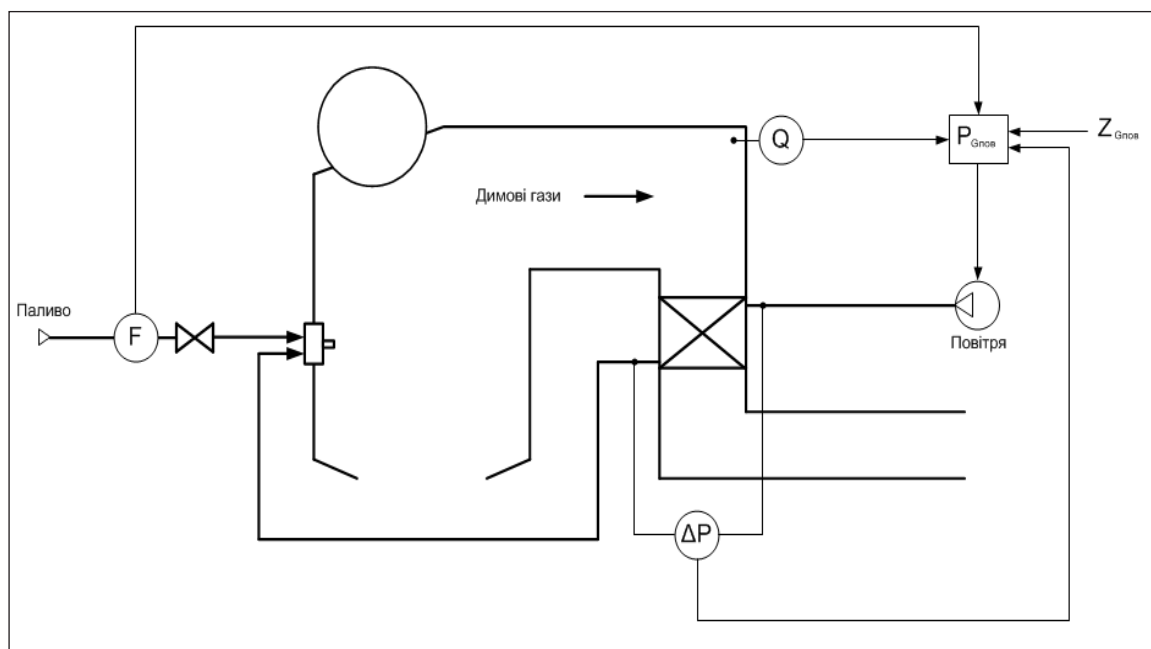


Рис. 1. Принципова схема регулювання

3. Рівняння повного тиску продуктів спалювання.

При горінні вуглеводнів у повітрі утворюються продукти спалювання палива, що містять тільки чотири елементи: вуглець, водень, кисень і азот.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Подальше вдосконалення виробництва, ускладнення реалізованих технологій призводять до такої ситуації, за якої управління технологічним процесом, виконання необхідного режиму експлуатації та технологічного регламенту можливі лише при посередництві автоматизованих систем управління, що відповідає найсучаснішим вимогам. Для більш точного регулювання необхідно контролювати концентрації всіх складових димових газів, за якими розраховуються критерії  $I_E$  та  $I_T$  ( $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ), але схема регулювання економічності спалювання палива за сигналом концентрації  $CO$ , тобто процес горіння буде регулюватись на межі хімічного недопалу.

Принципова схема регулювання зображена на рисунку 1.

На рисунку 1 можна побачити, що на регулятор надходять три сигнали: сигнал за витратою палива перед пальником, сигнал за різницею тисків між тисками перед і після повітропідігрівача, сигнал за концентрацією  $CO$ . Регулювання здійснюється шляхом впливу на вентилятор подачі повітря (зміна частоти обертання робочого колеса).

Оптимізація процесу горіння, що зводиться до підтримання режиму на межі хімічного недопалу,

не допускаючи при цьому значних перевитрат палива, ґрунтується на вимірюванні мікроконцентрацій складових хімічного недопалу  $q_3$  у димових газах – оксиду вуглецю  $CO$ . Зазначений параметр має високу чутливість до зміни характеристик процесу спалювання і майже нечутливий до підсівів повітря за газовим трактом котла [4, с. 21].

Втрати тепла від хімічної неповноти спалювання газу виникають при нестачі кисню, поганому змішуванні палива з повітрям, різкому зниженню температурного рівня у зоні горіння й інших причин. У результаті дії цих факторів горіння газу протікає неповно, і разом з продуктами горіння викидаються горючі компоненти (водень, окис вуглецю, метан). Це приводить до неповного використання хімічної енергії палива і зниженню економічності роботи установок, які використовують газ [2, с. 84].

Найменша зміна витрати повітря на межі хімічного недопалу, що можлива для регулятора, призводить до різкого збільшення концентрації  $CO$  у димових газах. Значні коливання концентрації  $CO$  на межі хімічного недопалу пов'язані як з динамічними властивостями процесу горіння, так і зі складностями тонкого регулювання витрати повітря та нестабільністю його потоку. Використання пристроїв частотного регулювання обертів дуттьового вентилятора може більш точно підтримувати процес горіння на межі хімічного недопалу шляхом періодичного зменшення витрати повітря до появи сплеску концентрації  $CO$

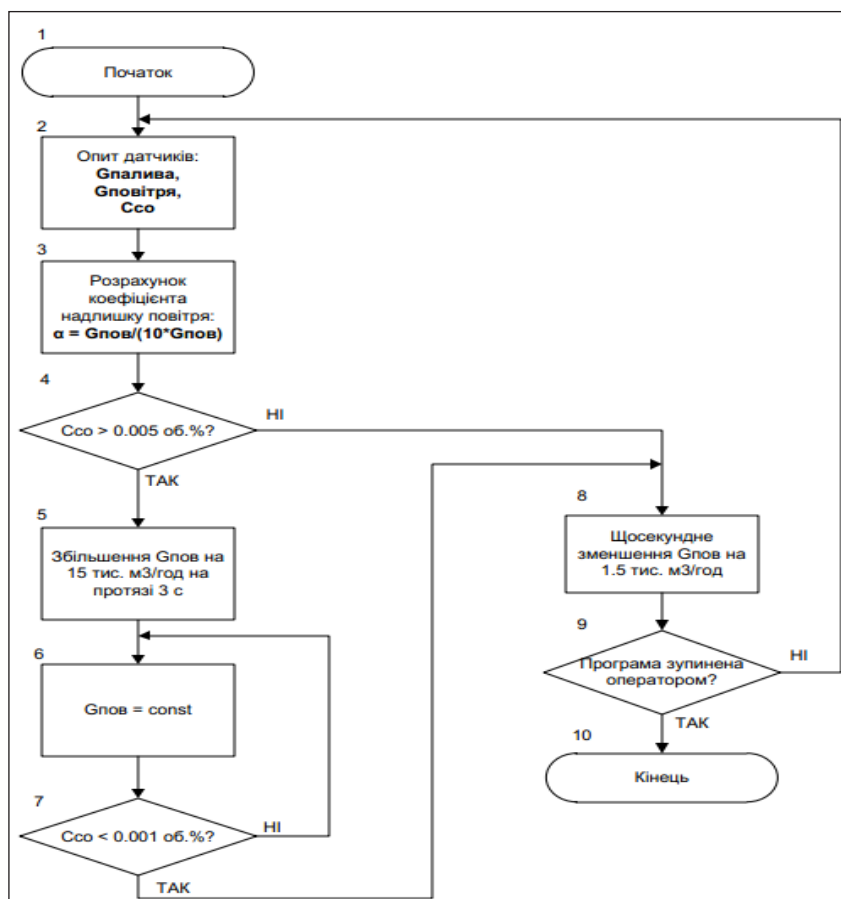


Рис. 2. Алгоритм оптимізації процесу горіння «зниження-відскок-підтримання»

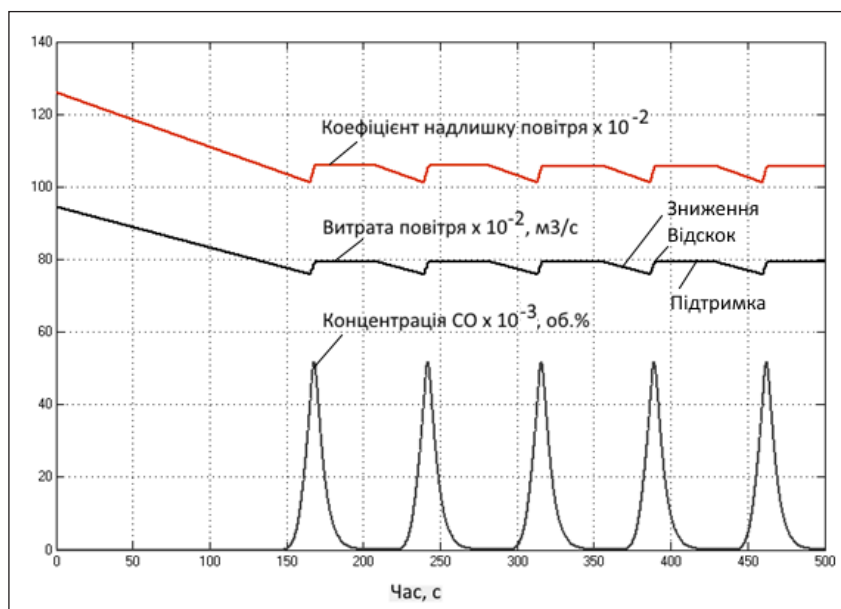


Рис. 3. Результати роботи алгоритму «зниження-відскок-підтримка»

(«зниження») з подальшим збільшенням витрати повітря до зникнення хімічного недопалу («відскок») і підтримання постійної витрати повітря на протязі деякого часу («підтримання») (рис. 2).

Залежно від типу агрегату для спалювання палива цикл «зниження-відскок-підтримка» триває 2-5 хвилин і дозволяє підтримувати оптимальний процес горіння для всіх режимів, при

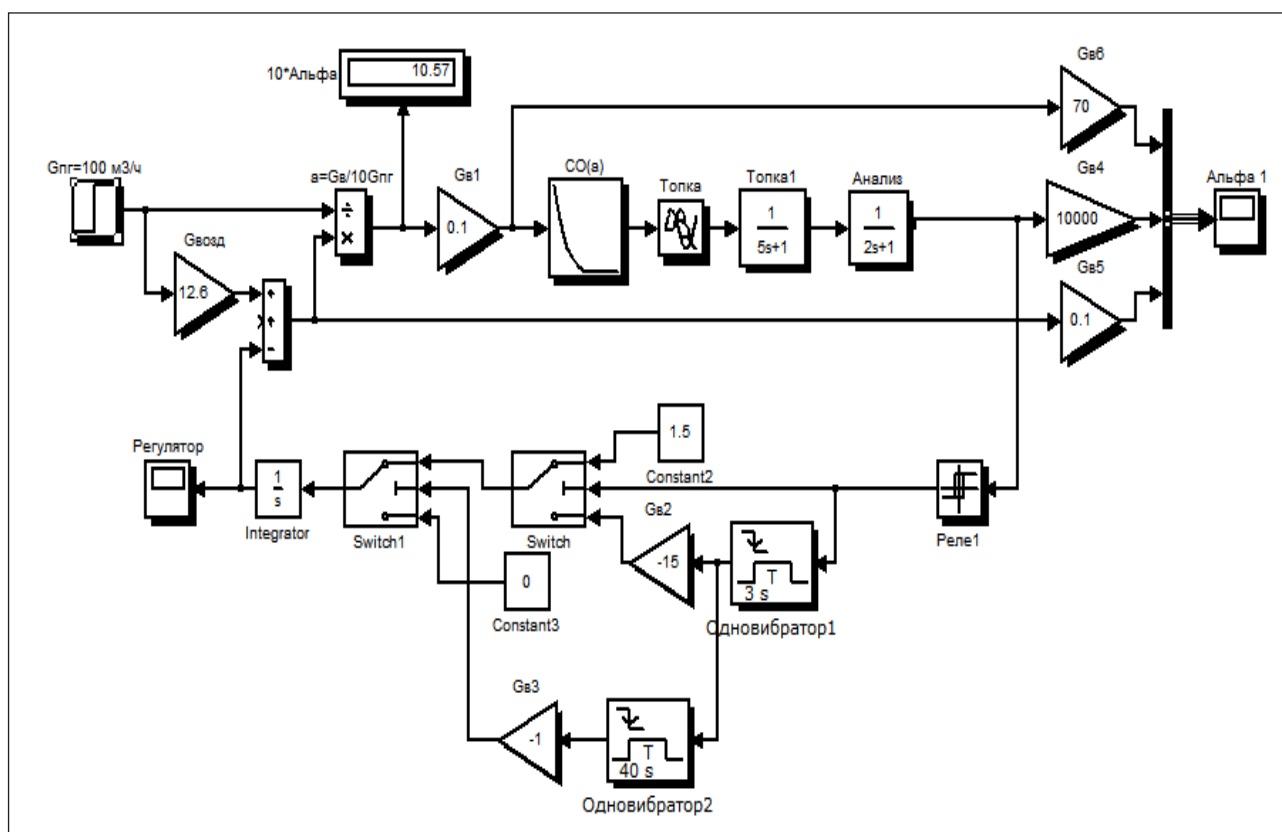
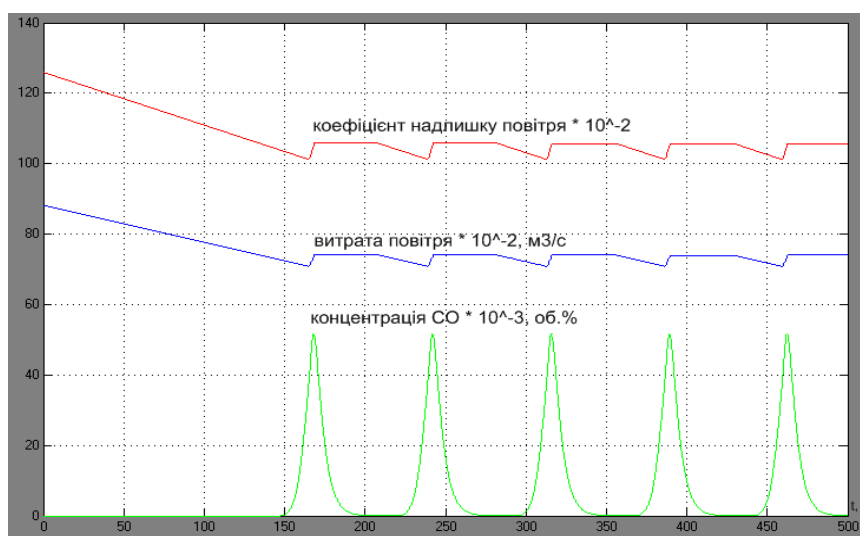


Рис. 4. Схема моделювання АСР економічності спалювання палива

Рис.5. Результати моделювання  
при  $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $G_{\text{пов}} = 12,6 \cdot G_{\text{палива}}$ 

практично будь-яких змінах умов експлуатації і з будь-якими регуляторами і виконавчими механізмами. Цей алгоритм регулювання у процесі роботи фактично самостійно корегує режимну карту і особливо ефективний при використанні котлів у режимах малих потужностей. Результати роботи алгоритму зображені на рисунку 3.

Для моделювання АСР економічності спалювання палива і реалізації алгоритму «зниження-відскок-підтримка» була розроблена експериментальна схема у програмному середовищі Simulink (рис. 4). У даній схемі час «відскоку» і «підтримки» визначається тривалістю імпульсів відповідних одновібраторів.

Математична модель процесу горіння у схемі експерименту задається табличною функцією залежності концентрації CO від коефіцієнту надлишку повітря. Реалізація табличної функції здійснюється за допомогою елементу «Lookup». Інерційність топки реалізується передатною функцією I-го порядку і ланкою запізнення, інерційність датчика концентрації CO описується аналогічною передатною функцією I-го порядку. Витрата палива задається елементом «Step», а витрата повітря моделюється шляхом домноження витрати палива на 12,6. На суматор надходять сигнали за витратою повітря і сигнал від регулятора з від'ємним знаком. Після чого вираховується поточний коефіцієнт надлишку повітря (елемент «Product»). Поточне значення коефіцієнта надлишку повітря застосовується для визначення поточного значення концентрації CO. На вході регулятора знаходиться реле, яке реагує на зміни концентрації CO. При досягненні границі його вимкнення на інтегратор передається константа, значення на виході регулятора постійно зростає, загальна витрата повітря зменшується. При підвищенні концентрації CO і досягненні границі увімкнення реле передається сигнал на спрацювання одновібраторів із різними часовими константами, що на виході моделюють «відскок» витрати (одновібратор з меншою константою часу) і «підтримання» (одновібратор з більшою константою часу).

У ході експерименту було проведено моделювання систему при різних величинах збурень витратою палива і витратою повітря (рисунки 5 – 10).

**Висновки.** Більшість автоматичних систем регулювання співвідношення «паливо-повітря» досі використовують коригувальний сигнал за величиною вмісту кисню  $O_2$  у димових газах і побудовані з використанням стаціонарних кисне-

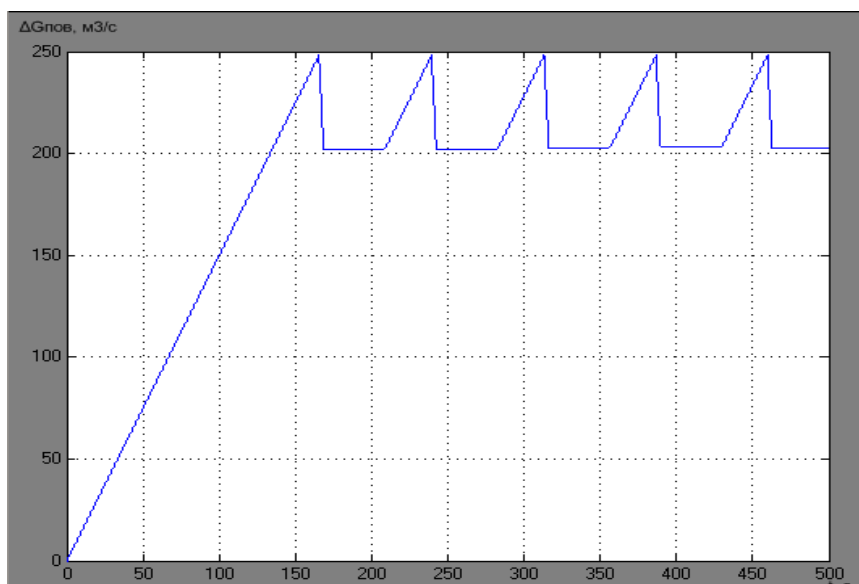


Рис. 6. Сигнал на виході регулятора при  $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $G_{\text{пов}} = 12,6 \cdot G_{\text{палива}}$

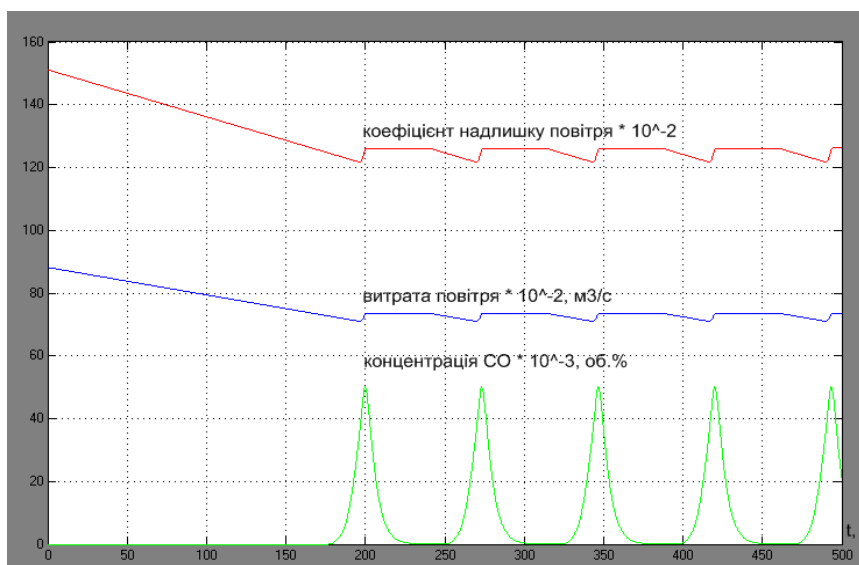


Рис. 7. Результати моделювання при  $G_{\text{палива}} = 120 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $G_{\text{пов}} = 12,6 \cdot G_{\text{палива}}$

мірів. Подібні системи здебільшого не придатні для роботи у режимі автоматичного регулювання внаслідок спотворення концентрації кисню у димових газах неконтрольованими присосами повітря у газовому тракту, неідентичності характеристик пальників у багатопальникових котлах, коливань вологості повітря, змін теплотворної здатності і виду палива тощо.

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновки, що збурення не створюють суттєвого впливу на роботу регулятора. Це є значною перевагою у порівнянні з АСР, із сигналом за концентрацією кисню  $O_2$ .

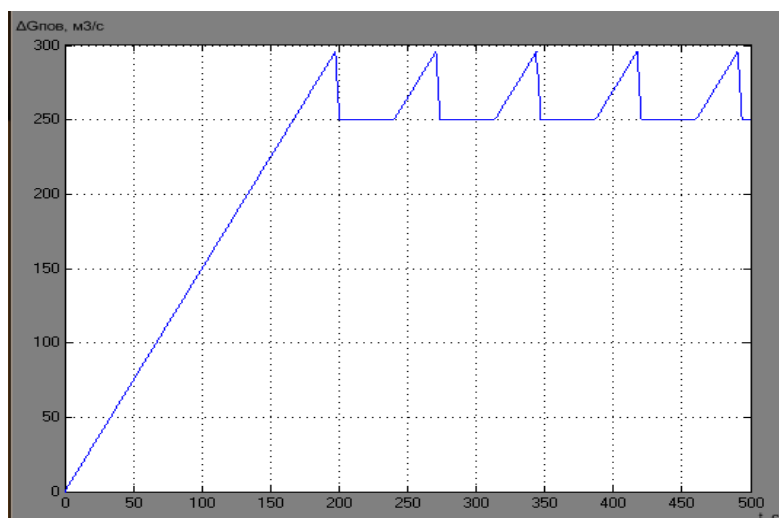


Рис. 8. Сигнал на виході регулятора  
при  $G_{\text{палива}} = 120 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $G_{\text{пов}} = 12,6 \cdot G_{\text{палива}}$

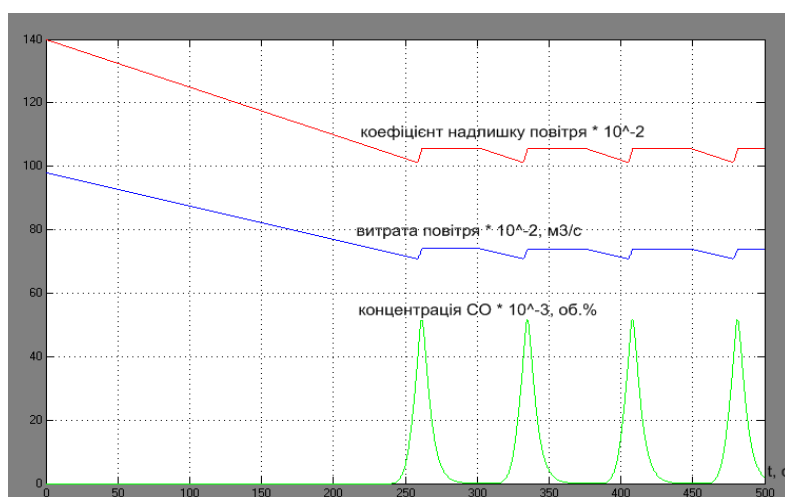


Рис. 9. Результати моделювання  
при  $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $G_{\text{пов}} = 14 \cdot G_{\text{палива}}$

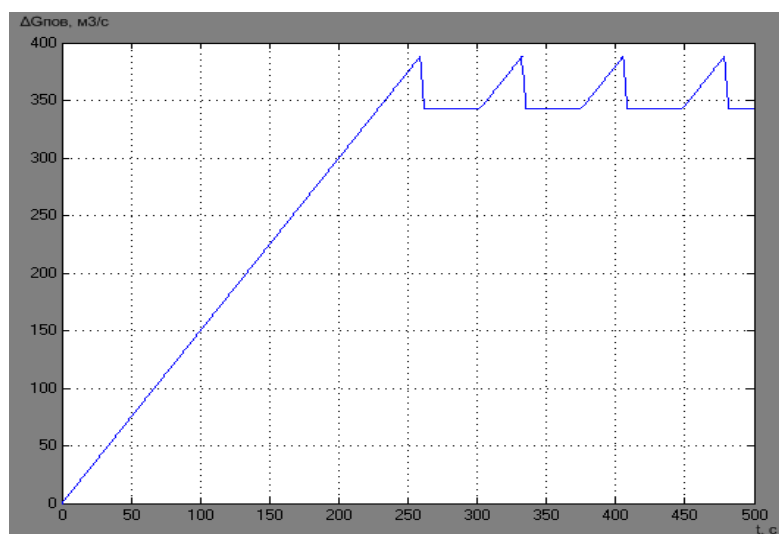


Рис. 10. Сигнал на виході регулятора  
при  $G_{\text{палива}} = 100 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $G_{\text{пов}} = 14 \cdot G_{\text{палива}}$

**Список літератури:**

- Рюль К. Прогноз развития мировой энергетики до 2030 года. *Вопросы экономики*. № 5. 2013. С.109–128.
- Брунеткин А.И., Максимов М. В. Метод определения состава горючих газов при их сжигании. *Научный вестник Национального горничого університету*. № 5. 2015. С. 83–90.
- Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Москва, 2007. 352 с.
- Максимов М.В., Бондаренко А.В., Брунеткин А.И. Модель и метод определения условной формулы углеводородного топлива при сжигании. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. № 6(8). 2013. С. 20–27.
- Горбачев А.С. Оптимизация процесса горения в топках барабанных котлов с применением экстремальных систем и комплексных критериев: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07. Москва, 2000. 39 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50**

*За последнее десятилетие существенно изменились состав и структура технологических средств, применяемых в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Дальнейшее совершенствование производства, усложнение реализованных технологий приводят к ситуации, при которой управление технологическим процессом, выполнение необходимого режима эксплуатации и технологического регламента возможны только при посредстве автоматизированных систем управления, отвечающей самым современным требованиям. Паровой котел – основной агрегат тепловой электростанции (ТЭС). Рабочим телом в нем для получения пара является вода, а теплоносителем служат продукты горения различных органических топлив. Необходима тепловая мощность парового котла определяется его паропроизводительностью при обеспечении установленных температуры и рабочего давления перегретого пара. При этом в топке котла сжигается расчетное количество топлива. Значительный рост цен на энергоносители и обострение экологических проблем ставит все более жесткие требования к системам автоматической оптимизации экономичности процесса сжигания органического топлива.*

**Ключевые слова:** автоматическая система регулирования, паровой котёл, автоматизация, математическая модель, процесс горения.

**STUDY OF THE IMPROVED AUTOMATIC SYSTEM OF REGULATION OF THE ECONOMY OF THE COMBUSTION PROCESS IN THE FLOWING CHAMBER OF THE STEAM BOILER GM-50**

*Over the past decade, the composition and structure of technological tools used in automated process control systems have changed significantly. Further improvement of production, the complexity of the implemented technologies lead to such a situation in which the control of the technological process, the implementation of the necessary mode of operation and process regulations are possible only through automated control systems that meet the latest requirements. Steam boiler main unit of thermal power plant (TPP). The working body in it to produce steam is water, and the heat carrier is the combustion products of various organic fuels. The required thermal capacity of a steam boiler is determined by its steam capacity, while ensuring the established temperature and operating pressure of the superheated steam. In this case, the calculated amount of fuel is burned in the boiler's furnace. The significant increase in energy prices and the exacerbation of environmental problems place increasingly stringent requirements on systems for automatically optimizing the efficiency of the process of burning fossil fuels.*

**Key words:** automation control system, steam boiler, automation, mathematical model, combustion process.

УДК 621.039.56

**Нестерович С.О.**

Одеський національний політехнічний університет

**Тарахтій О.С.**

Одеський національний політехнічний університет

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ІЗ PID, PI, I-РЕГУЛЯТОРАМИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ФАРФОРУ

У статті проведена розробка системи математичної моделі автоматизації області змішування компонентів електротехнічного фарфору з P, PI і PID регуляторами. Розглянуто можливі варіанти управління якістю змішування за допомогою управління рівнем у бункерах змішання. Також запропоновано оптимальний метод управління із застосуванням сучасної цифрової апаратури для аналізу якості змішування компонентів. Метою є підвищення якості змішування, а також оптимізація витрат на оцінку якості змішування сипучих матеріалів при виробництві електротехнічного фарфору.

**Ключові слова:** PID – регулятор, автоматична система управління, електротехнічний фарфор, критерій якості, оптичний метод, частка ключових компонентів, змішування сипучих матеріалів.

**Постановка проблеми.** Приготування однорідних за складом композицій із твердих матеріалів, які знаходяться у зернистому або порошкоподібному вигляді, їх змішання є широко використовуваним процесом. Попри те що їх перероблення виконується з давніх часів і майже у всіх галузях, змішання сипучих матеріалів і на тепер є, мабуть, самим невивченим процесом [1].

**Постановка завдання.** Мета статті – розробка системи математичної моделі автоматизації області змішування компонентів електротехнічного фарфору з P, PI і PID регуляторами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Колись управління виконувалося у ручному режимі – оператором. Потім для управління процесами змішування почали використовувати таймери до заданого часу змішування.

Здебільшого під таймерами мають на увазі пристрої, що відміряють заданий інтервал часу з моменту запуску (вручну або електричним імпульсом) із секундоміром зворотного відліку. Разом і тим є таймери, момент спрацювання яких задається установкою необхідного часу доби (так звані таймери реального часу), у цьому випадку таймер має у своєму складі годинник або пристрій зберігання часу, найпростішим таймером такого роду є будильник. Таймери, які мають достатню точність і призначені для установки тривалості будь-яких процесів у промисловому виробництві, на транспорті, у зв'язку, наукових дослідженнях атестуються як засоби вимірювань.

Згодом управління виконувалося методом стабілізації рівня завантаження, стали викорис-

товувати автоматичні дозатори, які забезпечують точне дозування. Після для зручності управління процесом регулювання виконувалося шляхом стабілізації оборотів у змішувачі шляхом зміни потужності двигуна.

Основним недоліком таких способів регулювання є відсутність обліку взаємовпливу рівня завантаження і частоти обертів у барабанному змішувачі при змішуванні сипучих матеріалів.

На підставі загальної схеми моделі управління була розроблена модель управління у Matlab Simulink, яка приведена на рисунку 1.

Схема представлена трьома потоками, які реалізують подачу компонентів 800 кг/хв SiO<sub>2</sub>, 150 кг/хв Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і 50 кг/хв Na<sub>2</sub>O відповідно до рецептури [2].

У зв'язку з тим, що при будь-яких коливаннях завантаження необхідно підтримувати подачу кожного компонента пропорційно необхідної рецептурі шихти, у ланцюг подачі завдання дозаторів включені поправочні коефіцієнти Pr1, Pr2, Pr3. Подача компонентів виконується блоками Constant з назвами – ZadanieSiO<sub>2</sub>, ZadanieAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZadanieNa<sub>2</sub>O. Дозатори реалізовано у вигляді ланки першого порядку з передатною функцією

$$\frac{K}{Ts+1}$$

Де K – коефіцієнт передачі, T – постійна часу. Блоками Transport Delay з назвами – Dozator1, Dozator2, Dozator3. Також встановлено датчики маси, які реалізовано блоками Transport Delay з назвами Datchik massu1, Datchik massu2, Datchik

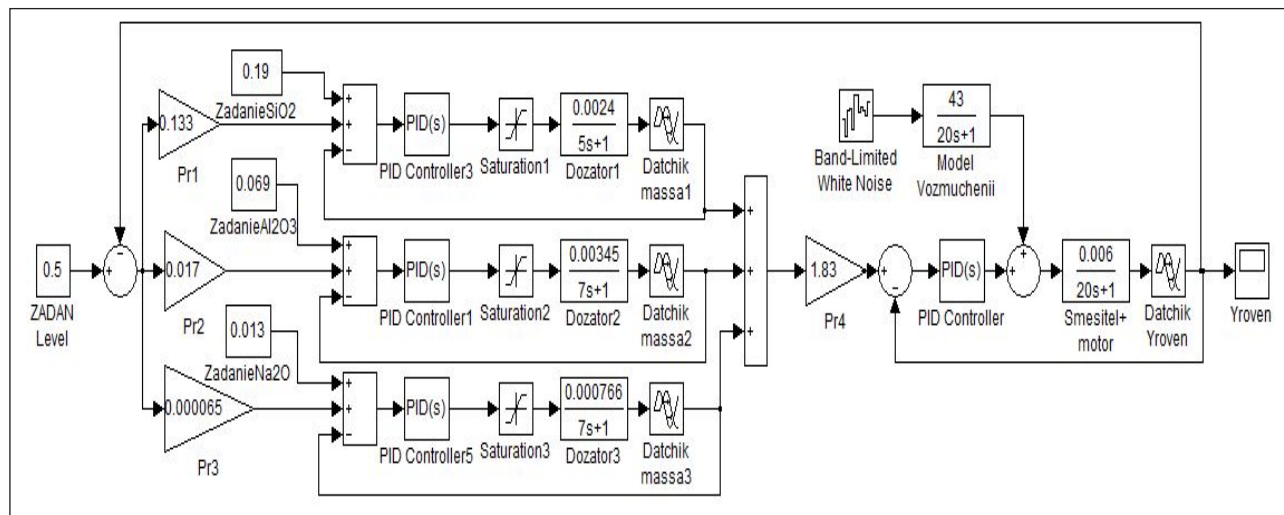


Рис. 1. Модель управління за каналом витрата компонентів – рівень у барабані

massu3. Згідно з технологічним регламентом допустимі коливання рівня можуть бути у межах 0,03 м.

Для забезпечення необхідного рівня у змішувачі всі підсистеми охоплені негативним зворотним зв'язком, що дозволяє забезпечувати необхідний рівень шихти у змішувачі.

На підставі запропонованої структури розроблена модель запропонованої системи у програмному пакеті MATLAB-Simulink [3] і проведено її моделювання з використанням ПД регуляторів (рис. 2). З урахуванням технологічного завантаження у 1000 кг та на підставі питомої щільності кожного компонента визначимо необхідне завдання для витрати кожного компонента: для SiO<sub>2</sub> становить 0,19 кг/с, для Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,069 кг/с, для Na<sub>2</sub>O – 0,013. Коефіцієнти Pr, Pr2, Pr3 обрані з урахуванням одночасної зміни витрати кожного компонента. Pr4 обраний для забезпечення перетворення сумарної витрати у необхідний рівень компонентів у дозаторі.

Для оцінки впливу збурюючих впливів у модель включена модель сумарних збурень – Model vozmuchenii, що враховує коливання середніх розмірів частинок, і реалізована у вигляді генератора білого шуму – Band – Limited White Nois і ланки запізнювання другого порядку. Діапазон зміни середніх розмірів частинок вибраний для кожного каналу у межах  $\pm 10\%$ . Результат роботи системи наведено на рисунку 2.

З рисунка бачимо, що залежно від зміни дозування компонентів, рівень у барабанному змішувачі коливається у межах 0,3 м, що відповідає вимогам.

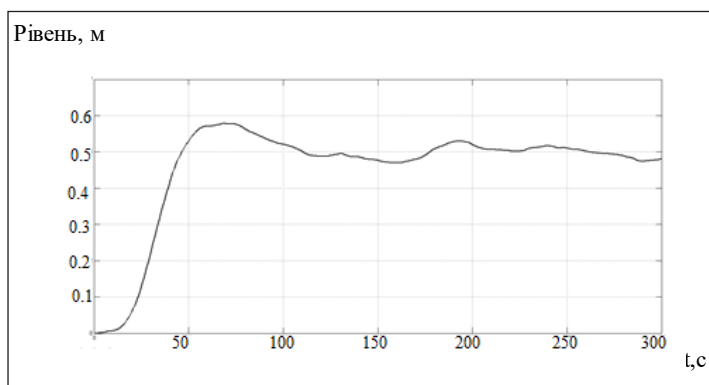


Рис. 2. Перехідний процес зміни рівня у змішувачі

Якість змішування у барабанному змішувачі залежить від певних показників, а саме: рівня у барабані, числа його обертів і часу змішування. Головною задачею при розробці моделі є зменшення часу змішування та зменшення затрат на виробництво продукту, тому необхідно управляти вище перерахованими показниками ефективно. Саме тому була розроблена модель, яка включає у себе рішення поставлених задач.

Модель представлена двома каналами, рівень у барабані–якість змішування, та відсоток чорноти–якість змішування.

Для контролю якості змішування було розглянуто два методи – рентгенівський і оптичний.

Всі методи вимірювання щільності сипучих матеріалів засновані на прямому чи непрямому вимірі маси і об'єму речовини у пробі, тому вимірювання щільності сипучих матеріалів може здійснюватися двома шляхами:

1) непрямыми методами, наприклад, по загасання потоку радіоактивних, рентгенівських або ультразвукових променів, що проходять через контрольовану речовину;

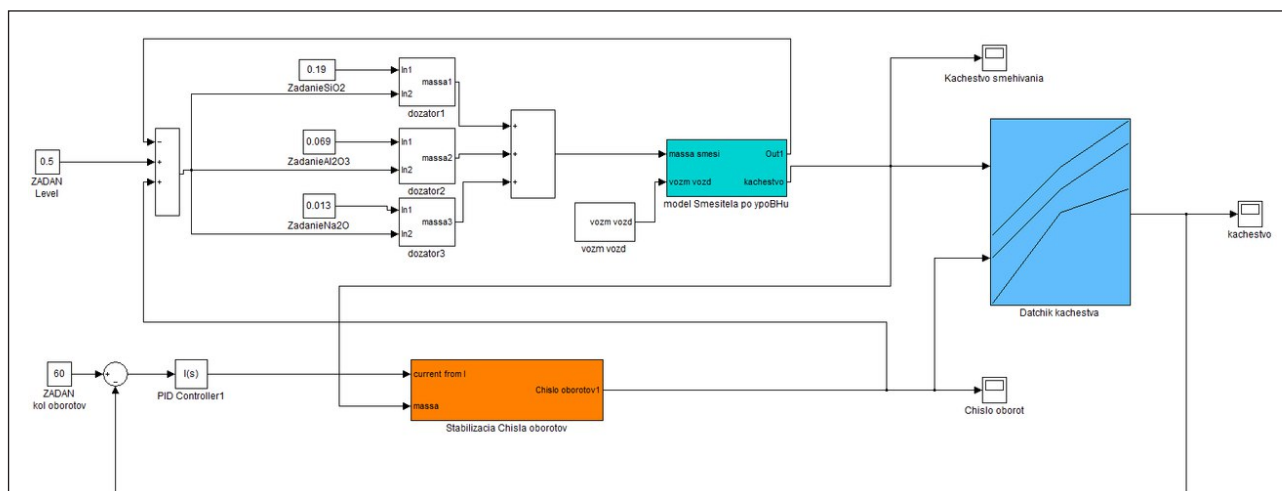


Рис. 3. Модель управління якістю змішування продукції

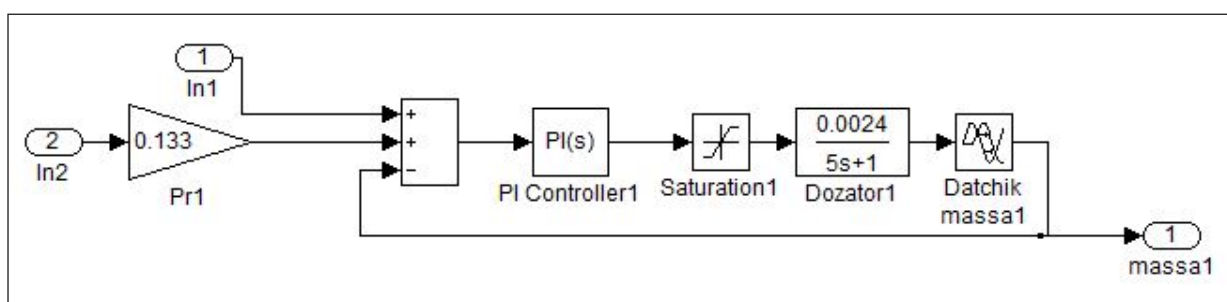


Рис. 4. Структура підсистеми Massa1

2) абсолютним методом, коли маса і обсяг вимірюються прямими методами окремо і по їх відношенню визначають щільність [4].

Рентгенівський контроль заснований на поглинанні рентгенівських променів, яке залежить від щільності середовища і атомного номера елементів, що утворюють матеріал середовища. Наявність таких дефектів, як тріщини, раковини або включення чужорідного матеріалу, призводить до того, що промені, які проходять через матеріал, послаблюються у різний ступень. Реєструючи розподіл інтенсивності променів, можна визначити наявність і розташування різних неоднорідностей матеріалу [5].

Спосіб оптичного контролю якості полягає у попередньому отриманні «еталонної» суміші і її цифрового зображення. Визначають якість фактичної суміші поділом її цифрового зображення на однакове число частин (осередків) і їх порівнянням із гістограмою яскравості із зображенням «еталонної» суміші [6].

Перший шлях є більш коротким і зручним для автоматизації вимірювання, однак, частки, що вносяться для загасання внаслідок впливу товщини, форми, щільності і фізичних характеристик матеріалів (Хімічний склад, структура,

зв'язок окремих компонентів), істотно впливають на одержуваний результат, тому було обрано оптичний метод контролю якості.

Розроблена модель представлена двома каналами, рівень у барабані–якість змішування, та відсоток чорноти–якість змішування. Її особливістю є оптичний датчик, який відповідає за контроль якості готової продукції.

Розроблена модель з PID, PI,I-регуляторами зображена на рисунку 4.

Канал рівень у барабані–якість змішування представлений потоками по дозуванню трьох компонентів. Завдання на витрату компонентів згідно з рецептурою реалізується блоками Constant з назвами – *ZadanieSiO2*, *ZadanieAl2O3*, *ZadanieNa2O*. За подачу компонента SiO2 до змішувача відповідає підсистема з назвою Massa1. Структуру підсистеми приведено на рисунку 4.

Підсистема Massa1 відповідає за реалізацію процесу дозування компоненту SiO2 і включає у себе блоки входних параметрів In1 – завдання по витраті та In2 – завдання по рівню. Pr1 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою; PI-контролер  $P=23,88$   $I=16,45$ ; Dozator1, який реалізовано ланкою першого порядку, та Datchik massa1, який реалізовано блоком Transport

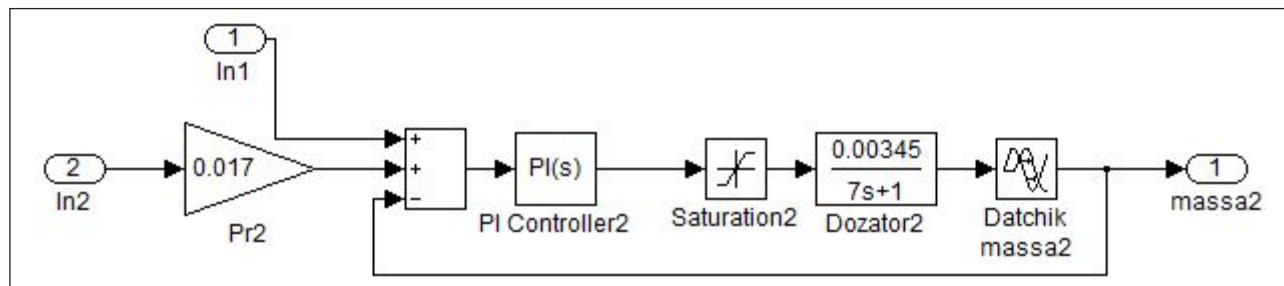


Рис. 5. Структура підсистеми Massa2

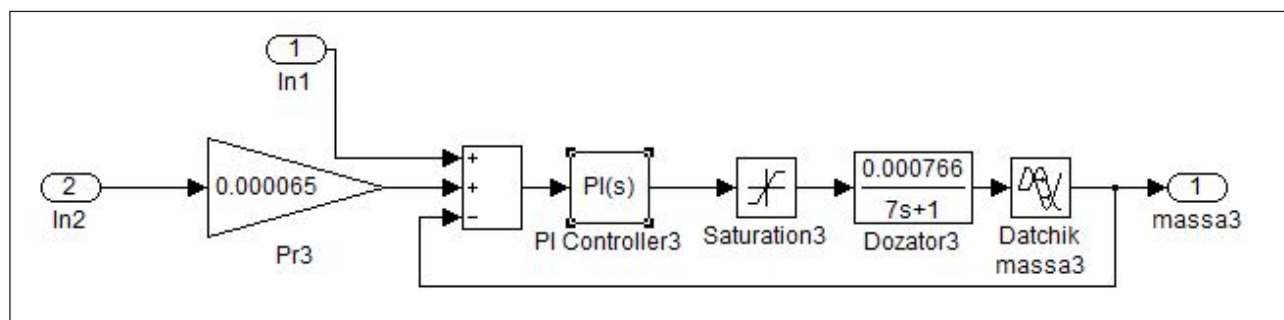


Рис. 6. Структура підсистеми Massa3

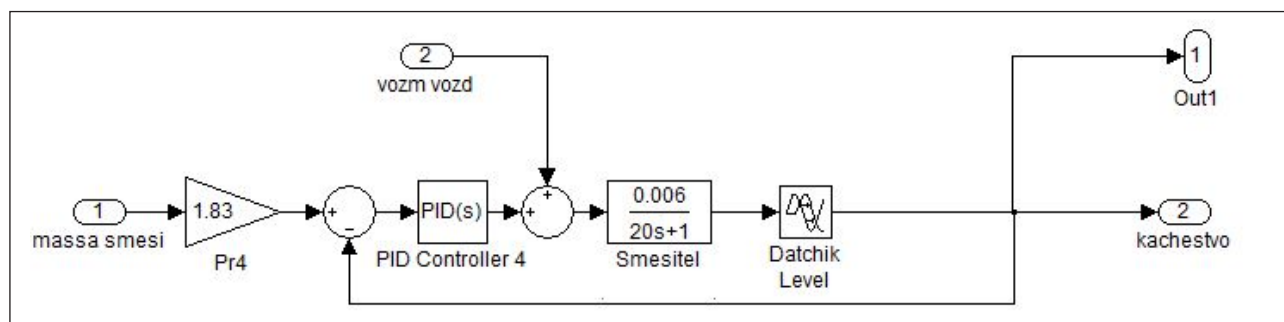


Рис. 7. Структура підсистеми Model smesitela po urovny

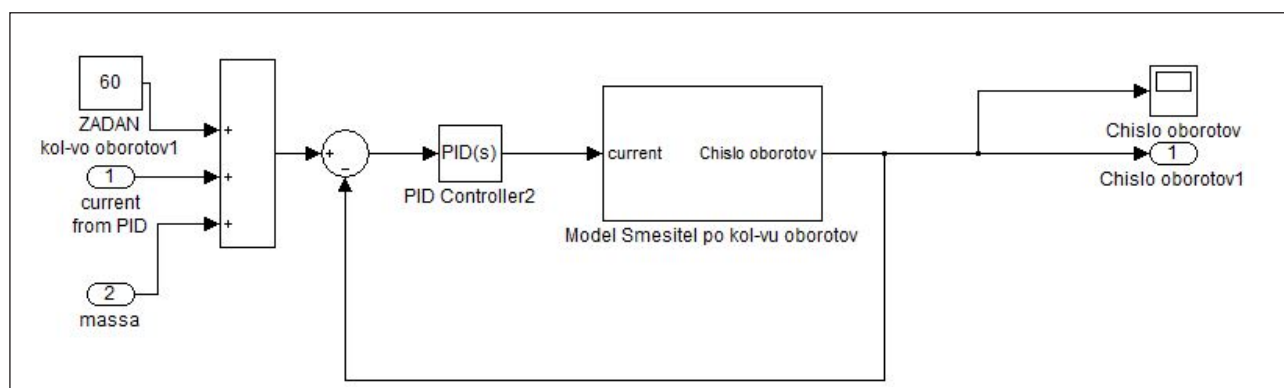


Рис. 8. Структура підсистеми Stabilizacia Cisl oborotov

Delay. На виході підсистеми отримуємо масу компоненту SiO<sub>2</sub>.

За подачу компонента Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до змішувача відповідає підсистема з назвою Massa2. Структуру підсистеми приведено на рисунку 5.

Підсистема Massa2 відповідає за реалізацію процесу дозування компонента Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і включає у себе блоки входних параметрів In1 – завдання по витраті та In2 – завдання по рівню. Pr2 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою;

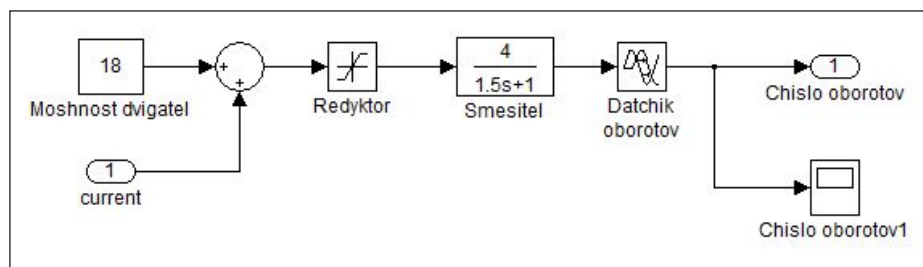


Рис. 9. Структура підсистеми Model Smesitel po kol-vu oborotov

PID-контролер  $P=46,42$   $I=11,99$ ; Dozator2, який реалізовано ланкою першого порядку, та Datchik massa1, який реалізовано блоком Transport Delay. На виході підсистеми отримуємо масу компонента SiO<sub>2</sub>.

За подачу компонента Na<sub>2</sub>O до змішувача відповідає підсистема з назвою Massa2. Структуру підсистеми приведено на рисунку 6.

Підсистема Massa2 відповідає за реалізацію процесу дозування компонента Na<sub>2</sub>O і включає у себе блоки вхідних параметрів In1 – завдання по витраті, та In2 – завдання по рівню. Pr3 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою; PID-контролер  $P=209,09$   $I=54,04$ ; Dozator3, який реалізовано ланкою першого порядку, та Datchik massa1, який реалізовано блоком Transport Delay. На виході підсистеми отримуємо масу компонента SiO<sub>2</sub>.

Далі на вхід блоку Model smesitela po ugovnu подається сумарне значення трьох компонентів. Даний блок включає у себе структуру, яка приведена на рисунку 7.

Підсистема Model smesitela po ugovnu включає у себе блоки вхідних параметрів massa smesi – сумарна маса компонентів та vozm vzd – збурення. Pr4 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою; PID-контролер  $P=288,81$   $I=17,04$   $D=-1481,42$ ; Smesitel, який реалізовано ланкою першого порядку та Datchik Level, який реалізовано блоком Transport Delay. З виходу підсистеми подаємо від’ємний зворотній зв’язок на вхід підсистем дозування. На виході з підсистеми отримуємо якість продукту.

Канал відсоток чорноти–якість змішування представлений блоком I-regulator  $I=0,0004199$  та підсистемою Stabilizacia Cisla oborotov.

Підсистема Stabilizacia Cisla oborotov відповідає за реалізацію процесу по стабілізації кількості обертів барабанного змішувача. Підсистема включає у себе структуру, яка приведена на рисунку 8.

Підсистема включає у себе вхідні сигнали ZADAN kol-vo oborotov – завдання по кількості обертів, current from I – струм з регулятора I, massa – сумарна маса компонентів; PID-контролер  $P=0,288$

$I=2,296$   $D=-31,908$ ; та підсистемою Model Smesitel po kol-vu oborotov (рис. 9). На виході з підсистеми отримуємо кількість обертів.

Підсистема включає у себе вхідні сигнали Moshnost dvigatel – завдання по потужності двигуна, current – струм з регулятора I. Змішувач реалізовано ланкою першого порядку з назвою Smesitel. На виході з підсистеми отримуємо кількість обертів.

Оскільки для оцінки якості продукту було обрано оптичний датчик, то його реалізовано блоком Lookup2D Table, який приведено на рисунку 10 та 12.

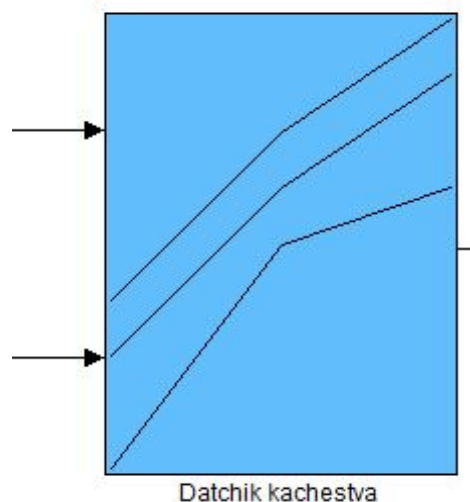


Рис. 10. Блок Lookup2D Table

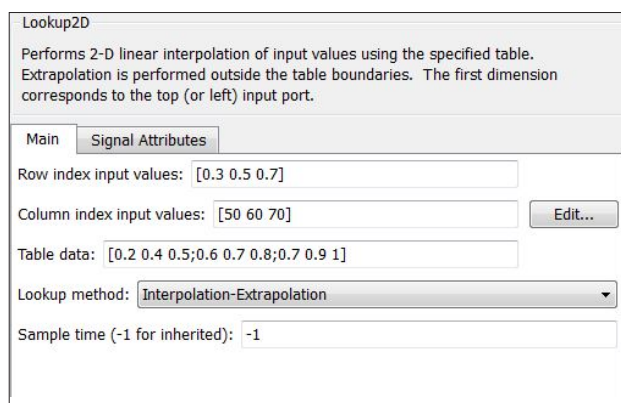


Рис. 11. Блок Lookup2D Table

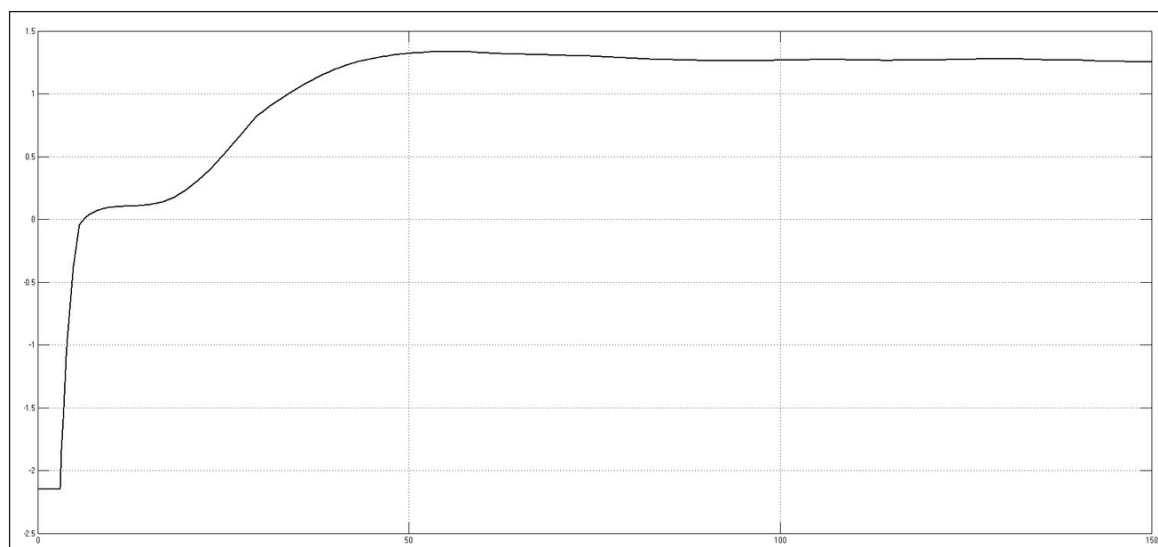


Рис. 12. Результат моделювання моделі

Таблиця 1

**Критерії якості**

| Рівень у змішувачі | Число обертів |     |     |
|--------------------|---------------|-----|-----|
|                    | 50            | 60  | 70  |
| 0,3                | 0,2           | 0,4 | 0,5 |
| 0,5                | 0,6           | 0,7 | 0,8 |
| 0,7                | 0,7           | 0,9 | 1   |

Для його реалізації було сформовано критерії якості у вигляді таблиці (табл. 1) співвідношення кількості обертів та рівня у барабані, де оптимальним показником якості виступає співвідношення 60 об/хв та рівень у барабані – 0,5 м. При таких показниках оптимальний критерій якості = 0,7.

Результат моделювання приведено на рисунку 12.

На виході з моделі отримуємо якість готового продукту.

**Список літератури:**

1. Макаров Ю.І. Апарати для змішування сипучих матеріалів. М.: Машинобудування, 1973. 215 с.
2. Електрофарфор. URL: [http://www.elcer.com.ua/quality\\_and\\_materials/ceramic\\_materials](http://www.elcer.com.ua/quality_and_materials/ceramic_materials)
3. Види і класифікація дозаторів. URL: <http://agrosbornik.ru/raznoe/142-04-2014/2008-vidy-i-klassifikaciya-dozatorov.html>.
4. Капранова, А.Б. Деаерація сипучих середовищ в сумішених зі змішанням процесах: дис. ... д-ра фіз.-мат. наук: 05.17.08. Іваново, 2009. 336с.
5. Бородулін Д.М. Підвищення ефективності процесу змішування при отриманні комбінованих продуктів в змішувальних агрегатах відцентрового типу: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 2013. 38 с.
6. Лебедев А.С., Зайцев А.І., Капранова А.Б., Кузьмін І.О. Математична модель механіки руху сипучих матеріалів в розріджених потоках апаратів з еластичними робочими елементами. *Изв. ВНЗ. Хімія і хімічна технологія*. Іваново, 2012. Т. 52, вип. 5. С. 111-113.

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕТОВ С PID, PI, I-РЕГУЛЯТОРАМИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ФАРФОРА

В статье проведена разработка системы математической модели автоматизации области смешивания компонентов электротехнического фарфора с P, PI и PID регуляторами. Рассмотрены возможные варианты управления качеством смешивания посредством управления уровнем в бункерах смешения. Также предложен оптимальный метод управления с применением современной цифровой аппаратуры для анализа качества смешения компонентов. Целью является повышение качества смешения, а также оптимизация затрат на оценку качества смешивания сыпучих материалов при производстве электротехнического фарфора.

**Ключевые слова:** PID – регулятор, система автоматического управления, электротехнический фарфор, критерий качества, оптический метод, доля ключевых компонентов, смешивание сыпучих материалов.

# MODEL DEVELOPMENT FOR QUALITY CONTROL MIXING COMPONENTS WITH PID, PI, AND REGULATORS AT MANUFACTURING ELECTROTECHNICAL PORCELAIN

*The article deals with the development of a system of mathematical model of automation of the field of mixing components of electrical porcelain with P, PI and PID regulators. Possible options for mixing quality management with level management in mixing bins are considered. An optimal control method with the use of modern digital equipment for analysis of the quality of mixing of components is also proposed. The goal is to improve the quality of mixing, as well as optimize the cost of assessing the quality of mixing bulk materials in the manufacture of electrical porcelain.*

**Key words:** PID – regulator; automatic control system, electrical porcelain, quality criterion, optical method, share of key components, mixing of bulk materials.

## МЕТАЛУРГІЯ

УДК 621.771.237

**Курпе О.Г.**  
МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ

**Кухар В.В.**  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

**Шебаніц О.М.**  
ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА», МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ

### ОСВОЄННЯ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНИХ РУЛОНІВ ІЗ МАРКИ СТАЛІ В ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИРОБНИЦТВА ТРУБ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ API-5L НА СТАНІ 1700 ПРАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА»

*В умовах стану 1700 ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА» розроблена технологія та виготовлена способом термомеханічної контрольованої прокатки партія гарячекатаних рулонів розмірами 4,7х1190 мм та 5,7х1190 мм зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб за стандартом API-5L. У розробленій технології застосоване контрольоване повітряне охолодження рулонів до температури 450°C після змотування, що забезпечує зменшення товщини шару повітряної окалини та покращує якість поверхні, у тому числі при подальшому виготовленні електрозварних труб.*

**Ключові слова:** термомеханічна контрольована прокатка, гарячекатані рулони, стандарт API-5L, сталь марки В, технологія.

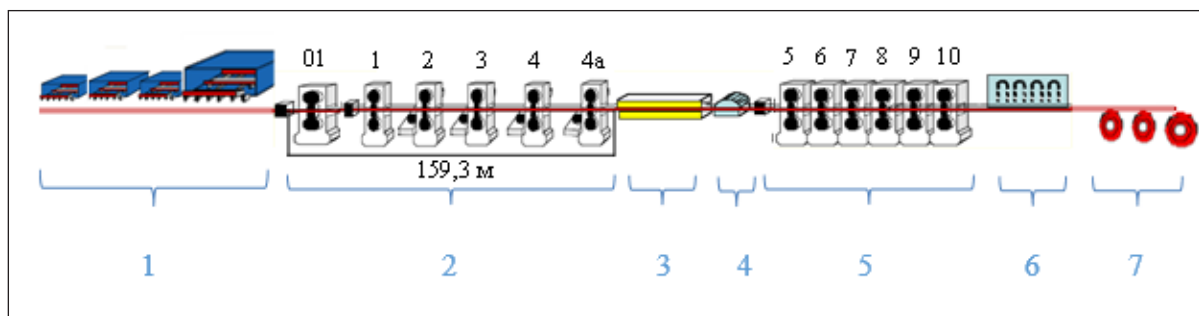
**Постановка проблеми.** Видобуток вуглеводнів та їх транспортування є великим сегментом світової економіки, який потребує надвеликих ресурсів. Значна частина витрат йде на будівництво нафтогазотранспортних систем. Зниження їх металоємності є, безумовно, надважливим комплексним питанням, яке охоплює цілу низку інститутів, починаючи з проектування транспортних систем, забезпечення їх зварними трубами і закінчуючи змогою металургійних виробників забезпечити встановлені вимоги.

Безперервне прагнення до зниження металоємності проектів призвело до всебічного поглибленого вивчення проблем, пов'язаних із цим. Так, отримали розвиток вивчення впливу різноманітних мікролегуєчих елементів у сталі (як-от Ti, Nb, V, Mo, останнім часом Cr, Cu, B) на властивості прокату та труб, вплив різноманітних технологій прокатки (починаючи з термообробки нормалізацією і надалі нормалізуюча прокатка, контрольована прокатка, термомеханічна контрольована прокатка з прискореним охолодженням), що задіяло цілу низку наукових інститутів, металургійних виробництв та підприємств із видобутку та збагачення руд, які містять перераховані мікролегуєчі елементи.

Нині продукт у вигляді рулонів чи товстого листа, який використовується для виробництва електрозварних труб, є, мабуть, найбільш наукоємним, а здобуті технології надають розвитку для впровадження нових та вдосконалення наявних технологій та продукції іншого призначення (як, наприклад, будівництва, машинобудування).

Розробка технології термомеханічної контрольованої прокатки для виробництва гарячекатаних рулонів перерізом 4,7х1190 мм та 5,7х1190 мм зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб за стандартом API-5L для умов стану 1700 є актуальним завданням, що дасть змогу забезпечити виробництво рулонів, які відповідають сучасним світовим вимогам та задовольняють потреби вітчизняних та закордонних виробників електрозварних труб.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Поширений розвиток технології виробництва прокату з мікролегованих марок сталі для подальшого виготовлення електрозварних труб у світі почався в 70-х роках минулого століття, хоча дослідження впливу мікролегованих елементів відбулося на 30 років раніше. Але тодішній стан технології не давав змоги отримати бажаний



**Рис. 1. Існуюча схема розміщення основного устаткування стану 1700**

- |                               |                                         |
|-------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 – ділянка методичних печей; | 5 – чистова група клітей;               |
| 2 – чорнова група клітей;     | 6 – установка прискореного охолодження; |
| 3 – теплозберігаючі екрани;   | 7 – моталки.                            |
| 4 – летючі ножиці;            |                                         |

ефект, та більшість розроблених марок сталі так і була не досліджена [1; 2].

Наявний рівень устаткування та технології завдяки застосуванню комплексу мікролегуючих елементів дає змогу отримувати різноманітні комплекси механічних властивостей [3–12].

Зростаючі світові потреби зі збільшення об'ємів транспортування вуглеводню та відповідні вимоги, які з'явилися внаслідок цього, змушували виробників постійно засвоювати виробництво прокату з більш високими рівнями властивостей [13–17]. Нині згідно з класифікацією американського інституту нафти API, залежно від вимог, для виробництва труб поширено застосовуються марки сталей від В, Х42 до Х120 (або їх аналоги).

Сучасні дослідження спрямовані на поглиблене вивчення та поширене впровадження таких марок сталі, як Х70, Х80, Х100, Х120 [14; 15; 18–24].

Але потреба в менш міцних марках також залишається. Нафтогазотранспортні об'єкти, які були побудовані раніше, потребують ремонту, також будуються невеликі ділянки для транспортування порівняно малих об'ємів продуктів. Тому і нині питання виробництва марок сталі типу В та Х42 є актуальним.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка технології виробництва гарячекатаних рулонів зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб за стандартом API-5L, розмірами 4,7х1190 мм та 5,7х1190 мм в умовах стану 1700 ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА».

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Наявне устаткування стану 1700 нині складається з чотирьох методичних печей, три з яких штовхального типу були модернізовані з метою нагріву слябів розмірами до 250х1550х6200 мм. Одна пічка виробництва фірми «Stein Heurtey»

(Франція) крокуючого типу з можливістю нагрівання слябів розмірами до 250х1600х10500 мм. Сляб товщиною 250 мм застосовується для виробництва тільки в разі редукування на Слябінгу. Чорнова група клітей включає одну кліть «дуо» № 01 (чорновий окалиноломатель) та 5 клітей «кварто» (1–4 та 4а), чотири з яких є універсальними (2–4 та 4а). Також встановлені теплозберігаючі екрани, летючі ножиці. Чистова група складається з 6 клітей «кварто» (5–10), установки прискореного охолодження, яка, своєю чергою, складається з 14 секцій та 3 моталок, дві з яких можуть змотувати рулони вагою до 9 т, а одна, остання по ходу прокатки, може змотувати рулони вагою до 27 т. Варто зазначити, що на стані встановлено 7 гідрозбівів окалини з тиском у межах 80–140 атм.

Схема розміщення основного устаткування стану 1700 наведена на рис. 1.

Згідно з проектом та діючою технологією прокатний стан виробляє гарячекатані рулони вагою до 9 т, товщиною від 1,5 до 9 мм, шириною від 1000 до 1530 мм залежно від сортаменту, з марок від 08пс (відповідно до ГОСТ 1050) до 09Г2С (відповідно до ГОСТ 19281), S355 усіх категорій відповідно до EN 10025-2 та інший аналогічний сортамент, обмежений тимчасовим опором у холодному стані не більше ніж 590 МПа.

Вимоги до хімічного складу, згідно зі стандартом API-5L, здебільшого лімітують тільки верхню межу вмісту хімічних елементів та дають широке поле діяльності виробникам у забезпеченні необхідного рівня властивостей, їх поділяють на два рівні: базовий – PSL-1 та з додатковими вимогами – PSL-2 (табл. 1).

Також за вимогами PSL-1 API-5L марка В може вироблятися у будь-який наведений спосіб: гаряча прокатка, прокатка з нормалізацією, термомеханічна прокатка. Згідно з вимогами PSL-2 API-5L

Таблиця 1

## Вимоги до хімічного складу сталі марки В згідно зі стандартом API-5L

| Вимоги       | Марка сталі | Хімічний склад, % |       |        |        |        |        |        |        |       |         |       |
|--------------|-------------|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|
|              |             | C                 | Si    | Mn     | P      | S      | V      | Nb     | Ti     | Nb+V  | Nb+V+Ti | CE    |
| API-5L PSL-1 | B           | ≤0,28             | -     | ≤ 1,20 | ≤0,030 | ≤0,030 | -      | -      | -      | ≤0,06 | ≤0,15   | -     |
| API-5L PSL-2 | BM          | ≤0,22             | ≤0,45 | ≤ 1,20 | ≤0,025 | ≤0,015 | ≤ 0,05 | ≤ 0,05 | ≤ 0,04 | ≤0,06 | ≤0,15   | ≤0,43 |

Додаткові вимоги PSL-1: Cu ≤ 0,50%; Ni ≤ 0,50%; Cr ≤ 0,50%; Mo ≤ 0,15%.

Додаткові вимоги PSL-2: Cu ≤ 0,50%; Ni ≤ 0,30%; Cr ≤ 0,30%; Mo ≤ 0,15%

Вуглецевий еквівалент розраховується по формулі:  $CE = C + \frac{Mn}{5} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$

Таблиця 2

## Хімічний склад плавки марки В

| Плавка   | Масова частка хімічних елементів, % |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |       |       |      |
|----------|-------------------------------------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|          | C                                   | Mn   | Si   | S     | P     | Cr   | Ni   | Cu   | V     | Mo    | Nb    | Ti    | Al    | CE   |
| 172648-3 | 0.14                                | 0.77 | 0.18 | 0.013 | 0.022 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.032 | 0.28 |

Таблиця 3

## Термомеханічні показники процесу прокатки

| Параметр                                                            | Одиниця виміру | Значення параметру |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|
| Температура нагрівання слябів                                       | °C             | 1260–1280          |
| Час нагрівання                                                      | Годин-хвилин   | ≤2–35              |
| Температура прокатки після кліті 4a                                 | °C             | ≥1040              |
| Температура прокатки після кліті 10                                 | °C             | 840–880            |
| Температура змотування рулонів                                      | °C             | 560–620            |
| Кількість секцій, які використовуються для прискореного охолодження | шт.            | 8–10               |
| Швидкість охолодження                                               | °C/c           | 85–95              |

Таблиця 4

## Температурно-деформаційний режим прокатки рулонів із марки сталі В розмірами 4,7x1190 мм на стані 1700

| № кліті | Показники    |                 |                                   |                                             |                         |                         |
|---------|--------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|         | Товщина*, мм | Температура, °C | Розрахована сила прокатки, МНх100 | Максимально допустима сила прокатки, МНх100 | Швидкість прокатки, м/с | Потужність двигуна, кВт |
| 0**     | 150          |                 |                                   |                                             |                         |                         |
| 01      | 130          | 1260            | 555,1                             | 800                                         | 0,85                    | 1054,4                  |
| 1       | 95           | 1237            | 1030,8                            | 2500                                        | 1,26                    | 3432,8                  |
| 2       | 58           | 1213            | 1287,0                            | 2500                                        | 1,36                    | 4770,8                  |
| 3       | 41           | 1174            | 910,8                             | 2000                                        | 1,78                    | 3288,1                  |
| 4       | 30           | 1127            | 854,9                             | 2000                                        | 1,78                    | 2503,3                  |
| 4a      | 24           | 1050            | 805,6                             | 2000                                        | 2,89                    | 2873,3                  |
| 5       | 18           | 934             | 1117,1                            | 2400                                        | 2,55                    | 4052,2                  |
| 6       | 13           | 921             | 1180,6                            | 2400                                        | 3,40                    | 5244,2                  |
| 7       | 9,5          | 909             | 1127,3                            | 2000                                        | 4,45                    | 5419,4                  |
| 8       | 7,2          | 896             | 994,5                             | 1800                                        | 5,52                    | 4895,3                  |
| 9       | 5,5          | 880             | 970,1                             | 1700                                        | 7,30                    | 5521,2                  |
| 10      | 4,7          | 864             | 647,0                             | 1500                                        | 9,44                    | 3427,5                  |

\* товщина після проходу

\*\* початкові дані

марка BM може вироблятися тільки способом термомеханічної прокатки. У вимогах також способи поставки після різноманітних способів термічної обробки, але в цій роботі ми їх не розглядаємо.

Із метою виробництва партії гарячекатаних рулонів зі сталі марки В розмірами 4,7x1190 мм та 5,7x1190 мм було розроблено хімічний склад та виготовлені сляби розмірами 150x1200x6200 мм

Таблиця 5

**Температурно-деформаційний режим прокатки рулонів  
із марки сталі В розмірами 5,7х1190 мм на стані 1700**

| № кліті | Показники    |                 |                                   |                                             |                         |                         |
|---------|--------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|         | Товщина*, мм | Температура, °С | Розрахована сила прокатки, МНх100 | Максимально допустима сила прокатки, МНх100 | Швидкість прокатки, м/с | Потужність двигуна, кВт |
| 0**     | 150          |                 |                                   |                                             |                         |                         |
| 01      | 130          | 1260            | 555,1                             | 800                                         | 0,85                    | 1054,4                  |
| 1       | 95           | 1237            | 1030,8                            | 2500                                        | 1,26                    | 3432,8                  |
| 2       | 58           | 1213            | 1287,0                            | 2500                                        | 1,36                    | 4770,8                  |
| 3       | 41           | 1174            | 910,8                             | 2000                                        | 1,78                    | 3288,1                  |
| 4       | 30           | 1127            | 854,9                             | 2000                                        | 1,78                    | 2503,3                  |
| 4a      | 24           | 1050            | 805,6                             | 2000                                        | 2,89                    | 2873,3                  |
| 5       | 18           | 934             | 1117,1                            | 2400                                        | 2,55                    | 4052,2                  |
| 6       | 13           | 921             | 1180,6                            | 2400                                        | 3,40                    | 5244,3                  |
| 7       | 10           | 909             | 994,0                             | 2000                                        | 4,45                    | 4452,3                  |
| 8       | 8            | 894             | 871,7                             | 1800                                        | 5,52                    | 4029,5                  |
| 9       | 6,5          | 877             | 840,8                             | 1700                                        | 7,30                    | 4522,5                  |
| 10      | 5,7          | 861             | 606,4                             | 1500                                        | 9,44                    | 3212,7                  |

\* товщина після проходу

\*\* початкові дані

Таблиця 6

**Фактичні термомеханічні показники процесу прокатки**

| Параметр                                      | Одиниця виміру | Значення параметру |
|-----------------------------------------------|----------------|--------------------|
| Температура нагрівання слябів                 | °С             | 1260–1270          |
| Час нагрівання                                | Годин-хвилин   | 3–56               |
| Температура прокатки після кліті 4a           | °С             | 1088–1112          |
| Температура прокатки після кліті 10           | °С             | 851–884            |
| Температура змотування рулонів                | °С             | 583–613            |
| Кількість секцій для прискореного охолодження | шт.            | 10                 |
| Швидкість охолодження                         | °С/с           | 90                 |

(табл. 2). Варто зазначити, що у разі освоєння цього асортименту як вимоги до прокату застосовувались базові вимоги API-5L додаткові вимоги з урахуванням трубного переділу замовником не виставлялися.

Оскільки до прокату з цієї сталі не пред'являється підвищених вимог, до хімічного складу спеціально не додавались мікролегуєчі елементи. Розроблений хімічний склад відповідає вимогам PSL-1 та PSL-2 та може бути застосований до марки сталі В та ВМ.

На підставі хімічного складу (табл. 2) розраховано цільові термомеханічні показники процесу прокатки [2, с. 25] з метою забезпечення необхідного комплексу механічних властивостей готового прокату сталі марки В (табл. 3).

З метою перевірки технічної можливості виробництва, а також отримання технологічних

параметрів, необхідних для здійснення термомеханічного процесу прокатки, попередньо для двох товщин було розраховано цільовий температурно-деформаційний режим (табл. 4, 5) [26–30].

Варто зазначити, що цільові розраховані параметри прокатки у чорновій групі клітей однакові, оскільки прокатка виконувалась з одного розміру слябів 150х1200х6200 мм та одного розміру підкату 24х1190 мм для чистової групи.

Згідно з виконаним розрахунком встановлені експлуатаційні обмеження устаткування чорнової та чистової груп клітей не були перевищені. Таким чином, дослідна партія прокату може бути вироблена на наявному устаткуванні із застосуванням розрахованих температурно-деформаційних режимів.

Виробництво дослідної партії гарячекатаних рулонів перерізом 4,7х1190 мм та 5,7х1190 мм із

Результати механічних випробувань дослідницької партії рулонів

| № плавки            | № рулону | Механічні властивості |                     |                      |                        |                       |                                  |
|---------------------|----------|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
|                     |          | Товщина рулонів, мм   | Межа плинності, МПа | Тимчасовий опір, МПа | Відносне подовження, % | Вигін по оправці 180° | Межа плинності / Тимчасовий опір |
| 162955-3            | 1        | 5,7                   | 360                 | 475                  | 30                     | Без розтріскування    | 0,76                             |
|                     | 2        |                       | 340                 | 465                  | 33                     | Без розтріскування    | 0,73                             |
|                     | 3        | 4,7                   | 360                 | 480                  | 36                     | Без розтріскування    | 0,75                             |
|                     | 4        |                       | 365                 | 485                  | 40                     | Без розтріскування    | 0,75                             |
| Вимоги API-5L PSL-1 |          |                       | ≥245                | ≥415                 | 18                     | Без розтріскування    | -                                |
| Вимоги API-5L PSL-2 |          |                       | 245-450             | 415-655              | 18                     | Без розтріскування    | 0,93                             |

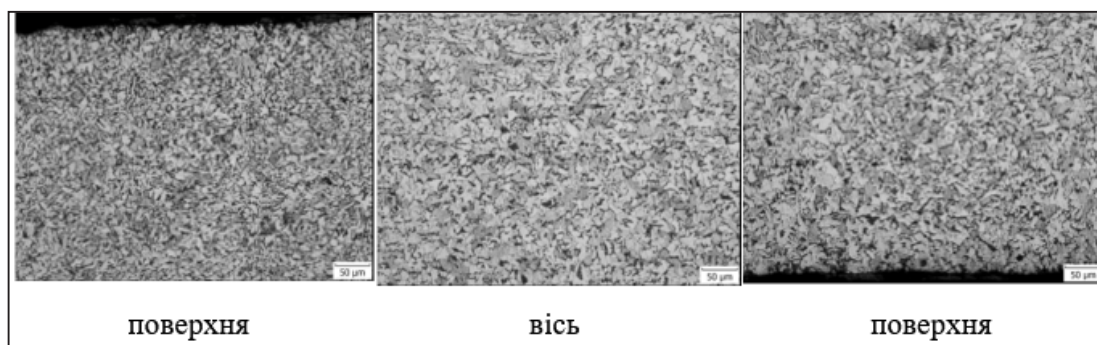


Рис. 3. Мікроструктура поперечних зразків від рулонів завтовшки 4,7 мм, плавки 162955-3 після травлення, x200

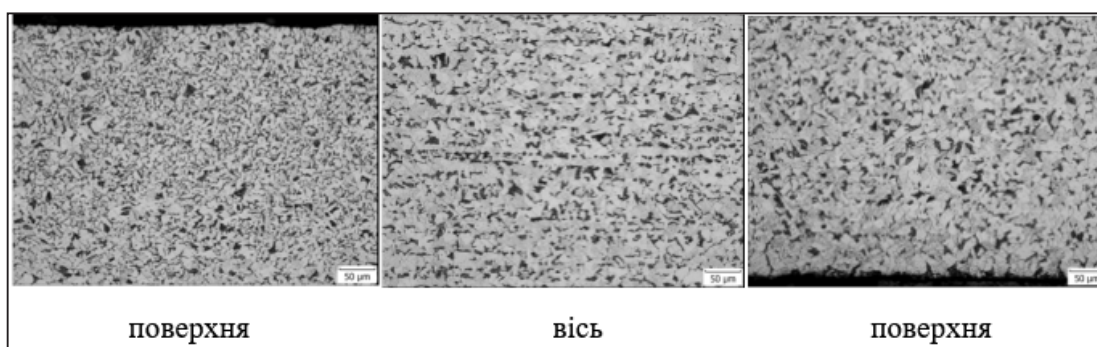


Рис. 4. Мікроструктура поперечних зразків від рулонів завтовшки 5,7 мм, плавки 162955-3 після травлення, x200

марки сталі В згідно з базовими вимогами API-5L здійснювалось зі слябів однієї плавки 172648-3.

Після прокатки рулони були оброблені на установці прискореного охолодження. Фактичні термомеханічні параметри виробництва дослідницької партії наведені в табл. 6.

Варто зазначити, що за умов виробничого процесу час нагрівання всіх слябів було збіль-

шено з 2–35 годин при цільовому розрахунку до 3–56 годин фактично.

Після змотування рулони були відправлені на додаткове контрольоване повітряне охолодження до температури 450°C, яке здійснювали за допомогою промислових аераторів із метою зменшення товщини шару повітряної окалини. Після контрольованого охолодження рулони були від-

правлені на склад із метою остаточного природного охолодження.

Аналіз якості отриманих результатів виконувався на підставі механічних випробувань та металографічного дослідження.

Проби для оцінки механічних властивостей від рулонів дослідницької партії було відібрано після остаточного охолодження. Результати механічних випробувань наведені в табл. 7.

Отримані результати механічних випробувань відповідають вимогам рівня PSL-1 та PSL-2 API-5L для сталі марки В. Варто зазначити, що відповідно до вимог PSL-2 додатково до вказаних в табл. 7 виконуються випробування на ударну в'язкість, які в цій роботі не досліджувалися.

З метою аналізу внутрішньої якості прокату проведені металографічні дослідження зразків від рулонів товщиною 4,7 мм та 5,7 мм, плавки 162955-3. Мікроструктура зразків наведена на рис. 2, 3.

Мікроструктура зразків від рулону товщиною 4,7 мм є ферит-перлітною з зерном фериту 10 номеру. Смогастість на поверхні зразків відсутня. На половині товщини смогастість дорівнює 1 балу.

Мікроструктура зразків від рулону товщиною 5,7 мм є ферит-перлітною із зерном фериту 9, 10 номеру. Смогастість на поверхні зразків відсутня. На половині товщини смогастість дорівнює 2 балам.

Такі відмінності стану мікроструктури прокату та смогастості на різних товщинах свідчать про недостатнє охолодження прокату товщиною 5,7 мм на установці прискореного охолодження в порівнянні з товщиною рулонів 4,7 мм, що найбільш відбилося на осевій частині прокату. Для покращення мікроструктури прокату товщиною

5,7 мм або більшої необхідне додаткове дослідження з корегуванням технології охолодження прокату (збільшення охолоджувальних секцій), а також можна скорегувати хімічний склад із додаванням незначної кількості мікролегуючих елементів у сталь із метою гальмування рекристалізації та зниження крапки структурного перетворення аустеніту, що частково дасть змогу компенсувати обмежені можливості наявного устаткування прискореного охолодження.

**Висновки.** Вперше для умов стану 1700 ПрАТ «ММК Імені Ілліча» розроблена технологія термомеханічної контрольованої прокатки рулонів перерізом 4,7х1190 мм та 5,7х1190 мм зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб згідно з вимогами API-5L, рівень PSL-1.

Вперше в умовах стану 1700 ПрАТ «ММК Імені Ілліча» вироблена дослідницька партія прокату зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб, яка повністю відповідає вимогам американського стандарту API-5L, рівень PSL-1.

Із метою визначення можливості виробництва прокату зі сталі марки В для подальшого виробництва електрозварних труб із забезпеченням вимог API-5L у повній відповідності до рівня PSL-2 необхідно провести додаткові дослідження випробувань на ударну в'язкість.

Виконано порівняння якості дослідницької партії прокату завтовшки 4,7 та 5,7 мм. Встановлено, що для покращення мікроструктури прокату завтовшки 5,7 мм або подальшого освоєння більших товщин необхідне додаткове дослідження технології охолодження прокату та зміна хімічного складу сталі з додаванням мікролегуючих елементів.

#### Список літератури:

1. Malcolm J. Gray. Technology of microalloyed steel for large diameter pipe. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 1974. Vol. 2, Pp. 95–122. URL: [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(74\)90019-2](https://doi.org/10.1016/0308-0161(74)90019-2).
2. Zinchenko Yu.A., Kurpe A.G., Bagmet O.A. Prospects of the technology used to make skelp at the Azovstal metallurgical combine. *Metallurgist*. 2008. Vol. 52, Nos. 7–8. Pp. 461–463. URL: <https://doi.org/10.1007/s11015-008-9065-4>.
3. Militzer M. Thermomechanical Processed Steels Reference Module in Materials Science and Materials Engineering *Comprehensive. Materials Processing*. 2014. Vol. 1. Pp. 191–216. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00115-1>.
4. LI Hai-jun, LI Zhen-lei, YUAN Guo, WANG Zhao-dong, WANG Guo-dong. Development of New Generation Cooling Control System After Rolling in Hot Rolled Strip Based on UFC. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2013. # 20(7). Pp. 29–34.
5. LIU En-yang, ZHANG Dian-hua, SUN Jie, PENG Liang-gui, GAO Bai-hong, SU Li-tao. Algorithm Design and Application of Laminar Cooling Feedback Control in Hot Strip Mill. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2012. # 19(4). Pp. 39–42. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60085-5](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60085-5).
6. Kukhar V., Prysiashnyi A., Balalayeva E., Anishchenko O. Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect. *Modern Electrical and Energy*

*System MEES'2017*. IEEE, Kremenichuk, Ukraine. Ostrohradskyi National University, 2017. Pp. 404–407. URL: <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248945>.

7. Yunbo Xu, Yongmei Yu, Xianghua Liu, and Guodong Wang. Modeling of microstructure evolution and mechanical properties during hot-strip rolling of Nb steels. *Journal of University of Science and Technology*. 2008. Vol. 15. Pp. 396–401. URL: [https://doi.org/10.1016/S1005-8850\(08\)60075-4](https://doi.org/10.1016/S1005-8850(08)60075-4).

8. Korczak P., Dyja H. Investigation of microstructure prediction during experimental thermo-mechanical plate rolling. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001. # 109. Pp. 112–119. PII: S 0924-0136(00)00784-6.

9. Xiangwei Kong, Liangyun Lan, Optimization of mechanical properties of low carbon bainitic steel using TMCP and accelerated cooling. *11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP*. 2014. Pp. 19–24. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.136>.

10. Sir Harshad Bhadeshia. Thermomechanical Treatment of Steels, Microstructure and Properties. Fourth edition., 2017. Pp. 271–301. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100270-4.00010-X>.

11. Carretero Olalla V., Bliznuk V., Sanchez N., Thibaux P., Kestens L.A.I., Petrov R.H. Analysis of the strengthening mechanisms in pipeline steels as a function of the hot rolling parameters. *Materials Science & Engineering A* 604, 2014. Pp. 46–56. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.02.066>.

12. Sumit Ghosh, Suhrit Mula. Thermomechanical processing of low carbon Nb–Ti stabilized microalloyed steel: microstructure and mechanical properties. *Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 646. Pp. 218–233. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2015.08.072>.

13. DONG Rui-feng, SUN Li-gang, LIU Zhe, WANG Xue-lian, LIU Qing-you. Microstructures and Properties of X60 Grade Pipeline Strip Steel in CSP Plant. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2008. Pp. 71–75. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(08\)60035-7](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(08)60035-7).

14. Zhao J., Hu W., Wang X., Kang J., Cao Y., Yuan G., Di H., Misra R.D.K. A Novel thermo-mechanical controlled processing for large-thickness microalloyed 560 MPa (X80) pipeline strip under ultra-fast cooling. *Materials Science & Engineering A* 673. 2016. Pp. 373–377. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.07.089>.

15. Zhao J., Hu W., Wang X., Kang J., Yuan G., Di H., Misra R.D.K. Effect of microstructure on the crack propagation behavior of microalloyed 560 MPa (X80) strip during ultra-fast cooling. *Materials Science & Engineering A* 666. 2016. Pp. 214–224. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.073>.

16. Пат. 98214 Україна, МПК B21C 37/08, B21B 1/32, C22C 38/00, C21D 8/02, C21D 8/10, B23K 9/025. Спосіб виробництва сталевих високоміцних електрозварних одношовних труб великого діаметра для магістральних трубопроводів / Лівшиц Д.А., Зінченко Ю.А., Шахпазов Є.Х., Матросов Ю.І., Ганошенко І.В., Гоман С.В., Шалімов С.Я., Кумуржи Є.В., Володарський В.В., Лоскутов О.Ю., Койфман О.А., Курпе О.Г.; власник ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ «АЗОВСТАЛЬ», ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ХАРЦИЗЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД». № а 2010 11473; заява 27.09.2010; публ. 25.04.2012, Бюл. № 8. 7 с.

17. Пат. 96097 Україна, МПК B21C 37/08, C22C 38/00, C21D 1/00, B21B 1/22, B23K 9/00. Спосіб виробництва сталевих високоміцних електрозварних двошовних труб великого діаметра для магістральних трубопроводів / Лівшиц Д.А., Зінченко Ю.А., Шахпазов Є.Х., Матросов Ю.І., Ганошенко І.В., Гоман С.В., Шалімов С.Я., Кумуржи Є.В., Володарський В.В., Лоскутов О.Ю., Койфман О.А., Курпе О.Г.; власник ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ «АЗОВСТАЛЬ», ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ХАРЦИЗЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД». № а201011469; заява 27.09.2010; публ. 26.09.2011, Бюл. № 18. 5 с.

18. LAN Liang-yun, QIU Chun-lin, ZHAO De-wen, GAO Xiu-hua, DU Lin-xiu. Dynamic and Static Recrystallization Behavior of Low Carbon High Niobium Microalloyed Steel. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2011. 18(1). Pp. 55–60. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(11\)60011-3](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(11)60011-3).

19. Natarajan V.V., Challa V.S.A., Misra R.D.K. The Determining Impact of Coiling Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of a Titanium-Niobium Ultrahigh Strength Microalloyed Steel: Competing Effects of Precipitation and Bainite. *Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 665. Pp. 1–9. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.007>.

20. Venkatsurya P.K.C., Jia Z., Misra R.D.K., Mulholland M.D., Manohar M., Hartmann J.E.Jr. Understanding mechanical property anisotropy in high strength niobium-microalloyed linepipe steels. *Materials Science and Engineering*. 2012. Vol. 556. Pp. 194–210. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.078>.

21. ZHANG Ji-ming, SUN Wei-hua, SUN Hao. Mechanical Properties and Microstructure of X120 Grade High Strength Pipeline Steel. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2010. # 17(10). Pp. 63–67. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(10\)60185-9](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(10)60185-9).

22. Wengui Zhao, Meng Chen, Shaohui Chen, Jinbo Qu. Static strain aging behavior of an X100 pipeline steel. *Materials Science and Engineering A* 550. 2012. Pp. 418–422. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.04.095>.

23. Dr. Ing. Hans-Georg Hillenbrand, Dr. Ing. Michael Gräf, Dr. Ing. Christoph Kalwa. Development and production of high strength pipeline steels. Niobium 2001, EUROPIPE GmbH, 2001. Pp. 1–29.

24. Michael Gräf, Jens Schröder, Volker Schwinn, Klaus Hulka. Production of Large Diameter Pipes Grade X 70 with High Toughness using Acicular Ferrite Microstructures. International Conference on Application and Evaluation of High Grade Linepipes in Hostile Environments. Yokohama, Japan, 2002. Pp. 1–14.

25. Багмет О.А. Формирование оптимальных структур и свойств при проведении контролируемой прокатки трубных сталей, содержащих ниобий: автореф. дис. М. «Графикс В». 2007. 23 с.

26. Теоретический анализ момента при прокатке с натяжением полосы / О.П. Максименко, А.Г. Присяжный, В.В. Кухарь, Е.В. Кузьмин. *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. Краматорск: ДГМА, 2017. № 1 (44). С. 199–203.

27. Кухарь В.В. Уточнение методики расчета тепловых потерь металла на непрерывных станах горячей прокатки / В.В. Кухарь, А.Г. Курпе. *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. Краматорск: ДГМА, 2018. № 1 (46). С. 159–166.

28. Курпе О.Г. Уточнения розрахунку теплових втрат металу на станах Стеккеля / О.Г. Курпе, В.В. Кухар, Є.В. Змазєва. *Проблеми трибології*. 2018. № 1. С. 78–84.

29. Кухар В.В., Курпе О.Г. Розробка технології виробництва листового прокату товщиною 4 мм на стані 3200 заводу Tramelal SpA. *Металургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 2. С. 24–29.

30. Kukhar V., Artiukh V., Prysiaznyi A. and Pustovgar A. Experimental Research and Method for Calculation of ‘Upsetting-with-Buckling’ Load at the Impression-Free (Dieless) Preforming of Workpiece, *E3S Web of Conference* (HRC 2017). Vol. 33, 02031, 2018. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302031>.

### **ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ РУЛОНОВ ИЗ МАРКИ СТАЛИ В ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ API-5L, НА СТАНЕ 1700 ЧАО «ММК ИМЕНИ ИЛЬИЧА»**

*В условиях стана 1700 ЧАО «ММК ИМЕНИ ИЛЬИЧА» разработана технология и изготовлена способом термомеханической контролируемой прокатки партия горячекатаных рулонов размерами 4,7x1190 мм и 5,7x1190 мм из стали марки В для дальнейшего производства электросварных труб по стандарту API-5L. В разработанной технологии применено контролируемое воздушное охлаждение рулонов до температуры 450°C после сматывания, что обеспечивает уменьшение толщины слоя электросварных труб.*

**Ключевые слова:** термомеханическая контролируемая прокатка, горячекатаные рулоны, стандарт API-5L, сталь марки В, технология.

### **DEVELOPING THE PRODUCTION OF HOT-ROLLED COILS OF STEEL GRADE B FOR FURTHER MANUFACTURING OF PIPES IN ACCORDANCE WITH API-5L REQUIREMENTS AT ROLLING MILL 1700, PJSC “ILYICH IRON AND STEEL WORKS”**

*At rolling mill 1700 facilities, PJSC “ILYICH IRON AND STEEL WORKS” the technology has been developed and the batch of hot-rolled coils of dimensions 4.7x1190 mm and 5.7x1190 mm, steel grade B has been produced by the method of thermomechanical controlled rolling for further manufacturing of electric-welded pipes in accordance with API-5L. Pursuant to the developed technology the controlled air cooling of coils has been applied up to 450 °C after coiling. This ensures the reduction of air scale layer thickness and improves the surface quality, including the surface quality during further manufacturing of electric-welded pipes.*

**Key words:** thermomechanical controlled rolling, hot-rolled coils, API-5L standard, steel grade B, technology.

## ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 504.062.2

**Гомеля М.Д.**

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

**Шуриберко М.М.**

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

**Голяка А.В.**

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

### ЗНЕКИСНЕННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОМІСТКИХ КОМПОЗИТІВ

*Проведено дослідження оцінки ефективності нових залізомістких композитів при знекисненні водопровідної та натрій-катіонованої води. Визначено ефективність одностадійного знекиснення води. Зумовлено використання двоступеневої стабілізаційної обробки води, яка включає в себе знекиснення води та її подальше натрій-катіонування. Встановлено ефективність використання пом'якшеної води під час вилучення розчиненого кисню і іонів заліза. Визначено залежність ефективності процесів знекиснення та знезалізнення води від швидкості фільтрування через редокс-фільтр.*

**Ключові слова:** знекиснення води, залізомісткі композити, редокс-фільтр, натрій-катіонування, знезалізнення води.

**Постановка проблеми.** У промисловості великі об'єми води використовуються саме в енергетиці та системах охолодження. Перспективними методами забезпечення економічної вигоди та екологічності використання природної води є методи кондиціонування води та застосування водоциркуляційних систем (замкнених та оборотних). Тому ці методи треба постійно вдосконалювати та вивчати всі сторони процесів, що в них відбуваються.

Основним питанням у використанні водоциркуляційних систем є потреба у зменшенні корозійної активності та жорсткості води задля попередження накопичення та корозії металу [1, с. 50–55]. У разі нехтування вимогами до якості води збільшуються додаткові витрати на ремонт обладнання та забір свіжої води, а також скид промислових вод.

Тому рекомендовано в оборотних та замкнених системах охолодження та теплопостачання використовувати стабільну воду. Зниження корозійної агресивності води можна досягати різними шляхами: застосування інгібіторів корозії металів або

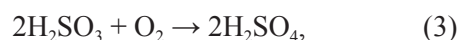
попереднє видалення агресивних газів з води – дегазація води [2, с. 680]. Такі методи поділяють на хімічні, біохімічні, фізичні і фізико-хімічні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основним фактором корозії металу є наявність у воді розчиненого кисню.

Суть хімічної дегазації полягає в тому, що розчинений кисень зв'язується введенням у воду таких хімічних речовин, як діоксид сірки, сірчистоокислий натрій ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) чи гідразин. Коли використовується  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , він окислюється киснем до сульфату відповідно до рівняння реакції:



У разі використання діоксиду сірки утворюється сірчиста кислота, яка киснем, розчиненим у воді, окислюється до сірчаної кислоти:



Практично повністю знекиснити воду дає змогу гідразин [3, с. 132–139; 4, с. 58–61], що відбувається з виділенням інертного азоту:



Такий спосіб є найбільш ефективним. Недолік – висока вартість гідразину, що призводить до значних економічних затрат. Тому такий метод застосовують в основному для остаточного видалення кисню з води після фізичних методів.

Методи фізичної дегазації води можуть проводитись двома способами [5, с. 270]. У першому випадку вода контактує з повітрям при парціальному тиску, близькому до нуля. У другому методі створюються такі умови, за яких знижується розчинність газу у воді. Оскільки тиск вуглекислоти є близьким до нуля, під час аерації відбувається її дегазація.

Одним із методів знекиснення води є використання редокситів – модифікованих відновниками катіонітів або аніонітів. Цей метод повністю дає змогу вилучити іони кисню з води без вторинного її забруднення. Особливість редокситів виявляється в широкій варіації окисно-відновного потенціалу за рахунок полімерного носія та іоногенних груп, високої редокс-ємності, що забезпечується значною кількістю функціональних груп, розвиненою внутрішньою реакційною поверхнею пор і фіксацією редокс-груп полімерним ланцюгом [6, с. 28–31; 7, с. 32–36; 8].

Процес знекиснення води описаний у роботі [9] проводили з використанням аніоніту в сульфатній формі. Автори для дослідження застосовували знесолону воду та конденсат. Але більш важливим і цікавим є питання видалення кисню з води, що містить іони жорсткості. У цьому разі процес, перш за все, буде залежати від концентрації аніонів. Тому застосування окисно-відновного потенціалу іонообмінної смоли цього типу може бути проблематичним для систем охолодження, де використовують природну воду без часткового пом'якшення. Цей процес був досліджений науковцями [10, с. 91–94] з використанням аніоніту АВ–17–8 у  $\text{Cl}^-$ - та  $\text{SO}_4^{2-}$ -формах під час пропускання водопровідної води.

У літературі описано методи отримання фільтруючого завантаження для знекиснення води з використанням елементів змінної валентності та при змінному режимі проведення операції обробки сіллю металу з переведенням його у нерозчинний стан [11]. При цьому наковці [12] досягли зниження розчинності сполук заліза, закріплених на поверхні та у порах фільтруючого матеріалу, що дає змогу запобігти вимиванню іонів заліза з фільтруючого матеріалу, при одночасній сорбції розчиненого у воді кисню до концентрації, меншої за  $50 \text{ мкг/дм}^3$ . Вихідна речовина містить катіонітну смолу в  $\text{Na}^+$ -формі та аніонну смолу в  $\text{Cl}^-$ -формі. Цю суміш обробляли розчином сульфату заліза (II) з тіосульфатом

натрію та лугом із метою переведення металу в нерозчинний стан.

Ю.Г. Поржезінським запропоновано нову технологію хімічного знекиснення води за допомогою монокристу  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  у стехіометричній кількості, концентрацією 10–15% з подальшою фільтрацією через Redox-каталітичний фільтр [13, с. 543]. Як фільтруюче завантаження використовують каталітичний фільтруючий матеріал – редоксит. Виробничі дослідження показали ефективність роботи цієї технології.

Ці всі методи передбачають регенерацію відпрацьованих редокситів.

У цій роботі запропоновано застосовувати як відновник модифіковане завантаження на основі залізомістких композитів (редоксит МЗ). Цей матеріал є доступний, отриманий на основі промислових відходів і в разі зниження його активності проблема відновлення вирішується поповненням додатковими кількостями редокситу.

**Постановка завдання.** Об'єктом дослідження в цій роботі були процеси знекиснення води для екологічно-безпечних систем теплопостачання та систем виробництва пари та електроенергії.

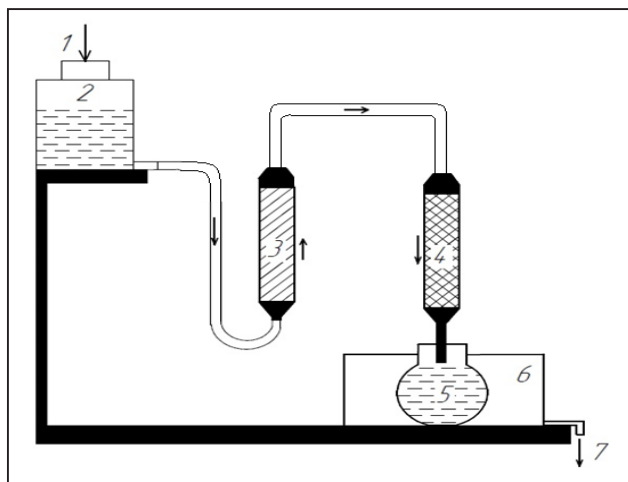
Мета дослідження – визначення ефективності знекиснення води редокситами на основі залізомістких композитів при надійному регулюванні вмісту сполук заліза у знекисненій воді.

Заради досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- оцінка ефективності нових залізомістких композитів при знекисненні водопровідної та натрій-катіонованої води;
- визначення умов видалення сполук заліза зі знекисненої водопровідної та пом'якшеної води;
- визначення залежності ефективності процесів знекиснення та знезалізнення води від швидкості фільтрування через редокс-фільтр.

У цій роботі вивчали процеси вилучення кисню з води шляхом її фільтрування послідовно через колонку заповнену залізомістким композитом та колонку, заповнену катіонітом КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$  формі ( $V_i = 50 \text{ см}^3$ ). Схема установки представлена на рис. 1. Водопровідну воду ( $\text{Ж} = 4,6 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $\text{Л} = 4,5 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $[\text{Ca}^{2+}] = 3,8 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $\text{pH} = 7,500$ ;  $[\text{Cl}^-] = 37,5 \text{ мг/дм}^3$ ;  $[\text{SO}_4^{2-}] = 23,0 \text{ мг/дм}^3$ ) та натрій-катіоновану воду ( $\text{Ж} = 0,0 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $\text{Л} = 4,8 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $\text{pH} = 7,851$ ) фільтрували із швидкістю  $2,12\text{--}10,60 \text{ м/год}$ . У перших дослідах воду відбирали після колонки заповненої редокситом. У воді визначали залишковий вміст кисню, заліза та pH середовища відповідно за методиками Ю.Ю. Лур'є [14, с. 448] та Л.А. Кагановського і М.А. Шевченко [15, с. 680]. У подальших дослідах воду відбирали після послідовного фільтру-

вання через колонку з редокситом та катіонітом. У відібраних пробах визначали залишкові концентрації кисню та заліза і рН середовища. Під час фільтрування водопровідної води через сорбент та катіоніт визначали залишкову жорсткість води.

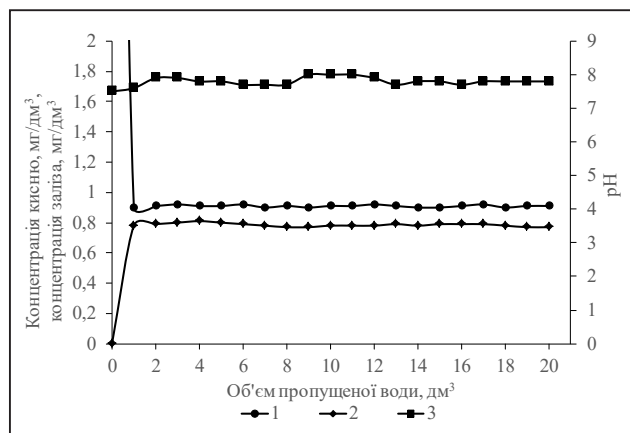


**Рис. 1.** Експериментальна установка для знекиснення води

1 – подача води; 2 – ємність з водою; 3 – колонка з редокситом МЗ; 4 – Na<sup>+</sup>-катіонітовий фільтр; 5 – колба Вінклера; 6 – ємність для збирання витісненої води із колби; 7 – відведення надлишку води у каналізацію.

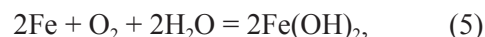
#### Виклад основного матеріалу дослідження.

На першому етапі досліджень використовували водопровідну воду м. Києва, яку пропускали через колонку, завантажену редокситом на основі відновлених сполук залізомістких композитів. Протягом досліджень вимірювали вміст кисню до та після експерименту, вміст загального заліза та загальну жорсткість води. Результати знекиснення водопровідної води з редокситом МЗ наведено на рис. 2:



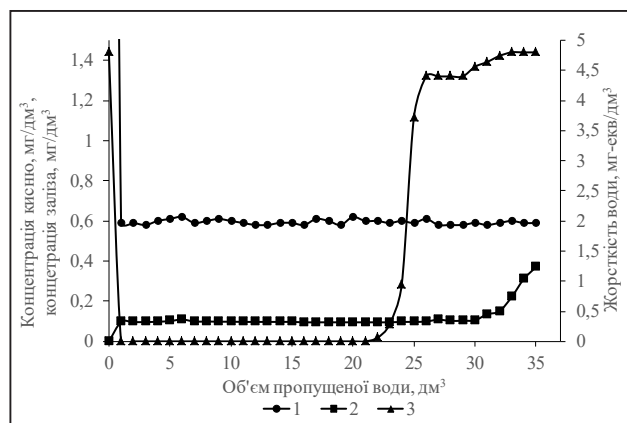
**Рис. 2.** Залежність концентрації розчиненого кисню (1), заліза (2) та рН середовища (3) від об'єму пропущеної водопровідної води через редоксит МЗ (рН = 7,500; [O<sub>2</sub>] = 8,05 мг/дм<sup>3</sup>; Ж<sub>заг</sub> = 4,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>). Швидкість фільтрування – 2,12 м/год

Як видно з наведеного рисунку, при пропусканні води через редоксит МЗ відбувається відновлення кисню шляхом взаємодії зі сполуками заліза:



Через контакт розчиненого у воді кисню та металу концентрація кисню зменшується приблизно в 8,5 раза (з 8,05 до 0,91 мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Проте за такого способу знекиснення вода додатково забруднюється іонами заліза, середній вміст яких дорівнює 0,78 мг/дм<sup>3</sup>, а жорсткість води залишається на початковому рівні (Ж<sub>заг</sub> = 4,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>).

З метою запобігання вторинному забрудненню іонами заліза воду після фільтрування через редоксит МЗ під час її знекиснення пропускали через сильнокислотний катіоніт КУ-2-8 в Na<sup>+</sup>-формі. У відібраних пробах води (V = 1 дм<sup>3</sup>) визначали вміст кисню, іонів заліза, реакцію середовища та загальну жорсткість. Результати знекиснення водопровідної води при послідовній обробці редокситом МЗ та катіонітом КУ-2-8 в Na<sup>+</sup>-формі наведено на рис. 3:



**Рис. 3.** Залежність концентрації розчиненого кисню (1), заліза (2) та жорсткості води (3) від об'єму пропущеної водопровідної води через редоксит МЗ та катіоніт КУ-2-8 в Na<sup>+</sup>-формі (рН = 7,786; [O<sub>2</sub>] = 9,23 мг/дм<sup>3</sup>; Ж<sub>заг</sub> = 4,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>). Швидкість фільтрування – 2,12 м/год

Під час застосування двоступеневої системи стабілізаційної обробки спостерігається зменшення концентрації розчиненого кисню з 8,05 до 0,59 мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Завдяки іонному обміну на катіоніті забезпечується видалення з води вторинного забруднювача – заліза. При цьому концентрація заліза зменшується з 0,78 до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Крім того, в результаті двостадійної обробки жорсткість води зменшується до нуля з подальшим її зростанням вихідних значень через вичерпування ємності іоніту.

Варто зазначити, що підвищення ефективності видалення кисню відбувається шляхом його зв'язування при взаємодії з катіонами заліза (II), що сорбувались на катіоніті.

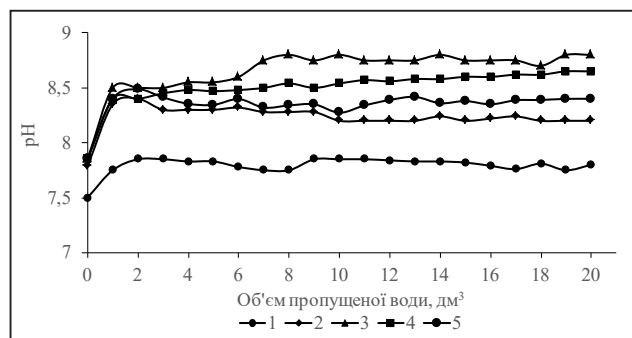


Рис. 4. Залежність рН від об'єму пропущеної водопровідної (1, 2) та  $\text{Na}^+$ -катіонованої води (3; 4; 5) через редоксит МЗ (1) та катіоніт КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$ -формі (2; 3; 4; 5) при різних швидкостях фільтрування, м/год: 2,12 (1; 2; 3); 6,36 (4); 10,6 (5)

Мірою насичення катіоніту іонами кальцію, його ефективність по сорбції іонів заліза падає. Тому при вичерпуванні ємності іоніту за іонами  $\text{Ca}^{2+}$  в розчині спостерігається зростання концентрації іонів заліза. При цьому до певної міри знижується рН середовища (рис. 4), що призводить і до зниження ефективності зв'язування кисню сорбованими іонами заліза. Після регенерації катіоніту розчином хлориду натрію його активність підвищується і він забезпечує ефективність із видалення заліза на рівні, представленою на рис. 3.

Зазвичай у системах теплопостачання та у разі подачі води на водогрійні та парові котли використовують пом'якшену (натрій-катіоновану) або знесолену воду. У такому разі використовували натрій-катіоновану воду, для чого проводили тристадійну обробку води: пом'якшення води на катіоніті КУ-2-8, знекиснення води за допомогою редокситу МЗ та видалення іонів заліза на послідовному  $\text{Na}$ -катіонуванні. У відібраних пробах (кожен 1 дм³) визначали вміст кисню у воді, заліза та реакцію середовища. Результати знекиснення  $\text{Na}^+$ -катіонованої води редокситом МЗ із подальшим пропусканням через катіоніт КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$ -формі наведено на рис. 5.

Із наведених результатів зрозуміло, що в результаті знекиснення натрій-катіонованої води, в якій концентрація іонів жорсткості перебуває на нульовому рівні, концентрація розчиненого кисню коливається в діапазоні від 0,39 мг $\text{O}_2$ /дм³, концентрація залишкового заліза в середньому сягає 0,06 мг/дм³. Варто зауважити, що роздільне видалення катіонів (іонів жорсткості та заліза з

іонітів) дає змогу отримувати окремі відпрацьовані регенераційні розчини, які легко буде переробляти.

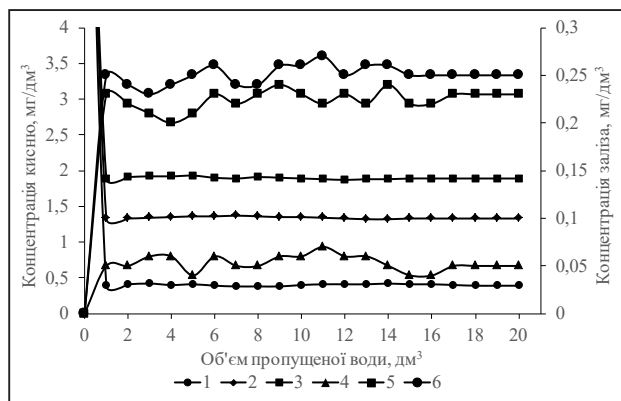


Рис. 5. Залежність концентрації розчиненого кисню (1; 2; 3) та заліза (4; 5; 6) від об'єму пропущеної  $\text{Na}^+$ -катіонованої води ( $[\text{O}_2] = 9,74$  мг/дм³;  $\text{pH} = 7,851$ ) через редоксит МЗ та катіоніт КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$ -формі при різних швидкостях фільтрування, м/год: 2,12 (1; 4); 6,36 (2; 5); 10,6 (3; 6)

Оскільки процес знекиснення води відбувається в результаті хімічної реакції – окислення сполук заліза, доцільно було провести дослідження щодо визначення залежності ефективності знекиснення води від швидкості фільтрування через завантаження. Швидкість фільтрування варіювалась від 2,12 до 10,6 м/год. У відібраних пробах визначали вміст кисню, заліза та реакцію середовища. Результати дослідження наведено на рис. 4, 5 та 6.

Як варто було очікувати, швидкість фільтрування суттєво впливає на ефективність знекиснення та вилучення вторинного забруднювача – іонів заліза з води. Дані дослідження показали лінійну зворотну залежність ефективності видалення сполук від швидкості фільтрування. У разі підвищення швидкості фільтрування в 2,5–3 рази вміст кисню зростає в 2,5–3 рази (збільшується з 0,39 до 1,39 мг/дм³), а у разі підвищення швидкості фільтрування до 10,6 м/год вміст кисню зростає майже в 5 разів (з 0,39 до 1,89 мг/дм³). Така ж тенденція спостерігається у процесах вилучення іонів заліза. Вміст заліза хоча і незначний, також підвищується у разі зростання швидкості фільтрування з 0,06 мг/дм³ при  $V_{\text{фільт}} = 2,12$  м/год до 0,25 мг/дм³ при  $V_{\text{фільт}} = 10,6$  м/год.

Загалом застосування редокситу з модифікованих сполук заліза забезпечує досить ефективне видалення кисню із води.

Як видно з рис. 6, уже при обробці водопровідної води на редокситі МЗ було досягнуто ступеню знекиснення води на рівні 87–90% при швидкості

фільтрування 2,12 м/год при об'ємі завантаження 50 см<sup>3</sup>. Звичайно, при такому об'ємі завантаження час контакту води з сорбентом дуже малий, щоб забезпечити повне зв'язування кисню. Однак уже при застосуванні натрій-катіонного фільтру ступінь знекиснення води зріс до 93–94% при практично повному вилученні заліза з води, а у разі використання натрій-катіонованої води та двостадійного фільтрування ступінь знекиснення води сягав 97%. Очевидно, збільшуючи об'єм завантаження редокситу, можна досягти повного знекиснення води.

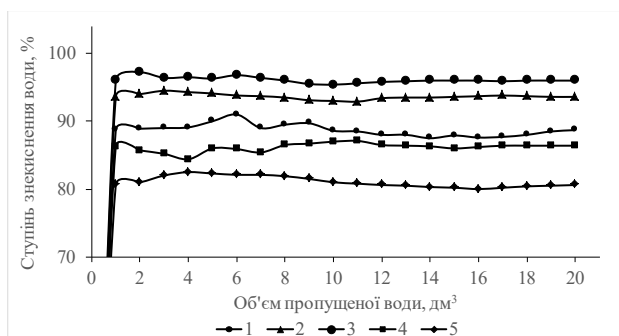


Рис. 6. Залежність ступеню знекиснення води від об'єму пропущеної водопровідної (1; 2) та Na<sup>+</sup>-катіонованої (3; 4; 5) води через редоксит МЗ та катіоніт КУ-2-8 в Na<sup>+</sup>-формі (2; 3; 4; 5) при швидкостях фільтрування, м/год: 2,12 (1; 2; 3); 6,36 (4); 10,6 (5); рН: 7,500 (1; 2); 7,851 (3; 4; 5); [O<sub>2</sub>], мг/дм<sup>3</sup>: 8,05 (1); 9,23 (2); 9,74 (3; 4; 5)

Те, що за умови підвищення швидкості фільтрування ефективність знекиснення води зменшується, лише підтверджує той факт, що за сталої швидкості взаємодії редокситу з киснем ступінь зв'язування знижується при зменшенні часу контакту з сорбентом. Цей параметр можна змінити завдяки збільшенню об'єму завантаження редокситу. Тому в подальших дослідженнях будуть визначені оптимальні співвідношення між об'ємом завантаження редокситу, діаметром

фільтра та висотою шару редокситу за вибраних швидкостей фільтрування.

#### Висновки.

Визначено ефективність одностадійного знекиснення води за допомогою редокситу МЗ та встановлено, що цей сорбент дає змогу зменшувати концентрацію розчиненого кисню у воді у 6–8 разів від початкового значення 8–9 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> до 0,91 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Процес знекиснення води супроводжується вторинним забрудненням води іонами заліза ([Fe] ≤ 0,78 мг/дм<sup>3</sup>).

Показано, що двоступенева стабілізаційна обробка, яка включає в себе знекиснення води та її подальше натрій-катіонування, є більш ефективною. Вміст розчиненого кисню у воді зменшується порівняно з одностадійною обробкою до 0,59 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, при цьому вторинне забруднення води іонами заліза не відбувається. Одночасно з води видаляються іони жорсткості. У міру переходу іоніту в Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>-форму ефективність вилучення заліза знижується.

Встановлено, що за умови використання пом'якшеної води ефективність знекиснення води на фільтрі, заповненому редокситом та катіонообмінному фільтрі в Na<sup>+</sup>-формі, зростає, як і ефективність вилучення іонів заліза.

Досліджено вплив швидкості фільтрування на процеси знекиснення води та видалення з неї іонів заліза. Показано лінійну зворотну залежність ефективності видалення сполук від швидкості фільтрування. У разі підвищення швидкості фільтрування в 2,5–3 рази вміст кисню зростає в 2,5–3 рази, а у разі підвищення швидкості фільтрування у 5 разів вміст кисню також зростає приблизно у 5 разів. Така ж тенденція спостерігається у процесах вилучення іонів заліза. Ця тенденція зумовлена зменшенням часу контакту води з сорбентом та іонітом за сталих значень швидкості окислення сполук заліза та сорбції іонів заліза на катіоніті.

#### Список літератури:

- Bernstein Hans–Friedrich. Water degassing in the networks of hot water supply. Entgasur und Wasserbehandlung in Fernwärmesystemen. Euroheat and power. 2008. № 37. № 6. Р. 50–55.
- Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Москва: МГУ. 1996. 680 с.
- Медведев Р.Б., Мердух С.М. Водно-хімічний режим і математичне моделювання другого контуру АЕС із реактором типу ВВЕР–1000. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2013. № 3. С. 132–139.
- Andries V., Couturier D. Reduction of dissolved oxygen in water: hydrazine and its organic substitutes. Materials performance. 2000. № 39. № 7. Р. 58–61.
- Кассиди Т.Д., Кун К.А. Окислительно-восстановительные полимеры. Львов, 1967. 270 с.
- Тамазашвілі А.Т., Мазна Ю.І., Сіренко Л.В. Порівняння ефективності фосфатних інгібіторів корозії сталі у водопровідній воді. Східноєвропейський журнал передових технологій. 2012. 2/13 (56). С. 28–31.
- Кравченко Т.А., Соцкая Н.В., Слепцова О.В. Знекиснення водних розчинів катоднополярисуючими мідь місткими редокситами. Журнал прикладної хімії. 2001. 74, №1. С. 32–36.
- Спосіб хімічного знекиснення води: пат. 72404 Україна: МПК C02F 1/70, C02F 1/42. опубл. 15.02.2005.

9. Pat. 2217382, МКІ7 С 02 F 1/20, 1/42. Publ. Jun. 17, 2002.
10. Tamazashvili A., Makarenko I. Evaluation of the reducing ability of anion exchange resin AV-17-8 in the sulphite form. Chemistry & chemical technology. 2015. № 1. P. 91-94.
11. Спосіб отримання фільтруючого матеріалу: пат. 26988 Україна: МПК: B01J 20/30, B01J 20/20. № u200706648; заявл. 13.06.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.
12. Спосіб отримання фільтруючого матеріалу для фільтрів, що призначенні для знекиснювання води: пат. 89903 Україна: МПК: B01J 20/20, B01J 20/30, E03B 3/00, B01D 39/16. № a200811234; заявл. 16.09.2008; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5.
13. Поржезінський Ю.Г. Нова технологія хімічного знекиснення води. Київ: НУХТ. 2015. 543 с.
14. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. Москва, 1989. 448 с.
15. Кагановский Л.А., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. Київ: Наукова думка, 1980. Т. 1. 680 с.

### ОБЕСКИСЛОРОЖИВАНИЕ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ЗАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ

*Проведено исследование оценки эффективности новых железосодержащих композитов при обескислороживании водопроводной и натрий-катионованой воды. Определена эффективность одностадийного обескислороживания воды. Обусловлено использование двухступенчатой стабилизационной обработки воды, которая включает в себя обескислороживание воды и ее дальнейшее натрий-катионирование. Установлена эффективность использования смягченной воды при изъятии растворенного кислорода и ионов железа. Определена зависимость эффективности процессов обескислороживания и обезжелезивания воды от скорости фильтрования через редокс-фильтр.*

**Ключевые слова:** обескислороживание воды, железосодержащие композиты, редокс-фильтр, натрий-катионирование, обезжелезивание воды.

### DEOXYGENATION OF WATER WITH HELP DOWNLOAD BASED ON IRON-CONTAINING COMPOSITES

*In industry, large volumes of water are used precisely in power engineering and cooling systems. Promising methods for ensuring economic benefits and environmental friendliness of using natural water are methods of water conditioning and the use of water supply systems (closed and reversible). Therefore, these methods need to constantly improve and study all aspects of the processes that occur in them.*

*The main issue in the use of water circulation systems is the need to reduce the corrosion activity and water hardness to prevent the formation of scale and corrosion of the metal. In case of neglecting the quality requirements of the water, additional expenses for equipment repair and fresh water collection as well as discharging of waste water are increased. Therefore, it is recommended to use stable water in circulating and closed systems of cooling and heat supply.*

*In the given work it is offered to use as a reducing agent the modified download on the basis of iron-containing composites.*

*The research of estimation of efficiency of new ones is carried out iron-containing composites at deoxygenation plumbing and softened water. The efficiency of one stage deoxygenation of water is determined. The use of two-stage stabilization water treatment is stipulated, which includes the deoxygenation of water and softened water. The effectiveness of using softened water in the removal of dissolved oxygen and iron ions has been established. The dependence of the efficiency of the processes of deoxygenation and removal of iron from water is determined from the filtering speed through a redox-filter.*

**Key words:** deoxygenation of water, iron-containing composites, redox-filter, softening of water, removal of iron from water.

**Колб Ю.І.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Конечна Р.Т.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Новіков В.П.**

Національний університет «Львівська політехніка»

## ПРОГНОЗУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА “DRUG-LIKE” СПЛУК РОДИНИ RANUNCULACEAE ЯК ПОШУК НОВИХ ЕФЕКТИВНИХ ДІЮЧИХ РЕЧОВИН

Незважаючи на величезний арсенал наявних ліків, проблема пошуку нових високоефективних лікарських засобів залишається актуальною. Тому зараз все частіше початковим етапом пошуку фармакологічно активних речовин стає використання доекспериментальних методів *in silico*. У статті досліджено ефективність деяких біологічно активних речовин родини *Ranunculaceae*. Проведено віртуальний скринінг, який показав перспективи використаних біологічно активних речовин для подальшого використання у фармації та медицині. За допомогою програм прогнозування отримано біологічну активність, основні та побічні фармакологічні ефекти, механізми дії, канцерогенність та ін. Встановлено доцільність подальшого дослідження обраних біологічно активних речовин.

**Ключові слова:** *Ranunculaceae*, біологічно активні речовини, лікоподібні характеристики, параметри «Ліпінського», «правила п'яти», комп'ютерний скринінг.

**Постановка проблеми.** Постійно підвищується попит на лікарські засоби, а особливо, якщо вони виготовленні на основі рослинних субстанцій [4;14].

У наш час у традиційній фітотерапії широко використовується рослинна сировина. Відомо, що засоби рослинного походження в арсеналі лікарських засобів, які застосовують сучасною медициною, завдячуючи своїм корисним і цілющим властивостям, становлять четверту частину [9; 10]. Доцільно розглянути лікарські рослини родини Жовтецевих (*Ranunculaceae*) як перспективне джерело для отримання різних фармацевтичних інгредієнтів. У хімічному складі більшості таксонів родини *Ranunculaceae* є алкалоїди, глікозиди, що зумовлюють отруйність багатьох видів; надзвичайно отруйними є алкалоїди видів роду *Aconitum*. Проте у медицині використовують препарати з лікарських рослин роду *Adonis*, *Helleborus*, *Pulsatilla* тощо [5]. Родина *Ranunculaceae* становить потенційний інтерес для досліджень і вивчення з метою пошуку нових лікарських рослин як потенційних джерел біологічно активних речовин.

Нині все частіше початковим етапом пошуку біологічно активних речовин стає використання доекспериментальних методів *in silico*, зокрема,

віртуального скринінгу [2]. Ефективними методами прогнозованого скринінгу є використання “drug-like” характеристик та прогнозування біологічно активних сполук з використанням комп'ютерної програми PASS [2; 22].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

*Ranunculaceae* – родина квіткових рослин. Вона складається з 50–65 родів та близько 1500–2500 видів, здебільшого трав'яних рослин. На теренах України зростає 152 види рослин цієї родини, котрі належать до 25 родів. До Червоної книги України занесено 18 видів родин цієї родини. Вони належать до родів *Pulsatilla*, *Aquilegia*, *Delphinium*, *Aconitum* та інших [5].

Горицвіт весняний (*Adonis vernalis*) – отруйна багаторічна рослина. Використовується як лікарська рослина, що містить такі біологічно активні речовини: серцеві глікозиди, головними з яких є адонітоксин, цимарин, К-строфантин-β, ацетиладонітоксин, адонітоксол та вернадигін; геніни (β-строфантин, строфадогенін, ацетиластрофадогенін та інші), флавоноїди (адоніверніт, вітексин, гомоадоніверніт, фітостерин, спирт адоніт тощо). Офіційна медицина широко використовує як безпосередньо галенові препарати (Кардіовален, мікстура Бехтерева), так і фармакопейні в комбінації з препаратами брому

(бромід калію, бромід натрію, Адоніс-бром) та інше [3].

Аконіт міцний (*Aconitum firmum*) – трав'яниста рослина роду аконіт (*Aconitum*). Містить 0,9–1,25% алкалоїдів, зокрема аконітин та псевдоаконітин [1]. Рослина входить до складу препаратів Алапинін та Акофїт, які виявляють сильну протиаритмічну дію.

Сокирки польові (*Consolida regalis*) – вид квіткових рослин родини *Ranunculaceae*. Як рослинну сировину використовують надземну частину рослини та насіння, що містять алкалоїди, флавоноїди, глікозид дельфінін, аконітову кислоту, жирну олію [15]. Настій із трави входить до складу препарату Делацет. В Україні *Consolida regalis* входить до складу трав'яних зборів та біологічно активних добавок.

Сон білий (*Pulsatilla alba*) – рослина родини *Ranunculaceae*. У листі *Pulsatilla alba* містяться анемонова кислота, ефірні олії, сапоніни, смоли, алкалоїди, дубильні речовини, вітаміни, мікро- та макролементи [16]. Серед іноземних препаратів, що мають у своєму складі *Pulsatilla*, поширені такі як: *Clip sprah pesa* та *Pulsatilla compositum*, а також *Pulsatilla* використовується у вигляді біодобавок. В Україні препаратів, що мають у своєму складі *Pulsatilla*, немає.

Чорнушка дамаська (*Nigella damascena*) – вид квіткових рослин родини *Ranunculaceae*, що містить такі речовини: стероїди (ситостерин, стигмастерин, холестерин, кампестерин, а-спінастерин), 0,5–1,5% ефірну олію, алкалоїди (нігелін та інші), кумарини, тритерпенові сапоніни, фермент ліпазу, тимохінон. Окрім цього, містить 31–44% жирної олії, яка складається з 37,5% лінолевої, 48,8% олеїнової, ейкозадієнової, міристинової, стеаринової, пальмітинової, ліноленової та петрозелінової кислот [9; 17]. Рослина є складником багатьох препаратів та косметологічних засобів.

Чемерник (*Helleborus*) – рід багаторічних трав'янистих рослин родини *Ranunculaceae*. У кореневищах рослини *Helleborus* містяться алкалоїди та глікозиди, що використовуються в медицині як кардіотонічний засіб [11]. В Україні рослину *Helleborus* використовують як біологічно активну добавку. На фармацевтичному ринку доступні й іноземні препарати: Вірогон 25, Фітофлуревіт № 25, гель-бальзам Морозник (Росія), Лейкоцетин та Корельборин (Болгарія).

Орлики звичайні (*Aquilegia vulgaris*) – вид квіткових рослин родини *Ranunculaceae* [13]. Трава орликів звичайних містить алкалоїди

(0,008–0,054%), ціаногенні сполуки й аскорбінову кислоту (у свіжому листі) [10]. В Україні *Aquilegia vulgaris* використовується як біологічно активна добавка. Серед іноземних фармацевтичних препаратів найбільш поширеними є *Ovarium compositum* та *Hormeel SM* (Німеччина). У ветеринарії поширений препарат Оваріовіт Хелвет (Росія).

У попередніх роботах [6; 7; 8] уже було описано важливість вивчення рослин родини *Ranunculaceae*. У фітохімічному та біотехнологічному напрямі ще не дуже добре досліджений якісний та кількісний склад *Ranunculaceae*. Прикладом цього може бути відкриття перехідного класу сполук флавоноїд-алкалоїди (комплексна сполука флавону з діазепіном) аквіледин та ізоаквіледин у 2001 році [19].

Автори Shao-Xing Dai, Wen-Xing Li описують сприятливу роль рослин родини *Ranunculaceae* у напрямі розробки та створення нових онкологічних препаратів. За допомогою *in silico* вчені передбачили можливі протиракові рослини, що, своєю чергою, забезпечило альтернативний ресурс для виявлення нових натуральних сполук. Також було виявлено, що натуральні сполуки мають менше побічних ефектів, ніж синтетичні [23].

**Постановка завдання.** Метою роботи є оцінка ймовірного біологічного потенціалу біологічно активних речовин, що є у складі рослин родини *Ranunculaceae*, за допомогою новітніх *in silico* ресурсів та визначення експериментальних напрямів дослідження їх фармакологічної активності.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

За допомогою оцінки К. Ліпінського, який сформулював емпіричні правила п'яти (правила Ліпінського), можемо протестувати сполуки за відповідними критеріями та дізнатись, чи є відповідні сполуки ефективними кандидатами. Критерії, яким має відповідати сполука-кандидат:

1. Молекулярна маса – не більше 500;
2. Коефіцієнт розподілу в системі 1-октанол/вода (log P) – не більше 5;
3. Кількість нетермінальних зв'язків, що обертаються (Rot B) – не більше 10;
4. Кількість донорів водневого зв'язку (Hd) – не більше 5;
5. Кількість акцепторів водневого зв'язку (HA) – не більше 10.

Часто, крім наведених вище критеріїв, враховують логарифм розчинності у воді (г/мл) за pH=7,4 (log Sw, не менше 5), кількість ароматичних кілець (не більше 4), а також частку речовини, яка проникає зі шлунково-кишкового тракту в

## Результати прогнозу величин активності досліджуваних сполук

| № | Дослідна сполука                            | $P_a$ | Активність                                 |
|---|---------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|
| 1 | Адонітоксин<br>( <i>Adonis vernalis</i> )   | 0,907 | Антинеопластичний                          |
|   |                                             | 0,888 | Дихальний аналептик                        |
|   |                                             | 0,835 | Лікування деменції                         |
|   |                                             | 0,827 | Поліферативні захворювання                 |
|   |                                             | 0,824 | Судинна деменція                           |
|   |                                             | 0,812 | Кардіотонічний                             |
|   |                                             | 0,800 | Загальний анастетик                        |
|   |                                             | 0,775 | Гепатопротектор                            |
|   |                                             | 0,776 | Аналептик                                  |
|   |                                             | 0,742 | Антинеопластичний (рак легень)             |
|   |                                             | 0,731 | Антипротозойний (лейшманія)                |
|   |                                             | 0,732 | Імунодепресанти                            |
| 2 | Цимарин<br>( <i>Adonis vernalis</i> )       | 0,968 | Кардіотонічний                             |
|   |                                             | 0,922 | Загальний анастетик                        |
|   |                                             | 0,918 | Антинеопластичний                          |
|   |                                             | 0,910 | Хіміопрепарат                              |
|   |                                             | 0,882 | Поліферативні захворювання                 |
|   |                                             | 0,782 | Антинеопластичний (рак легень)             |
|   |                                             | 0,780 | Антинеопластичний<br>(рак молочної залози) |
|   |                                             | 0,742 | Імунодепресант                             |
| 3 | Аконітин<br>( <i>Aconitum firmum</i> )      | 0,994 | Анастетик                                  |
|   |                                             | 0,991 | Місцевий анастетик                         |
|   |                                             | 0,963 | Анальгетик                                 |
|   |                                             | 0,919 | Жарознижуючий                              |
|   |                                             | 0,878 | Радіопротектор                             |
|   |                                             | 0,736 | Протизапальний                             |
| 4 | Лікоктонін<br>( <i>Consolida regalis</i> )  | 0,981 | Анастетик                                  |
|   |                                             | 0,960 | Місцевий анастетик                         |
|   |                                             | 0,864 | Анальгетик                                 |
| 5 | Дельфінін<br>( <i>Consolida regalis</i> )   | 0,996 | Анастетик                                  |
|   |                                             | 0,993 | Місцевий анастетик                         |
|   |                                             | 0,989 | Жарознижуючий                              |
|   |                                             | 0,954 | Анальгетик                                 |
|   |                                             | 0,811 | Радіопротектор                             |
|   |                                             | 0,780 | Імуносупресант                             |
|   |                                             | 0,758 | Протизапальний                             |
| 6 | Протоанемонін<br>( <i>Pulsatilla alba</i> ) | 0,931 | Спазмолітичний (урино)                     |
|   |                                             | 0,892 | Лікування фобічних розладів                |
|   |                                             | 0,871 | Серцево-судинний аналептик                 |
|   |                                             | 0,820 | Антисеборгійний                            |
|   |                                             | 0,768 | Стимулятор функцій нирок                   |
|   |                                             | 0,750 | Протизапальний                             |
|   |                                             | 0,727 | Мукоембранозний протектор                  |
| 7 | Анемонін<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )      | 0,910 | Протизапальний                             |
|   |                                             | 0,842 | Спазмолітичний (урино)                     |
|   |                                             | 0,825 | Лікування фобічних розладів                |
|   |                                             | 0,761 | Серцево-судинний аналептик                 |
|   |                                             | 0,719 | Антидікінетичний                           |
|   |                                             | 0,710 | Антитоксичний                              |
|   |                                             | 0,701 | Стимулятор функцій нирок                   |

|    |                                                                         |       |                                        |
|----|-------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| 8  | Ранункулін<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )                                | 0,914 | Вазопротектор                          |
|    |                                                                         | 0,873 | Осмотичний діуретик                    |
|    |                                                                         | 0,849 | Антипротозойний (лейшманія)            |
|    |                                                                         | 0,849 | Антинеопластичний                      |
|    |                                                                         | 0,845 | Антигіперхолестериновий                |
|    |                                                                         | 0,843 | Радіопротектор                         |
|    |                                                                         | 0,824 | Гепатопротектор                        |
|    |                                                                         | 0,808 | Антикарценогенний                      |
|    |                                                                         | 0,807 | Імуностимулятор                        |
|    |                                                                         | 0,796 | Цитостатик                             |
|    |                                                                         | 0,796 | Дихальний аналептик                    |
|    |                                                                         | 0,786 | Антигіпоксичний                        |
|    |                                                                         | 0,772 | Противірусний (грип)                   |
|    |                                                                         | 0,771 | Імунодепресант                         |
|    |                                                                         | 0,755 | Антитоксичний                          |
|    |                                                                         | 0,745 | Протигрибковий                         |
|    |                                                                         | 0,723 | Аналептик                              |
|    |                                                                         | 0,722 | Ліпотропний                            |
|    |                                                                         | 0,708 | Хіміопрепарат                          |
| 9  | Гедерагенін<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )                               | 0,813 | Антинеопластичний                      |
|    |                                                                         | 0,784 | Гепатопротектор                        |
| 10 | Гедерагенін<br>3- $\beta$ -глюкопіранозид<br>( <i>Pulsatilla alba</i> ) | 0,758 | Гепатопротектор                        |
| 11 | Патензин<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )                                  | 0,972 | Гепатопротектор                        |
|    |                                                                         | 0,809 | Антинеопластичний                      |
|    |                                                                         | 0,796 | Імуностимулятор                        |
|    |                                                                         | 0,761 | Імуносупресант                         |
|    |                                                                         | 0,724 | Лікування печінкових розладів          |
| 12 | 2,3-гідроксибетулінова кислота<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )            | 0,705 | Хіміопрепарат                          |
|    |                                                                         | 0,843 | Антинеопластичний                      |
|    |                                                                         | 0,785 | Гепатопротектор                        |
| 13 | Пузатилова кислота<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )                        | 0,710 | Гіполіпемічний                         |
| 14 | Пузатиллозид А<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )                            | 0,851 | Антинеопластичний                      |
| 15 | Пузатиллозид В<br>( <i>Pulsatilla alba</i> )                            | 0,721 | Пептидний антагоніст                   |
|    |                                                                         | 0,898 | Гепатопротектор                        |
|    |                                                                         | 0,777 | Антинеопластичний                      |
| 16 | Дамасценин<br>( <i>Nigella damascena</i> )                              | 0,706 | Лікування печінкових розладів          |
|    |                                                                         | 0,833 | Лікування фобічних розладів            |
|    |                                                                         | 0,761 | Загальний анестетик                    |
| 17 | Корельборин<br>( <i>Helleborus purpurascens</i> )                       | 0,742 | Жарознижуючий                          |
|    |                                                                         | 0,952 | Дихальний аналептик                    |
|    |                                                                         | 0,867 | Кардіотонічний                         |
|    |                                                                         | 0,834 | Аналептик                              |
|    |                                                                         | 0,828 | Протигрибковий                         |
|    |                                                                         | 0,823 | Хіміопрепарат                          |
|    |                                                                         | 0,818 | Антинеопластичний                      |
| 18 | Геллебрагенін<br>( <i>Helleborus purpurascens</i> )                     | 0,770 | Гепатопротектор                        |
|    |                                                                         | 0,982 | Кардіотонічний                         |
|    |                                                                         | 0,899 | Аналептик дихальних шляхів             |
|    |                                                                         | 0,854 | Антинеопластичний                      |
|    |                                                                         | 0,789 | Аналептик                              |
|    |                                                                         | 0,763 | Антинеопластичний (рак легенів)        |
|    |                                                                         | 0,663 | Хіміореактивний                        |
| 19 | Аквіледин<br>( <i>Aquilegia vulgaris</i> )                              | 0,603 | Антинеопластичний (рак прямої кишки)   |
|    |                                                                         | 0,600 | Антинеопластичний (колоректальний рак) |
|    |                                                                         | 0,701 | Антинеопластичний                      |
|    |                                                                         | 0,579 | Лікування раку передміхурової залози   |

Критерії «лікоподібності» досліджуваних біологічно активних речовин

| №  | Назва сполуки                    | Log P | Молекулярна полярна поверхня, Å <sup>2</sup> | Кількість водневих атомів | Молекулярна маса | Кількість акцепторів водневого зв'язку (атоми O та N) | Кількість донорів водневого зв'язку (групи NH та OH) | Кількість зв'язків, що обертаються | Молекулярний об'єм, Å <sup>3</sup> |
|----|----------------------------------|-------|----------------------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1  | Адонітоксин                      | 0,79  | 139,84                                       | 33                        | 470,60           | 8                                                     | 6                                                    | 3                                  | 443,43                             |
| 2  | Цимарин                          | 0,97  | 134,92                                       | 39                        | 550,69           | 9                                                     | 4                                                    | 5                                  | 513,93                             |
| 3  | Аконітин                         | 2,96  | 133,24                                       | 43                        | 603,71           | 11                                                    | 2                                                    | 11                                 | 551,69                             |
| 4  | Лікоктонін                       | 0,68  | 100,86                                       | 33                        | 467,60           | 8                                                     | 3                                                    | 6                                  | 438,24                             |
| 5  | Дельфінін                        | 3,44  | 113,01                                       | 43                        | 599,72           | 10                                                    | 1                                                    | 10                                 | 549,31                             |
| 6  | Протоанемонін                    | 0,54  | 30,21                                        | 7                         | 96,08            | 2                                                     | 0                                                    | 0                                  | 84,91                              |
| 7  | Анемонін                         | 1,32  | 52,61                                        | 14                        | 192,17           | 4                                                     | 0                                                    | 0                                  | 157,49                             |
| 8  | Ранункулін                       | -1,80 | 125,69                                       | 19                        | 276,24           | 8                                                     | 4                                                    | 4                                  | 230,95                             |
| 9  | Гедерагенін                      | 5,55  | 77,75                                        | 34                        | 472,71           | 4                                                     | 3                                                    | 2                                  | 479,40                             |
| 10 | Гедерагенін 3-о-β-глюкопіранозид | 3,54  | 184,97                                       | 47                        | 664,88           | 10                                                    | 7                                                    | 10                                 | 640,35                             |
| 11 | Патензин                         | 1,52  | 273,36                                       | 58                        | 828,99           | 16                                                    | 10                                                   | 13                                 | 764,66                             |
| 12 | 2,3-гідрокси-бетулінова кислота  | 5,87  | 77,75                                        | 34                        | 472,71           | 4                                                     | 3                                                    | 3                                  | 480,30                             |
| 13 | Пузатилова кислота               | 5,68  | 74,60                                        | 34                        | 470,69           | 4                                                     | 2                                                    | 3                                  | 474,44                             |
| 14 | Пузатиллозид А                   | 3,70  | 155,51                                       | 43                        | 604,83           | 8                                                     | 6                                                    | 8                                  | 590,62                             |
| 15 | Пузатиллозид В                   | 1,30  | 292,19                                       | 58                        | 828,99           | 16                                                    | 11                                                   | 17                                 | 768,61                             |
| 16 | Дамасценін                       | 2,11  | 47,57                                        | 14                        | 195,22           | 4                                                     | 1                                                    | 4                                  | 183,08                             |
| 17 | Корельборин                      | -1,30 | 283,34                                       | 53                        | 756,79           | 17                                                    | 9                                                    | 12                                 | 662,37                             |
| 18 | Геллебрагенін                    | 1,94  | 107,97                                       | 30                        | 416,51           | 6                                                     | 3                                                    | 2                                  | 385,37                             |
| 19 | Аквіледін                        | -1,53 | 107,89                                       | 27                        | 370,40           | 7                                                     | 4                                                    | 2                                  | 328,66                             |

кровообіг внаслідок пасивної дифузії і без врахування метаболічної градації (FA, не менше 75%) [12; 20]. За допомогою використання таких критеріїв майже 20% змодельованих віртуальних структур відбраковуються як неперспективні для розробки ліків [18]. “Drug-like” характеризує структуру сполуки та її властивості, наприклад: адсорбція, розподіл, метаболізм, виділення і токсичність [2; 20]. Щоб провести оцінку речовин було використано програму PASS [22] та інструмент Molinspiration Cheminformatics server [21].

Програма PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) передбачає понад 3500 видів біологічної активності, включаючи фармакологічні ефекти, механізми дії, токсичні та несприятливі ефекти, взаємодія з метаболічними ферментами та транспортними засобами, вплив на експресію генів та ін. Прогнозування базується на аналізі

структурних зв'язків активності більш ніж 250 000 біологічно активних речовин, включаючи ліки, кандидати на лікарські засоби, свинець та токсичні сполуки. Середня точність прогнозу, оцінена в процедурі крос-валідації, становить близько 95% [22].

Для оцінки відібрано активності, актуальні у разі зовнішнього застосування з показником  $P_a$  більше ніж 0,3 (таблиця 1).

Отже, в результаті проведеного прогнозування за програмою PASS встановлено, що:

– біологічно активні речовини: адонітоксин, цимарин, ранункулін, гедерагенін, 2,3-гідрокси-бетулінова кислота, пузатилова кислота, корельборин, геллебрагенін, аквіледін проявили високу антинеопластичну активність;

– біологічно активні речовини: аконітин, лікоктонін, дельфінін, дамасценін проявили анестетичну активність;

– біологічно активні речовини: протоанемонін та анемонін проявили спазмолітичну активність;

біологічно активні речовини: гедерагенін 3- $\alpha$ - $\beta$ -глюкопіранозид, патензин, пузатиллозид А, пузатиллозид В проявили гепатопротекторну активність.

Розрахунок критеріїв Ліпінського проведено за допомогою програми Molinspiration [21]. Завдяки розрахунку “drug-like” (лікоподібності) перевіряємо досліджувані сполуки на належну метаболічну і хімічну стабільність, біодоступність, токсичний ефект та інше. Отримані результати наведено у таблиці 2.

Біологічно активні речовини лікоктонін, протоанемонін, анемонін, ранункулін, дамасценін, геллебрагенін та аквіледин відповідають правилам Ліпінського, а тому їх можна використовувати як готові сполуки-кандидати для створення лікарських та косметичних засобів. Хоча решта досліджуваних біологічно активних речовин не відповідають цим правилам, все ж вони є актуальними для дослідження, бо таке конструювання ліків пригнічує серендипність у відкритті лікарських препаратів.

Одержані результати за допомогою програми PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances)

та інструменту Molinspiration Cheminformatics server свідчать про доцільність подальшого вивчення біологічно активних сполук родини *Ranunculaceae* та створення на їх основі нових лікарських та косметичних засобів.

#### Висновки.

Спрогнозовано величини активності досліджуваних біологічно активних сполук лікарських рослин родини *Ranunculaceae*. Досліджувані біологічно активні речовини показали високу антинеопластичну, анестетичну, спазмолітичну та гепатопротекторну активність.

Розраховано набір важливих молекулярних дескрипторів, у результаті розрахунку отримано сполуки (лікоктонін, протоанемонін, анемонін, ранункулін, дамасценін, геллебрагенін та аквіледин), які не мають жодних відхилень від «правил Ліпінського» та вимагають більш детальних досліджень.

Одержані дані свідчать про доцільність подальшого фітохімічного та фармакологічного вивчення біологічно активних сполук лікарських рослин родини *Ranunculaceae* з перспективою створення на їх основі нових лікарських та косметичних засобів.

#### Список літератури:

1. Аконіт міцний // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Аконіт\\_міцний](https://uk.wikipedia.org/wiki/Аконіт_міцний) (дата звернення: 15.11.2018).
2. Василюк С.В., Лубенець В.И., Бичко Ю.И., Новіков В.П. ХГС. 2008. №1. С. 132–133.
3. Горицвіт весняний // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Горицвіт\\_весняний](https://uk.wikipedia.org/wiki/Горицвіт_весняний) (дата звернення: 15.11.2018).
4. Гудзенко А.В. Реалізація сучасних підходів до стандартизації полікомпонентних фітопрепаратів / А.В. Гудзенко, О.О. Цуркан, Т.В. Ковальчук. Фармакол. та лік. токсикол. 2012. Т. 30, № 5. С. 99–106
5. Жовтецеві (*Ranunculaceae*) // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/жовтецеві> (дата звернення: 15.11.2018).
6. Колб Ю.І., Гриців С.В., Хропот О.С., Конечна Р.Т., Петріна Р.О., Новіков В.П. Перспективи використання калусної біомаси *Pulsatilla alba* у фармації. Ліки – людині. Сучасні проблеми фармакотерапії і призначення лікарських засобів. Т. 2. Харків, НФаУ. 2017. С. 165–166.
7. Колб Ю.І., Гриців С.В., Конечна Р.Т., Новіков В.П. Перспектива створення фітозасобу курареподібної дії з сировиною *Delphinium elatum*. Сучасні досягнення фармацевтичної технології та біотехнології. Харків. 2016. С. 167–169.
8. Колб Ю., Гриців С., Серивко Б., Конечна Р., Петріна Р. Одержання біомаси рідкісних видів *Ranunculaceae* за допомогою біотехнологічного методу. Молодь і поступ біології. Збірник тез. Львів. 2017. С. 103–104.
9. Лікарські рослини. Лікування захворювань народними методами. Каталог лікарських рослин. URL: <https://zillya.in.ua/chornushka-posivna-chornij-kmin-likuvalni-vlastivosti-ta-recepti/> (дата звернення: 13.11.2018).
10. Лікарські рослини, фітотерапія, лікування травами. Каталог лікарських рослин. URL: <http://fitoapteka.org/herbs-o/2848-2010-11-18-08-17-21> (дата звернення: 14.11.2018).
11. Морозник // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Морозник> (дата звернення: 15.11.2018).
12. Обушак М.Д., Матійчук В.С. Вступ до медичної хімії. С. 1–8. URL:
13. URL: [dl.franko.lviv.ua/lessons/files/medicinal\\_chemistry.pdf](http://dl.franko.lviv.ua/lessons/files/medicinal_chemistry.pdf) (дата звернення: 10.11.2018).
14. Орлики звичайні // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Орлики\\_звичайні](https://uk.wikipedia.org/wiki/Орлики_звичайні) (дата звернення: 15.11.2018).

15. Скибіцька С. Лікарські рослини українських Карпат. Праці НТШ. Т.12. Екол. збірник: Екологічні проблеми Карпатського регіону. Львів: НТШ, 2003. С. 314–321.
16. Сокирки польові // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сокирки\\_Польові](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сокирки_Польові) (дата звернення: 15.11.2018).
17. Сон білий // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сон\\_білий](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сон_білий) (дата звернення: 15.11.2018).
18. Чорнушка дамаська // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Чорнушка\\_дамаська](https://uk.wikipedia.org/wiki/Чорнушка_дамаська) (дата звернення: 15.11.2018).
19. Ярмолук С. Чи існує в Україні раціональний дизайн – новітня технологія розробки ліків? Український науковий портал. 2012. URL: <http://labprice.ua/statti/chi-isnuye-v-ukrayini-ratsionalniy-dizayn-novitnya-tehnologiya-rozrobki-likiv/> (дата звернення: 10.11.2018).
20. Chen S. B., Gao G. Y., Leung H. W. et al. Aquileidine and iso-aquileidine, novel flavonoid alkaloids from *Aquilegia ecalcarata*. J. Nat. Prod. 2001. V. 64, N 1. P. 85–87.
21. Kerns E.H. Drug-like properties: concepts, structure design and methods: from ADME to toxicity optimization / E.H. Kerns, L. Di. ELSEVIER, 2008. 526 p. 31. C.A. Lipinski, F. Lombardo, B.W. Dominy, et al. Adv. Drug Delivery Rev. 1997. № 23. P. 3–25.
22. Molinspiration Cheminformatics. URL: <http://www.molinspiration.com/cgi-bin/properties>
23. PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances). URL: <http://www.way2drug.com/PASSOnline/info.php>
24. Shao-Xing Dai, Wen-Xing Li, Fei-Fei Han, Yi-Cheng Guo, Jun-Juan Zheng, Jia-Qian Liu, Qian Wang, Yue-Dong Gao, Gong-Hua Li, Jing-Fei Huang. In silico identification of anti-cancer compounds and plants from traditional Chinese medicine database. Scientific Reports, volume 6, Article number: 25462. 2016. URL: <https://www.nature.com/articles/srep25462> (дата звернення 11.11.2018).

#### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И “DRUG-LIKE” СОЕДИНЕНИЙ СЕМЬИ RANUNCULACEAE КАК ПОИСК НОВЫХ ЭФФЕКТИВНО ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

*Несмотря на огромный арсенал имеющихся лекарств, проблема поиска новых высокоэффективных лекарственных средств остается актуальной. Поэтому сейчас все чаще начальным этапом поиска фармакологически активных веществ становится использование доэкспериментальных методов in silico. В статье исследована эффективность некоторых биологически активных веществ семьи Ranunculaceae. Проведен виртуальный скрининг, который показал перспективы использованных биологически активных веществ для дальнейшего применения в фармации и медицине. С помощью программ прогнозирования получены биологическая активность, основные и побочные фармакологические эффекты, механизмы действия, канцерогенность и др. Установлена целесообразность дальнейшего исследования избранных биологически активных веществ.*

**Ключевые слова:** *Ranunculaceae*, биологически активные вещества, лекарствовподобные характеристики, параметры «Липинского», «правила пяти», компьютерный скрининг.

#### **PROGNOSIS OF BIOLOGICAL ACTIVITY AND DRUG-LIKE COMPLEX OF THE RANUNCULACEAE FAMILY AS A SEARCH FOR NEW EFFECTIVE ACTIVE SUBSTANCES**

*Despite the huge arsenal of available drugs, the problem of finding new high-performance medicines remains relevant. Therefore, nowadays increasingly the initial stage of the search for pharmacologically active substances is becoming the use of experimental methods in silico. The article investigates the effectiveness of some biologically active substances of the family Ranunculaceae. A virtual screening was conducted that showed the prospects of used biologically active substances for further use in pharmacy and medicine. With the help of prognostication programs, biological activity, main and secondary pharmacological effects, mechanisms of action, carcinogenicity, and others have been obtained. The expediency of further investigation of selected biologically active substances has been established.*

**Key words:** *Ranunculaceae*, biologically active substances, peptic characteristics, Lipinsky parameters, “five rules”, computer screening.

**Рымар Т.Э.**

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА ГАЗООБРАЗУЮЩЕГО АГЕНТА

*В статье рассматриваются композиционные пеноматериалы, полученные путем химического вспенивания жидкостекольного связующего, которое омоноличивает зернистый наполнитель также на основе жидкого стекла. Введение зернистого наполнителя в жидкостекольную композицию позволяет снизить усадочные явления, показатели водопоглощения, гигроскопичности, повысить прочностные характеристики пеноматериала, улучшить его макроструктуру. Целью работы является изучение процесса поризации при получении жидкостекольных пеноматериалов путем исследования их макроструктуры и фазового состава, а также кинетики процесса вспенивания в зависимости от вида газообразователя. В ходе проведенных исследований было установлено, что оптимальным газообразователем является алюминиевая пудра. При ее использовании интенсивно проходят процессы перестройки структуры, что способствует образованию равномерной мелкопористой структуры пеноматериала, приводящей к повышению его прочностных характеристик.*

**Ключевые слова:** жидкое стекло, газообразующий агент, вспенивание, поперечный диаметр пор, степень неоднородности структуры.

**Постановка проблемы.** Специфические особенности газонаполненных пластмасс определяют техническую направленность и экономическую эффективность их применения в различных областях промышленности. Благодаря низкой средней плотности, высоким тепло- и звукоизоляционным свойствам, повышенной удельной прочности, а также ряду ценных технологических и эксплуатационных свойств пенопласты не имеют аналогов среди традиционных строительных материалов. Они характеризуются высокой удельной прочностью, значительно высшей, чем у конкурентных изделий. Однако большинству газонаполненных пластмасс свойственны определенные недостатки. Возможность их применения существенно ограничивают пониженные огнестойкость, теплостойкость и температуростойкость (при 200°C и выше) [1].

Указанных недостатков лишены пеноматериалы на основе жидкого стекла, которые могут эксплуатироваться при температуре до 600°C. Последние получают за счет термовспучивания или вспенивания в результате химического взаимодействия жидкого стекла со специальными веществами, вводимыми в сырьевую смесь. Жидкостекольные теплоизоляционные изделия выпускают в виде зернистых теплоизоляционных засыпок, омоноличенных связкой (композиционные) [2, с. 184–192].

В нашей работе рассматриваются композиционные пеноматериалы, полученные путем

химического вспенивания жидкостекольного связующего, которое омоноличивает зернистый наполнитель также на основе жидкого стекла. Введение зернистого наполнителя в жидкостекольную композицию позволяет снизить усадочные явления, показатели водопоглощения, гигроскопичности, повысить прочностные характеристики пеноматериала, улучшить их макроструктуру.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Темой теплоизоляционных материалов занимались такие ученые, как М.Ф. Сухарев, О.Л. Фиговский, П.Г. Кудрявцев, В.А. Лотов и другие. Однако подробного исследования структуры теплоизоляционных материалов на основе жидкого стекла на сегодня не существует.

**Постановка задачи.** Целью работы является изучение процесса поризации при получении жидкостекольных пеноматериалов путем исследования их макроструктуры и фазового состава, а также кинетики процесса вспенивания в зависимости от вида газообразователя.

**Изложение основного материала исследования.** Газообразователь – это вещество, способное производить ячеистую структуру путем вспенивания, когда материал пребывает в жидком состоянии. Эта ячеистая структура помогает уменьшить плотность, таким образом увеличивая тепловую изоляцию при повышении жесткости материала [3].

Газообразователи классифицируют на физические и химические. Химические газообразователи

представляют собой вещества, выделяющие в результате химических реакций газы, а физические – обычно подвергаются обратимому изменению физического состояния, например, испарению [4].

В качестве газообразующих агентов для вспенивания жидкостекольных композиций наиболее часто используются металлические газообразователи, действие которых основано на гетерогенной реакции металла (как правило, амфотерного: Al, Zn, Ti и другие) со щелочным раствором, сопровождающейся выделением водорода. Действие газообразующих агентов химического типа, таких как пероксиды (например,  $H_2O_2$ ), основано на жидкофазной реакции разложения с выделением кислорода. Наилучшим сочетанием свойств обладает алюминий, однако недостатком его является сильная зависимость скорости и объема газовыделения от состояния поверхности частиц и от pH сырьевой смеси. Этого недостатка лишен пероксид водорода (применяется совместно с гетерогенным катализатором, например,  $KMnO_4$ ), что позволяет считать его весьма перспективным газообразователем [5, с. 58–71].

Для исследования макроструктуры пенопластов был использован метод определения средних размеров пор. Метод заключается в подсчете количества пор на определенной геометрической площади среза пенопласта. Путем последующего расчета средней площади, занимаемой одной порой, определяются ее линейные размеры [6].

Влияние газообразующего агента на поперечный диаметр пор и степень неоднородности структуры пеноматериала отражено на Рис. 1.

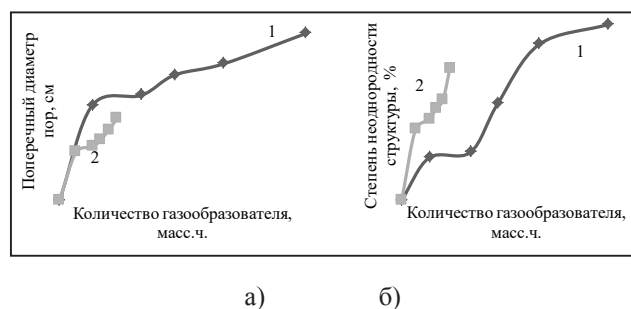


Рис. 1. Влияние газообразующего агента на: а) поперечный диаметр пор; б) степень неоднородности структуры пеноматериала (1 – перекись водорода; 2 – алюминиевая пудра)

Как видно из Рис. 1, с увеличением количества газообразующего агента растет поперечный диаметр пор. Это объясняется тем, что происходит разрыв большого числа пор и их объединение между собой вследствие большого количества выделяющегося газа. Наименьший диаметр пор наблюдается при использовании в качестве газо-

образующего агента алюминиевой пудры в количестве 1 масс. ч. – 0,043 см, а степень неоднородности структуры составляет 7,8%. Наибольший диаметр пор отмечается при использовании в качестве газообразующего агента перекиси водорода в количестве 15 масс. ч. и составляет 0,149 см. Такие материалы имеют неоднородную крупнопористую структуру и, как следствие, низкую прочность.

Для определения оптимальных параметров технологического процесса получения силикатных пеноматериалов и выбора лучшего газообразователя проводится исследование фазового состава блочного теплоизоляционного материала и кинетики процесса вспенивания.

Для характеристики количественного состава дисперсных систем целесообразно использовать объемное содержание фаз, учитывающее присутствие их всех в равной степени. Причем независимо от вида технологического воздействия на систему справедливо равенство, являющееся математическим выражением закона постоянства объемного фазового состава дисперсной системы: независимо от вида дисперсной системы или структуры, вида и величины энергетического воздействия, в любой момент времени сумма объемных долей твердой, жидкой и газообразной фаз системы есть величина постоянная и равна единице:

$$K_{\text{т}} + K_{\text{ж}} + K_{\text{г}} + K_{\text{л}} + \dots + K_{\text{н}} + K_{\text{п}} = 1, \quad (1)$$

где  $K_{\text{т}}$ ,  $K_{\text{ж}}$ ,  $K_{\text{г}}$  – объемная доля твердой, жидкой и газообразной фаз в системе на соответствующей технологической стадии.

На основании указанного закона можем получить параметр ( $n$ ), характеризующий интенсивность процессов структурообразования в динамических системах. Он показывает относительное изменение соотношения объемной концентрации твердой фазы и свободного порового пространства при переходе дисперсной системы из одного состояния в другое под воздействием внешнего энергетического воздействия.

Величину  $n$  можем определить из соотношения:

$$\frac{K_{\text{т}2}}{(1 - K_{\text{т}2})} = \frac{n K_{\text{т}1}}{(1 - K_{\text{т}1})}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{т}1}$ ,  $K_{\text{т}2}$  – объемная доля твердой фазы в начале и в конце поризации.

Если в системе не происходит никаких изменений, то  $n = 1$ . Уменьшение объема системы характеризуется  $n > 1$ , а при ее увеличении (поризация) –  $n < 1$ . Если нормировать изменение параметра  $n$  в пределах  $(0 - 1)$ , то при поризации степень перестройки структуры материала ( $\alpha_n$ ) можем определить по соотношению:

$$\alpha_n = 1 - n_i \quad (3)$$

где  $1/n_i$  – вспененность материала в процессе или в конце воздействия на дисперсную систему;  $1/n_i = V_2/V_1$  ( $V_2$  и  $V_1$  – объем системы в конечном и начальном состояниях,  $m^3$ ).

Из последней зависимости видно, что чем большим значением параметра структурообразования характеризуется переход системы из начального состояния в конечное, тем интенсивнее протекают процессы поризации этой системы и перестройки структуры материала. Такой параметр можем использовать в качестве зависимой переменной в кинетических исследованиях.

Кажущаяся энергия активации процесса вспенивания определяется по формуле:

$$E_{\pi} = \frac{R \cdot (\ln \tau_1 - \ln \tau_2)}{(1/T_1) - (1/T_2)}, \quad (4)$$

где  $E_{\pi}$  – кажущаяся энергия активации, кДж/моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,314$  Дж/(моль·К);

$\tau_1, \tau_2$  – время достижения значения  $\alpha n_i$  при температурах  $T_1$  и  $T_2$ , сек.

Константа скорости реакции процесса вспенивания определяется по формуле:

$$K = - \left( \frac{\ln(1 - \alpha_n) - b}{\ln \tau} \right), \quad c \text{ e } K^{-1}, \quad (5)$$

где  $b$  – постоянный коэффициент, равен 3,5 [7, с. 11–12].

Значение объемной доли твердой и газообразной фаз вспененного блочного материала изображено на Рис. 2.

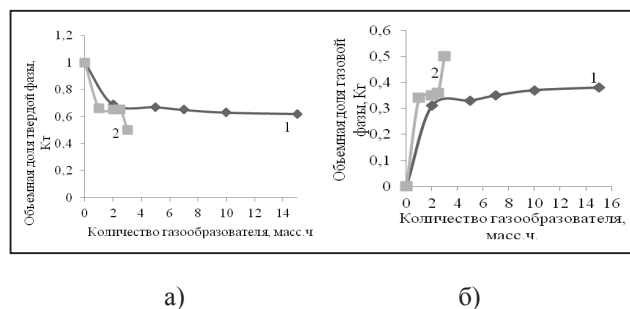


Рис. 2. Влияние газообразующего агента на объемную долю твердой (а) и газовой (б) фаз пеноматериала (1 – перекись водорода; 2 – алюминиевая пудра)

Как видно из данных Рис. 2, зависимость содержания газообразной фазы, то есть пористости ( $K_r$ ), имеет прямо пропорциональный характер: с увеличением количества газообразователя  $K_r$  растет, а объемная доля твердой фазы ( $K_{T2}$ ), наоборот, снижается. Максимальное значение показатель  $K_r$  для алюминиевой пудры имеет при содержании 3 и 3,5 масс. ч. и составляет 0,5 отн. ед.,

для перекиси водорода максимальное значение  $K_r$  при количестве 15 масс. ч. – 0,38 отн. ед., тогда как  $K_r$  уменьшается: минимальное значение составляет 0,5 отн. ед. для алюминиевой пудры и 0,62 отн. ед. для перекиси водорода. Указанное свидетельствует о том, что этот материал имеет достаточно открытых пор, через которые выходит газ при вспенивании. Чем выше объемная концентрация газовой фазы в материале, тем интенсивнее происходит процесс поризации.

Значение параметра структурообразования и степени перестройки структуры пеноматериала изображено на Рис. 3.

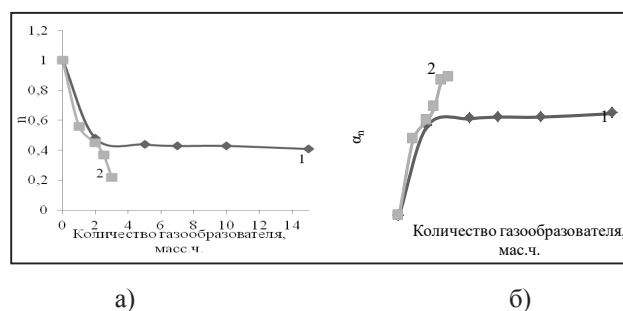


Рис. 3. Влияние газообразующего агента на: а) параметр структурообразования; б) степень перестройки структуры пеноматериала (1 – перекись водорода; 2 – алюминиевая пудра)

Как видно из Рис. 3 (а), чем меньше значение параметра  $n$ , характеризующего интенсивность процессов структурообразования, тем лучше протекают процессы поризации. Наименьшее значение параметра структурообразования у пеноматериалов с алюминиевой пудрой – 0,2, а с перекисью водорода – 0,41 при содержании газообразующего агента 3,5 масс. ч. и 15 масс. ч. соответственно. То есть процесс вспенивания интенсивнее проходит в материалах с алюминиевой пудрой, чем в материалах с перекисью водорода. Из Рис. 3 (б) наблюдаем, что наибольшее значение степени перестройки структуры для материала с применением алюминиевой пудры – 0,8 при количестве газообразующего агента 3,5 масс. ч., а с перекисью водорода – 0,59 при количестве газообразующего агента 15 масс. ч. В случае с алюминиевой пудрой процессы перестройки структуры проходят более интенсивно. Введение такого количества газообразующего агента способствует образованию равномерной мелкопористой структуры пеноматериалов, приводящей к повышению его прочностных характеристик.

Для расчета кинетических данных вспенивания жидкостекольной композиции блоки изготавливались при двух температурах (зимой и летом в помещении):  $+10^{\circ}\text{C}$  и  $+20^{\circ}\text{C}$ . Температура в

процессе вспенивания составила 33°C и 35°C с использованием перекиси водорода и 27°C и 31°C с алюминиевой пудрой. На основании полученных данных строятся график зависимости степени перестройки структуры от продолжительности процесса вспенивания и график в координатах  $\ln(1-\alpha_n) = f(\ln \tau)$ .

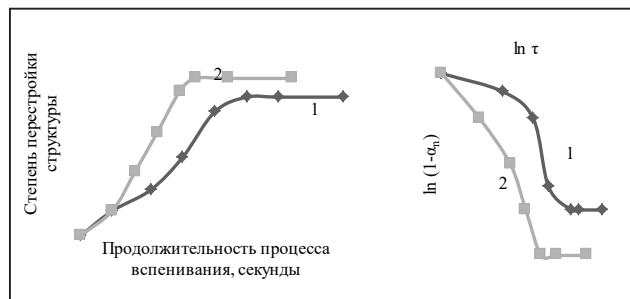


Рис. 4. Зависимости: а) степени перестройки структуры от продолжительности процесса вспенивания с использованием перекиси водорода; б)  $\ln(1-\alpha_n) = f(\ln \tau)$  при разных температурах (1 – при +10°C; 2 – при +20°C)

Параметр степени перестройки структуры  $\alpha_n$  выбирается в точке, в которой достигается постоянное значение объема образца, а значит и степени перестройки структуры. При температуре +10°C  $\alpha_n$  достигает своего постоянного значения 0,505 на 52-ой секунде вспенивания, а при температуре +20°C – на 36-ой секунде, и составляет 0,573. Большим значением параметра степени перестройки структуры обладает материал при вспенивании при температуре +20°C. Можем сделать вывод, что целесообразней процесс проводить при этой температуре, так как интенсивнее происходит разложение газообразователя, коэффициент вспенивания при температуре +20°C в 1,5 раза больше, чем при вспенивании при температуре +10°C, следовательно, показатели плотности меньше и образцы характеризуются более однородной мелкопористой структурой.

С помощью Рис. 4 проводим расчеты кажущейся энергии активации ( $E_n$ ) и константы скорости поризации ( $k$ ).

Так как при +10°C параметр степени перестройки структуры  $\alpha_n$  достигает своего постоянного значения на 52-ой секунде, то первый участок на графике – это участок с 1 по 52 секунду, второй – с 52 по 82 секунду.

Для первого участка:

$$E_n = \frac{8,314 \cdot (\ln 52 - \ln 1)}{(1/306) - (1/308)} = 1095,5 \text{ (КДж/моль)};$$

$$K = - \left( \frac{\ln(1-0,505) - 3,5}{52} \right) = 0,1 \text{ (сек}^{-1}\text{)}.$$

Для второго участка:

$$E_n = \frac{8,314 \cdot (\ln 82 - \ln 52)}{(1/306) - (1/308)} = 126,2 \text{ (КДж/моль)};$$

$$K = - \left( \frac{\ln(1-0,505) - 3,5}{82} \right) = 0,05 \text{ (сек}^{-1}\text{)}.$$

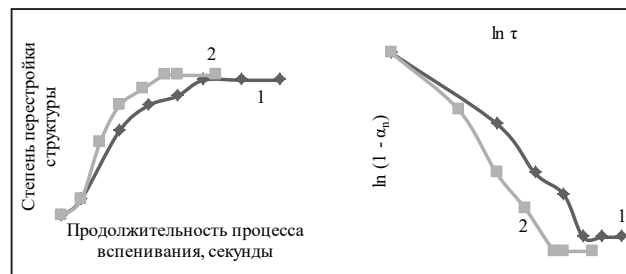


Рис. 5. Зависимости: а) степени перестройки структуры от продолжительности процесса вспенивания с использованием алюминиевой пудры; б)  $\ln(1-\alpha_n) = f(\ln \tau)$  при разных температурах (1 – при +10°C; 2 – при +20°C)

При температуре +10°C  $\alpha_n$  достигает своего постоянного значения 0,756 на 147-й секунде вспенивания. При температуре +20°C  $\alpha_n$  достигает постоянного значения на 107-ой секунде вспенивания и составляет 0,783. Большим значением параметра степени перестройки структуры обладает пеноматериал, который вспенивается при температуре +20°C. Следовательно, процесс лучше проводить при такой температуре.

Далее рассчитываем кажущуюся энергию активации ( $E_n$ ) и константу скорости поризации ( $k$ ).

Так как при +10°C параметр степени перестройки структуры  $\alpha_n$  достигает своего постоянного значения через 147 секунд, то первый участок на графике – это участок с 20 по 147 секунду, второй – со 147 по 227 секунду.

Для первого участка:

$$E_n = \frac{8,314 \cdot (\ln 147 - \ln 1)}{(1/300) - (1/304)} = 942,96 \text{ (КДж/моль)};$$

$$K = - \left( \frac{\ln(1-0,756) - 3,5}{147} \right) = 0,03 \text{ (сек}^{-1}\text{)}.$$

Для второго участка:

$$E_n = \frac{8,314 \cdot (\ln 227 - \ln 147)}{(1/300) - (1/304)} = 82,1 \text{ (КДж/моль)};$$

$$K = - \left( \frac{\ln(1-0,756) - 3,5}{227} \right) = 0,02 \text{ (сек}^{-1}\text{)}.$$

Из расчетов видно, что процесс вспенивания на первом участке происходит более энергично (кажущаяся энергия активации с применением перекиси водорода и алюминиевой пудры составляет соответственно 1095,5 КДж/моль и 942,96 КДж/моль),

так как выделяется большое количество газа, а на втором участке – замедляется (кажущаяся энергия активации с применением перекиси водорода и алюминиевой пудрой составляет соответственно 126,2 КДж/моль и 82,1 КДж/моль) из-за гелеобразования композиции и отверждения пеноматериала.

Из Рис. 4 и 5 видно, что кривые плавные, без скачков, следовательно, процесс характеризуется равномерной поризацией. Показатели кажущейся энергии активации и констант скоростей вспенивания с использованием перекиси водорода выше, чем с алюминиевой пудрой. Это свидетельствует о более энергичном процессе вспенивания, в результате чего возможно оседание вспененной системы, что приводит к повышению плотности таких образцов и разрыву пор. Такие пеноматериалы имеют крупнопористую неоднородную структуру,

приводящую к снижению их прочности. Поэтому производство жидкостекляных теплоизоляционных материалов лучше осуществлять с применением в качестве газообразующего агента алюминиевой пудры, о чем свидетельствуют и показатели пористой структуры пеноматериалов.

**Выводы.** В ходе исследований зависимости макроструктуры и фазового состава пеноматериала от вида и количества газообразующих агентов, а также кинетики процесса вспенивания было определено, что оптимальным газообразующим агентом является алюминиевая пудра в количестве 3 масс. ч. Такие образцы прочные (предел прочности составляет: 0,4 МПа – при изгибе и 0,5 МПа – при сжатии), имеют однородную мелкопористую структуру в сочетании с низкой плотностью, которая составляет 244 кг/м<sup>3</sup>.

#### Список литературы:

1. Вспененные полимеры: классификация, сравнительная характеристика. URL: <http://plastinfo.ru/information/articles/46/> (дата обращения: 12.09.2018).
2. Сухарев М.Ф. Производство теплоизоляционных материалов. Москва, 1981. 342 с.
3. Rose M., Parenti V. Polyurethanes remain the desired material for energy efficiency in appliances. *Appliance DESIGN*, 2015.
4. Производство пеноматериалов. URL: <http://econews.uz/index.php/proizvodstvo-penomaterialov.html> (дата обращения: 14.09.2018).
5. Фиговский О.Л., Кудрявцев П.Г. Жидкое стекло и водные растворы силикатов как перспективная основа технологических процессов получения новых нанокomпозиционных материалов. *Инженерный Вестник Дона*. 2014. № 2. С. 58–71.
6. Пенопласты жесткие полиуретановые и полиизоциануратные. Технические условия. СТБ 1338, 2002.
7. Лотов В.А. Технология материалов на основе силикатных дисперсных систем. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006. 258 с.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА ЗАЛЕЖНО ВІД КІЛЬКОСТІ ГАЗОУТВОРЮВАЛЬНОГО АГЕНТА

*У статті розглядаються композиційні піноматеріали, отримані шляхом хімічного спінювання рідко-скляного сполучника, який омонолічує зернистий наповнювач також на основі рідкого скла. Введення зернистого наповнювача у рідкоскляну суміш дозволяє знизити осадкові явища, показники водопоглинання, гігроскопічність, підвищити характеристики міцності піноматеріалу, поліпшити його макроструктуру. Метою роботи є вивчення процесу поризації для отримання рідкоскляних піноматеріалів шляхом дослідження їхньої макроструктури і фазового складу, а також кінетики процесу спінювання залежно від виду газоутворювача. У результаті дослідження встановлено, що оптимальним газоутворювачем є алюмінієва пудра. За її використання інтенсивно проходять процеси перебудови, які сприяють утворенню рівномірної дрібнопористої структури піноматеріалу, що приводить до підвищення його міцності.*

**Ключові слова:** рідке скло, газоутворювальний агент, спінювання, поперечний діаметр пор, ступінь неоднорідності структури.

#### STUDY OF THE STRUCTURE OF HEAT-INSULATING MATERIALS BASED ON LIQUID GLASS DEPENDING ON THE AMOUNT OF GAS-FORMING AGENT

*In paper are considered composite foam-materials obtained by chemical foaming of the liquid-glass binder, which monoliths the granular filler also on the basis of liquid glass. The introduction of the granular filler into the liquid-glass composition makes it possible to reduce shrinkage, water absorption, hygroscopicity, improve the strength characteristics of the foam material, and improve him macrostructure. The purpose of this work is to study the process of porisation during the preparation of liquid-glass foam-materials, by studying their macrostructure and phase composition, as well as the kinetics of the foaming process, depending on the type blowing agent. In the course of the research it was found that aluminum powder is the optimal blowing agent. When it is used, the structure restructuring processes are intensively carried out, which contributes to the formation of a uniform, finely porous structure of the foam, leading to an increase in its strength characteristics.*

**Key words:** liquid glass, blowing agent, foaming, cross pore diameter, degree of structural heterogeneity.

УДК 628.161.2:546.72

**Твердохліб М.М.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Гомеля М.Д.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД СПЛУК ЗАЛІЗА НА КАТАЛІТИЧНОМУ ФІЛЬТРІ

*Запропоновано комбіновану схему знезалізнення підземних вод за допомогою сорбенту-каталізатору на основі магнетиту та іонообмінної смоли. Змодельовано та досліджено основні параметри процесу фільтрування. Показано, що ефективність окиснення іонів заліза залежить від швидкості фільтрування та утворення каталітичної плівки на поверхні сорбенту у ході роботи фільтру.*

**Ключові слова:** знезалізнення, магнетит, брудомісткість фільтру, швидкість фільтрування.

**Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій.** При великих темпах розширення міст задоволення потреб водопостачання забезпечується в основному за допомогою локальних станцій очищення підземних вод. При цьому актуальною залишається проблема забезпечення населення питною водою нормативної якості з одночасним зменшенням витрат на її підготовку та підвищенням якості очищеної води. Дані проблеми можливо вирішити шляхом впровадження нових технологій очищення природних вод та удосконалення технічних засобів підготовки води, які використовуються для питних потреб.

Зазвичай підземні води містять понаднормативні концентрації сполук заліза, марганцю та сірководню. Найбільш використовуваними при знезалізненні є кілька типів фільтрів, що можуть відрізнятися за конструктивними особливостями, швидкістю фільтрування та видом фільтруючого матеріалу [1, с. 8]. Аналіз традиційних технологій знезалізнення води показує, що найбільш поширеним та простим методом є окислення сполук заліза з подальшим фільтруванням. При цьому фільтрувальне завантаження з каталітичними властивостями прискорює перехід  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  з подальшим затриманням колоїдів  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  та  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  у товщі самого завантаження [2, с. 51]. Як каталітичне завантаження використовують природні матеріали (цеоліт, доломіт, кварцевий пісок, глини), на яких нанесена каталітична плівка зі сполук марганцю. Для отримання стабільних результатів вихідна вода повинна містити концентрацію заліза до  $3 \text{ мг/дм}^3$  та рН на рівні 8-8,5. Недоліками фільтрувальних завантажень

на природній основі є швидке стирання поверхні та необхідність поновлення каталітичної плівки шляхом обробки матеріалу перманганатом калію [3, с. 38].

Високу ефективність при вилученні заліза із води має іонний обмін. Катіоніти, що застосовуються, можуть затримувати не лише розчинне двовалентне залізо, а й солі жорсткості – кальцій та магній [4, с. 69]. Проте застосування іонного обміну для знезалізнення обмежується присутністю трьох валентного заліза, яке швидко забиває пори смоли та погано вимивається. Тому цей метод застосовують в основному для тонкої доочистки при малих концентраціях заліза.

При очищенні води добре себе зарекомендував магнетит, відомий як суміш оксидів заліза II та III [5, с. 265]. Також магнітні сорбенти на основі  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  знайшли широке застосування у хімічному аналізі органічних та неорганічних речовин як сорбенти на стадії пробопідготовки. Результати дослідів представлені у ряді оглядів, присвячених застосуванню магнітних сорбентів для відділення та концентрування сполук з навколишнього середовища [6, с. 1875; 7, с. 7135; 8, с. 200], харчових продуктів та біологічних об'єктів [9, с. 51; 10, с. 91]. Останнім часом часто використовують пінополістерольні фільтри для вилучення сполук заліза та марганцю із води [11 с. 20; 12 с. 41]. На основі аналізу наявних перспективних методів очищення води було запропоновано комбіновану схему знезалізнення та змодельовано її роботу при зміні різних параметрів. Для цього було синтезовано магнітний сорбент для вилучення сполук заліза із води.

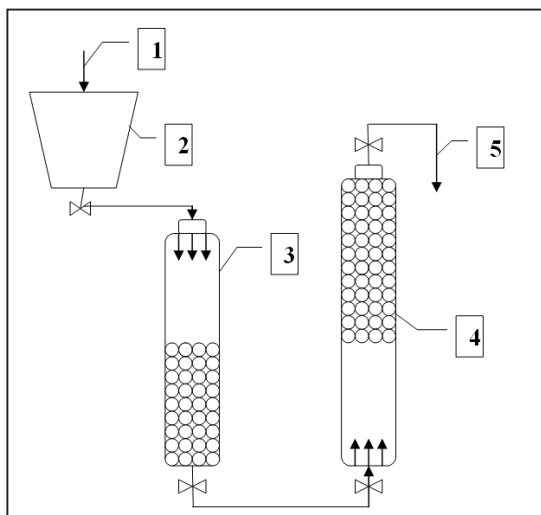


Рис. 1. Двостадійна схема знезалізнювання води  
1 – вихідна вода; 2 – резервуар подачі води;  
3 – фільтр із магнітним сорбентом; 4 – фільтр  
із завантаженням сополімеру стиролу та  
дивінілбензолу; 5 – очищена вода.

**Методи та методики дослідження.** Магнітні полімерні нанокомпозитні сорбенти представлені на основі полімерної матриці, в яку включені наночастки оксидів заліза. Основною метою їх створення є суміщення декількох компонентів з їх особливими властивостями в один матеріал. Було розроблено метод синтезу сорбенту на основі поєднання наночасток магнетиту та полімерної смоли. В якості смоли використовували катіоніт КУ-2-8, що являє собою сополімер стиролу та дивенілбензолу. Для отримання магнетиту у порах та на поверхні катіоніту попередньо проводили сорбцію іонів двовалентного та тривалентного заліза у співвідношенні 1:2. Після чого обробляли іоніт розчином луку у заданому діапазоні рН 9-10. Отриманий таким способом сорбент мав задовільні магнітні та механічні властивості. Для визначення сорбційних властивостей синтезованого сорбенту були проведені аналогічні попереднім дослідження вилучення іонів заліза із модельних розчинів, близьких до складу природної води [13].

З метою подальших досліджень процесу очищення води від сполук заліза була змонтована експериментальна установка, що включає у себе два ступеня очистки води (рис. 1). На першому етапі як каталітичний матеріал було використано катіоніт КУ-2-8, на поверхні якого нанесено наноплівку магнетиту. Для вловлення осаду та доочищення води від залишкових концентрацій заліза на другому етапі використовували сополімер та дивенілбензолу діаметром 1-1,5 мм. Процес знезалізнювання проводився на модельних розчинах, приготованих

на водопровідній воді з початковими концентраціями по іонах заліза на рівні 10 мг/дм<sup>3</sup> з висхідною схемою подачі води. В ході дослідження змінювали витрату розчину 10-60 см<sup>3</sup>/хв для визначення оптимальної швидкості фільтрування, при якій би якість очищеної води відповідала вимогам, представленим до питної води.

Ефективність знезалізнювання води визначали як:

$$E = \frac{C_0 - C_\phi}{C_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

де  $C_0$  і  $C_\phi$  – вміст заліза відповідно у вихідній та фільтрованій воді, мг/дм<sup>3</sup>.

Рівняння матеріального балансу буде виглядати таким чином:

$$V_\phi - \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

де  $C(x,t)$  – концентрація заліза, яка змінює в часі;  $C(x,t)$  – концентрація заліза, яка змінюється по висоті завантаження та часу фільтрування, мг/дм<sup>3</sup>;  $x$  – висота завантаження;  $p$  – щільність осаду у шарі завантаження, що змінюється по висоті та з часом, мг/дм<sup>3</sup>;  $t$  – час фільтрування, год.

Під час експерименту швидкість фільтрування змінювали внаслідок змінюючи витрати води, що подавалася на знезалізнювання, тобто:

$$V_\phi = Q/F, \quad V_\phi = Q/F \quad (3)$$

де  $Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/год;  $F$  – площа поперечного перерізу фільтру з внутрішнім діаметром  $d_\phi = 26$  мм.

Питому брудомісткість фільтру протягом фільтроциклу визначали за формулою:

$$G_n = K_n V_\phi \sum_{t_0}^{T_\phi} (C_0 - C_\phi) T_\phi / 1000, \text{ кг/м}^2 \quad (4)$$

де  $C_0$  і  $C_\phi$  – середній вміст заліза відповідно у вихідній та фільтрованій воді за інтервал часу між сусіднім вимірюванням, мг/м<sup>3</sup>;  $T_\phi$  – тривалість фільтрування води, год;  $K_n$  – перевідний коефіцієнт, що враховує співвідношення молекулярної маси гідроксиду заліза  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  до атомної маси двовалентного заліза

$$K_n = \frac{M[\text{Fe}(\text{OH})_3]}{A\text{Fe}^{2+}} = \frac{107}{56} = 1,91; \quad (5)$$

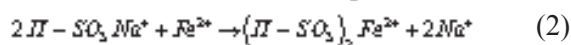
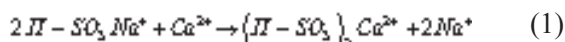
На основі експериментальних даних, отриманих при випробуванні фільтра з каталітичним завантаженням для знезалізнювання води був проведений розрахунок швидкості формування каталітичного (хемосорбційного) шару на поверхні сорбенту. Питому швидкість формування фільтрувального шару для сорбції іонів заліза залежно від швидкості фільтрування води визначали за формулою:

$$V_{\text{формування}} = m_{\text{заліон}} / t_i S_\phi, \text{ мг/хв} \cdot \text{м}^2 \quad (6)$$

де  $m_{\text{заліон}}$  – маса затриманих іонів заліза;  $t_i$  – час фільтрування;  $S_\phi$  – площа фільтра.

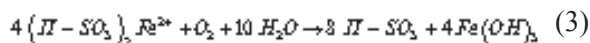
**Виклад основного матеріалу.** Для визначення оптимальної швидкості фільтрування води через фільтр, заряджений каталітичним сорбційним завантаженням на основі іонообмінної смоли та магнетиту, пропускали модельний розчин, близький за складом до природної води. Початкові параметри були такими:  $C_{\text{Fe}}=10 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{pH} = 6,65$ , жорсткість  $= 4,5\text{-}5,5 \text{ мг-екв/дм}^3$ ; лужність  $= 4,45\text{-}5,3 \text{ мг-екв/дм}^3$ .

При фільтруванні розчину заліза (II) через модифікований катіоніт відбувається сорбція іонів заліза на магнетиті, які взаємодіють із сорбованими на магнетиті іонами кисню і частково окислюються до іонів заліза (III). При цьому за рахунок сполук двовалентного та тривалентного заліза відбувається регенерація магнетиту. Таким чином відбувається активована адсорбція іонів заліза. Крім плівки, сформованої на поверхні катіоніту, іони заліза, поряд з іонами кальцію, сорбуються шляхом іонного обміну відповідно до реакції:



де II – залишок сополімеру стиролу та дивенілбензолу.

Після цього сорбовані на катіоніті іони заліза можуть окислюватися та гідролізувати з утворенням шару осаду  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ :



Надалі при взаємодії з гідрокарбонатом натрію катіоніт переходить у  $\text{Na}^+$  форму і може надалі сорбувати іони заліза та кальцію.

Сформований осад пришвидшує процес знезалізнення води. Фільтроцикл буде тривати до підвищення критичного рівня опору у фільтрувальній установці, у зв'язку з накопиченням осаду у товщі фільтру. На швидкість процесу також впливає об'єм каталізатора, крупність зерен, швидкість фільтрування та вміст заліза у вихідній воді. Для оцінки впливу осаду гідроксиду заліза було розраховано питому брудомісткість фільтру, що показує кількість осаду  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  на  $1 \text{ м}^2$  його площі (рис. 1).

З графіку видно, що при збільшенні швидкості фільтрування води збільшується показник брудомісткості фільтру, тобто швидше накопичується осад у шарі фільтрувального завантаження. Для уточнення було розраховано швидкість утворення фільтрувального шару (рис. 2).

Виходячи з отриманих залежностей можемо сказати, що зі збільшенням швидкості фільтрування зменшується швидкість утворення плівки. За швидкості фільтрування 1,5 та 2,25 м/год спостерігається декілька етапів накопичення осаду зі збільшенням швидкості його утворення, а при

швидкостях 4,5 та 9 м/год спостерігається зворотний ефект, при збільшенні шару осаду швидкість його утворення зменшується. Таким чином, навіть при утворенні каталітичної плівки за великих швидкостей фільтрування іони заліза не повністю окислюються та гідролізують, що призводить до зниження ефективності знезалізнення води та підвищення залишкових концентрацій.

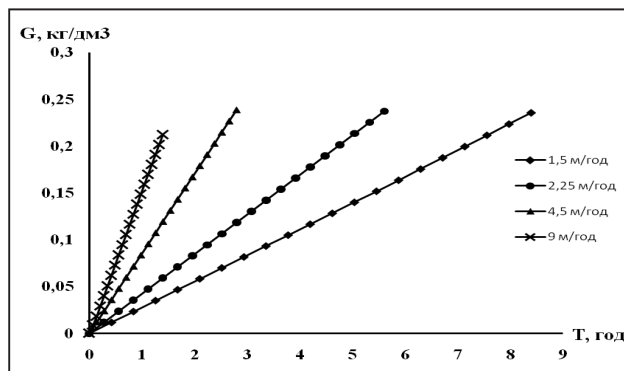


Рис. 1. Залежність питомої брудомісткості фільтру від часу фільтрування при різних швидкостях фільтрування води

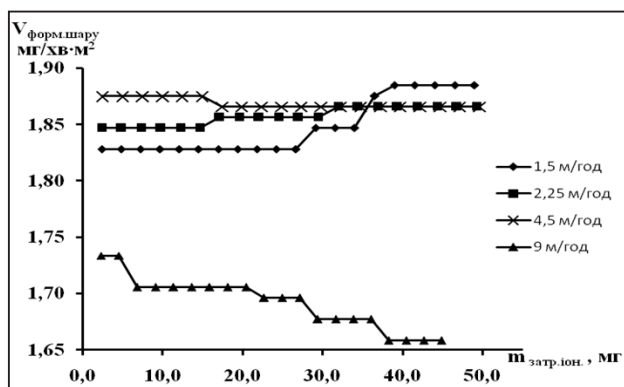


Рис. 2. Залежність швидкості утворення шару осаду від маси затриманих іонів заліза при різних швидкостях фільтрування води

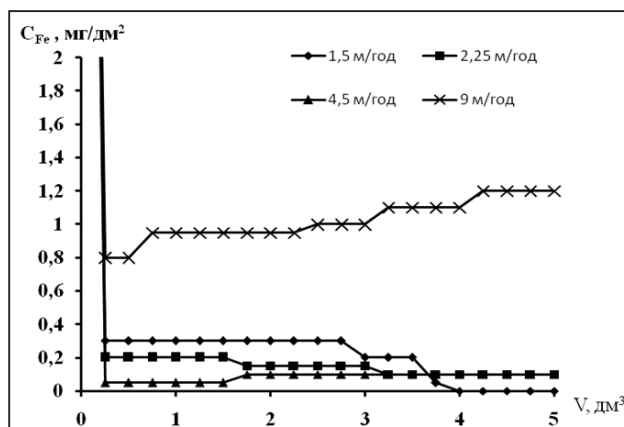


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації загального заліза від об'єму пропущеного розчину при різних швидкостях фільтрування

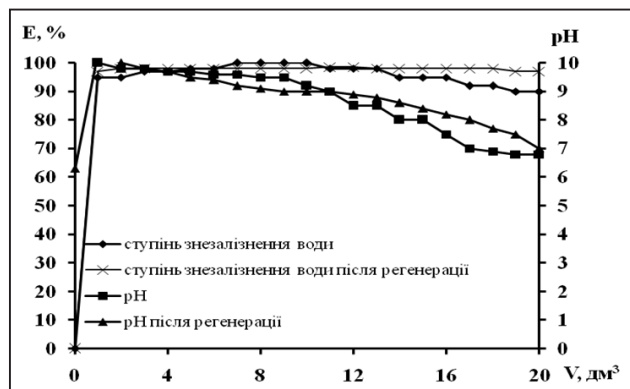


Рис. 4 – Зміна ефективності знезалізнєння води та pH середовища від об'єму пропущеного розчину

Як видно з рис. 3, при швидкостях фільтрування 1,5–4,5 м/год залишкові концентрації по іонах заліза не перевищують 0,3 мг/дм³, проте зі збільшенням швидкості вони різко зростають до 1–1,2 мг/дм³. Очевидно це пов'язано з кінетичними факторами, коли швидкість окиснення заліза нижча за швидкість його знаходження на поверхню сорбенту. Слід зазначити, що зі збільшенням профільтрованого об'єму води при швидкості фільтрування до 4,5 м/год, спершу деякий час залишкові концентрації були вищими, а потім знизилися практично до нуля. Очевидно, що з часом площа каталітичної плівки зростає, що забезпечує підвищення швидкості окиснення заліза.

На утворення каталітичної плівки на поверхні фільтрувального завантаження з шару осаду впливає також pH середовища. Чим вище pH, тим швидше проходить стадія гідролізу окисненого заліза до  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Враховуючи, що в основі фільтрувального завантаження лежить катіоніт у  $\text{Na}^+$  формі, показники pH спочатку фільтрциклу були у межах 9,5–8,5 не залежно від швидкості фільтрування. Обумовлено це тим, що наряду з видаленням сполук заліза із води на іоніті відбувалася сорбція іонів жорсткості, внаслідок

чого жорсткість води змінювалася з 4,5–5,2 до 0,2–0,5 мг-екв/дм³, внаслідок чого у розчин виділяються іони  $\text{Na}^+$  з утворенням  $\text{NaHCO}_3$  та відбувалося підлудження. При цьому найбільша ефективність знезалізнєння спостерігалася до моменту зниження pH до 7,5–7,0 (рис. 4).

Обумовлено це частково зниженням швидкості іонообмінної сорбції заліза при переході іоніту у  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  форму, а частково зниженням pH середовища, що сповільнює процес окиснення заліза на поверхні магнетиту. Активність каталізатора легко відновлюється при обробці його 10% розчином хлориду натрію у кількості 5 об'ємів розчину на 1 об'єм іоніту. Як видно з рис. 4, ефективність окиснення на відновленому каталізаторі така ж висока, як і у свіже приготовленому. Фільтрувальне завантаження має брудомісткість, яку при вибраних об'ємах розчину не було вичерпано.

**Висновки.** Запропонована схема установки знезалізнєння води, що включає фільтр комплексної дії, який забезпечує видалення сполук заліза шляхом сорбції, окиснення та іонного обміну, а також включає механічний фільтр з плаваючим завантаженням ефективно працює при швидкостях фільтрування 1,5–4,5 м/год. Каталітичний сорбент на основі магнетиту та іонообмінної смоли забезпечує низькі концентрації залишкового заліза ( $\geq 0,3$  мг/дм³) в очищеній воді. Ефективність видалення заліза на каталітичному фільтрі зростає при pH середовища вищому значенню 7,5. Для збереження активності фільтру шляхом підвищення pH середовища модифікований катіоніт доцільно переводити у  $\text{Na}^+$  форму. При цьому після його регенерації не втрачаються каталітичні та сорбційні властивості фільтрувального завантаження.

Визначено, що при оптимальних швидкостях фільтрування відбувається рівномірне накопичення осаду у товщі фільтрувального завантаження, що призводить до ефективного окиснення іонів заліза та подовження фільтрциклу.

#### Список літератури:

1. Геніш О.В. Перспективні методи очистки від сполук заліза для котеджних будинків. Студентський вісник національного університету водного господарства та природокористування. 2015. Вип. 1(3). С. 7–11.
2. Яворський В.Т., Савчук Л.В., Рубай О.І. Перспективні напрямки очищення свердловинних вод від сполук феруму. 2011. С.50–54
3. Буллах М.А., Буравлев, В.О., Сеньків Я.Б. Получение нового каталитически активного сорбента для очистки воды от соединений железа и марганца. Материалы 8-й Всероссийской научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь». 2011. С. 36–38.
4. Гомеля И.Н., Омельчук Ю.А., Радовенчик В.М. Натрий-катионное умягчение воды в присутствии ионов железа. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2008. Т. 1, № 1. С. 67–70.
5. Анисимова Н.Ю., Сенатов Ф.С., Миляева С.И., Киселевский М.В. Исследование сорбционных свойств ферромагнитных наночастиц. Фундаментальные исследования. 2011. № 11. С. 263–265.

6. Lin J.-H., Wu Z.-H., Tseng W.-L. Extraction of environmental pollutants using magnetic nanomaterials. *Anal. Methods*. 2010. V. 2. P. 1874 – 1879.
7. Huang D., Deng C., Zhang X. Functionalized magnetic nanomaterials as solid phase extraction adsorbents for organic pollutants in environmental analysis. *Anal. Methods*. 2014. V. 6. P. 7130 – 7141.
8. Gómez-Pastora J., Bringas E., Ortiz I. Recent progress and future challenges on the use of high performance magnetic nano-adsorbents in environmental applications. *Chem. Eng. J.* 2014. V. 256. P. 187 – 204.
9. Wierucka M., Biziuk M. Application of magnetic nanoparticles for magnetic solid-phase extraction in preparing biological, environmental and food samples. *Trend. Anal. Chem.* 2014. V. 59. P. 50 – 58.
10. He J., Huang M., Wang D., Zhang Z., Li G. Magnetic separation techniques in sample preparation for biological analysis: a review. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2014. V. 101. P. 84 – 101.
11. Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах: монографія / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов. Рівне: НУВГП, 2012. 172 с.
12. Мартинов С. Ю., Меддур М. М., Мамчур К. С. Знезалізнєння води на напірних пінополістирольних фільтрах. *Вода. Екологія. Суспільство*. 2014. С. 40-42.

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА НА КАТАЛИТИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ**

*Предложена комбинированная схема обезжелезивания подземных вод с помощью сорбента-катализатора на основе магнетита и ионообменной смолы. Смоделированы и исследованы основные параметры процесса фильтрования. Показано, что эффективность окисления ионов железа зависит от скорости фильтрования и образования каталитической пленки на поверхности сорбента во время работы фильтра.*

**Ключевые слова:** обезжелезивание, магнетит, грязеемкость фильтра, скорость фильтрования.

#### **STUDY OF THE DYNAMICS PROCESS OF WATER PURIFICATION FROM IRON COMPOUNDS ON THE CATALYTIC FILTER**

*A combined scheme for purification of groundwater from iron on the sorbent-catalyst based of magnetite and ion-exchange resin is proposed. The main parameters of the filtration process are investigated. It has been shown that the oxidation efficiency of iron ions depends on the filtration rate and the formation of a catalytic film on the surface of the sorbent during the operation of the filter.*

**Key words:** purification from iron, magnetite, contaminant capacity, filtration rate.

**Фролова Л.А.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

## ФЕРИТИ ЯК ЕФЕКТИВНІ МАГНІТНІ АДСОРБЕНТИ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ КАТІОНІВ ХРОМУ (III) З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

*Плазмовим методом синтезовані магнітні адсорбенти. Досліджено процес адсорбції катіонів хрому (III) феритними адсорбентами. Вивчена кінетика процесу. У роботі показано, що використання магнітокерованих сорбентів дозволяє з високою ефективністю очищати стічні води від хрому (III). Встановлено, що при видаленні катіонів Cr(III) ефективність адсорбентів слідувала за порядком зменшення наступним чином  $NiFe_2O_4 > (CrFe)_2O_3 > MnFe_2O_4 > Fe_3O_4 > CoFe_2O_4$ .*

**Ключові слова:** шпінель, ферит, катіони хрому, адсорбція, ступінь сорбції.

**Постановка проблеми.** Ферити – це магнітні матеріали з кубічною шпінельною структурою, які мають широку область використання. Властивості феритів залежать від катіонного складу, морфології частинок, що обумовлена умовами проведення технологічного процесу. Зараз багато дослідників вивчають вплив різних параметрів синтезу на технологічні властивості феритів. Наприклад, наноматеріали складу  $MeFe_2O_4$  ( $Me = Fe, Mn, Co$  і  $Ni$ ) з розміром частинок у діапазоні 50-10 нм були отримані гідрофразними методами [1; 2]. Автори [3] приводять технологію отримання шпінельних феритів плазмохімічним методом. Нанодисперсні ферити мають широку область застосування. Достатньо новим напрямком є їх використання у природоохоронних технологіях, що стосуються видалення важких металів.

Сполуки хрому (III), а особливо хрому (VI), токсичні для людини і тварин, тому розробка нових методів та технологій очищення стічних вод (далі – СВ) дуже актуальна.

**Постановка завдання.** Є багато ефективних технологій очищення хромвміщуючих стічних вод (ХСВ) від катіонів хрому: реагентний, електрохімічний, мембранний. Отже, метою статті є вивчення кінетики процесу використання магнітокерованих сорбентів для ефективного очищення стічних вод від хрому (III).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Перспективним є застосування сорбційних технологій. В останні роки адсорбція показала перспективні та ефективні результати як у технологіях очищення питної води, так і стічних вод промисловості. Синтезовано і застосовано ряд адсорбентів для обробки забруднюючих речовин, таких як катіони металів, барвники, фармацевтичні продукти у розчинах [4].

Проте для того, щоб ефективно застосовувати у різних галузях промисловості адсорбційні методи

очищення, необхідно вирішити деякі проблеми їх використання, такі як високі капітальні витрати, складне відокремлення адсорбенту від розчину, складні процеси синтезу. Перевагами технологій, що використовують адсорбенти, є високий ступінь очищення, висока ємність, прості способи регенерації і можливість багаторазового використання. Але більшість з них мають високу вартість, тому актуальним є використання дешевих адсорбентів або хемосорбентів, які за ефективністю не поступаються вартісним аналогам.

Для очищення ХСВ використовують адсорбенти різної природи, структури та механізму дії. Наприклад, адсорбентами, що широко використовуються для очищення води від катіонів хрому, є активоване вугілля, силікагель, цеоліт, глинисті мінерали. Є низка наукових досліджень, пов'язаних із дослідженням можливості використання в якості адсорбентів відходів. Сільськогосподарські відходи як адсорбенти являють привабливий варіант через їх низьку вартість та велику кількість. Були проведені численні дослідження з розробки дешевих ефективних адсорбентів, що містять природні біополімери.

Однак ці види адсорбентів мають один спільний недолік – вони потребують тривале виділення із розчину, що збільшує експлуатаційні витрати. Для запобігання цієї проблеми деякі дослідники пропонують магнітні матеріали, що можуть бути перспективними адсорбентами, які можна легко відокремити від розчину за допомогою магнітного поля [5]. Магнітні адсорбенти (далі – МА) можуть забезпечити швидке та ефективне розділення суспензій.

У даній роботі пропонується технологія виділення катіонів хрому магнітною сепарацією для вирішення проблеми захисту навколишнього середовища.

### Методика проведення експерименту

Для синтезу магнітних сорбентів використовували відповідні сульфати. Наночастинки  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$  ( $\text{Me} = \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Co}$  і  $\text{Ni}$ ) отримували методом хімічного осадження з водного розчину солей феруму (II), сульфату та манган (II) сульфату та нікель, кобальт (II) сульфату методом, що детально описаний у [6]. Одержану суспензію розділяли на магнітному фільтрі та висушували при температурі 100–150°C протягом 2 часів.

Рентгенофазовий аналіз зразків проводився на дифрактометрі ДРОН-2. Режим роботи джерела рентгенівського випромінювання 40 кВ, 30 мА. Діапазон кутів сканування  $2\theta$ : від 10 до 90°, крок сканування – 0,0001°. Методом скануючої електронної мікроскопії одержали зображення зразків різного збільшення.

Дослідження вміщували виконання декількох серій дослідів із різними адсорбентами: адсорбент магнетит (ФФ), адсорбент ферит нікелю (ФН), адсорбент ферит кобальту (ФК), адсорбент ферит мангану (ФМ), адсорбент ферит хрому (ФХ).

Сорбційні властивості зразків МА виявляли шляхом визначення ступеню сорбції, максимальної сорбційної ємності для катіонів хрому (III) різної початкової концентрації. Концентрація адсорбенту у модельних розчинах також варіювалась.

Ступінь сорбції розраховували за зменшенням концентрації катіонів хрому у водному розчині за формулами:

$$\%S = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} 100\% \quad (1)$$

де:  $V$  – об'єм розчину, мл;

$m$  – маса сорбенту, г;

$C_0$  і  $C_t$  – початкові концентрації, а також концентрації іонів металу після часу  $t$  у розчинах, відповідно (моль / л).

### Результати експериментальних досліджень

Кінетичні залежності сорбційних процесів (рис. 1) показують, що видалення  $\text{Cr}$  (III) збільшу-

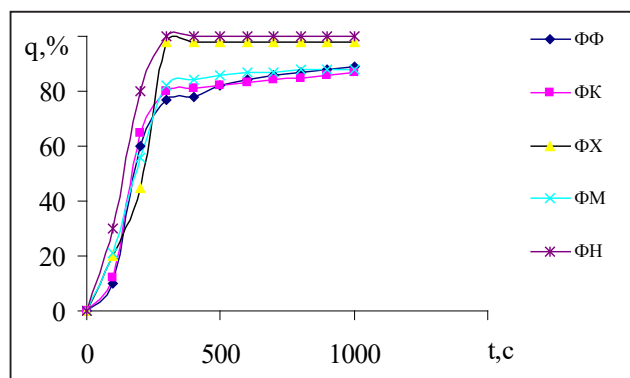


Рис. 1. Кінетичні дослідження сорбції  $\text{Cr}$  (III) (10 г/л) на адсорбентах для  $\text{Cr}$ (III)

ється зі збільшенням час контакту. Проте рівновага досягається за 7-10 хвилин. При збільшенні часу контакту далі до 1000 секунд, процент сорбції стає постійним. Тому оптимальний час контакту можна вважати 10-15 хвилин.

Залежності ступеню сорбції від маси адсорбентів мають різний характер. Для магнетиту, фериту мангану та хрому вони мають майже лінійний характер, та значно відрізняються максимальним ступенем вилучення. При використанні магнетиту максимальне сорбційне уловлювання складало 70%, фериту хрому – 90%, фериту нікелю – майже 100%. Для фериту кобальту та нікелю хід кривої має логарифмічний вигляд. В обох дослідях зі збільшенням початкової концентрації розчину ступінь вловлювання збільшувалась.

При використанні фериту кобальту максимальне сорбційне уловлювання складало 72%. Зі збільшенням початкової концентрації розчину ступінь вловлювання збільшується. Застосування ФН приводить до ступеня очищення 99,8%.

При видаленні  $\text{Cr}$  (III) ефективність адсорбентів слідувала за порядком зменшення наступним чином  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 > (\text{CrFe})_2\text{O}_3 > \text{MnFe}_2\text{O}_4 > \text{Fe}_3\text{O}_4 > \text{CoFe}_2\text{O}_4$ . Зразок  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  та  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  проявляє максимальну ефективність адсорбції. Для  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  ефективність адсорбції зменшується. Зіставлення гістограм залежності адсорбційних властивостей із магнітними характеристиками (рис. 4, 5) показують неадекватність отриманих результатів.

Оскільки процес адсорбції відбувається шляхом іонного обміну та взаємодії з групами  $\text{OH}^-$ , що присутні на поверхні. Іони  $\text{Co}^{2+}$  мають менші іонні радіуси ніж  $\text{Mn}^{2+}$  і іонний обмін легше відбувається шляхом зниження енергетичних бар'єрів. При використанні феритів кобальту, адсорбційна активність зменшується шляхом збільшення кількості  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ . Таким чином, ступінь адсорбції знижується. Крім того, можна припустити, що з підвищенням дефектності шпінелі адсорбційна активність матеріала піднімається.

**Висновки.** Синтезовані магнітокеровані сорбенти на основі феритів кобальту, нікелю, мангану, хрому, магнетиту володіють великою сорбційною здатністю (максимальна сорбційна ємність складає 100%). Знайдено, що сорбція хрому відбувається з більшою швидкістю: рівновага процесу адсорбції досягається щонайбільше за 10 хвилин.

У роботі показано, що використання магнітокерованих сорбентів дозволяє з високою ефективністю очищати стічні води від хрому (III).

Одержані результати можуть бути основою для подальших досліджень в області використання новітніх адсорбентів.

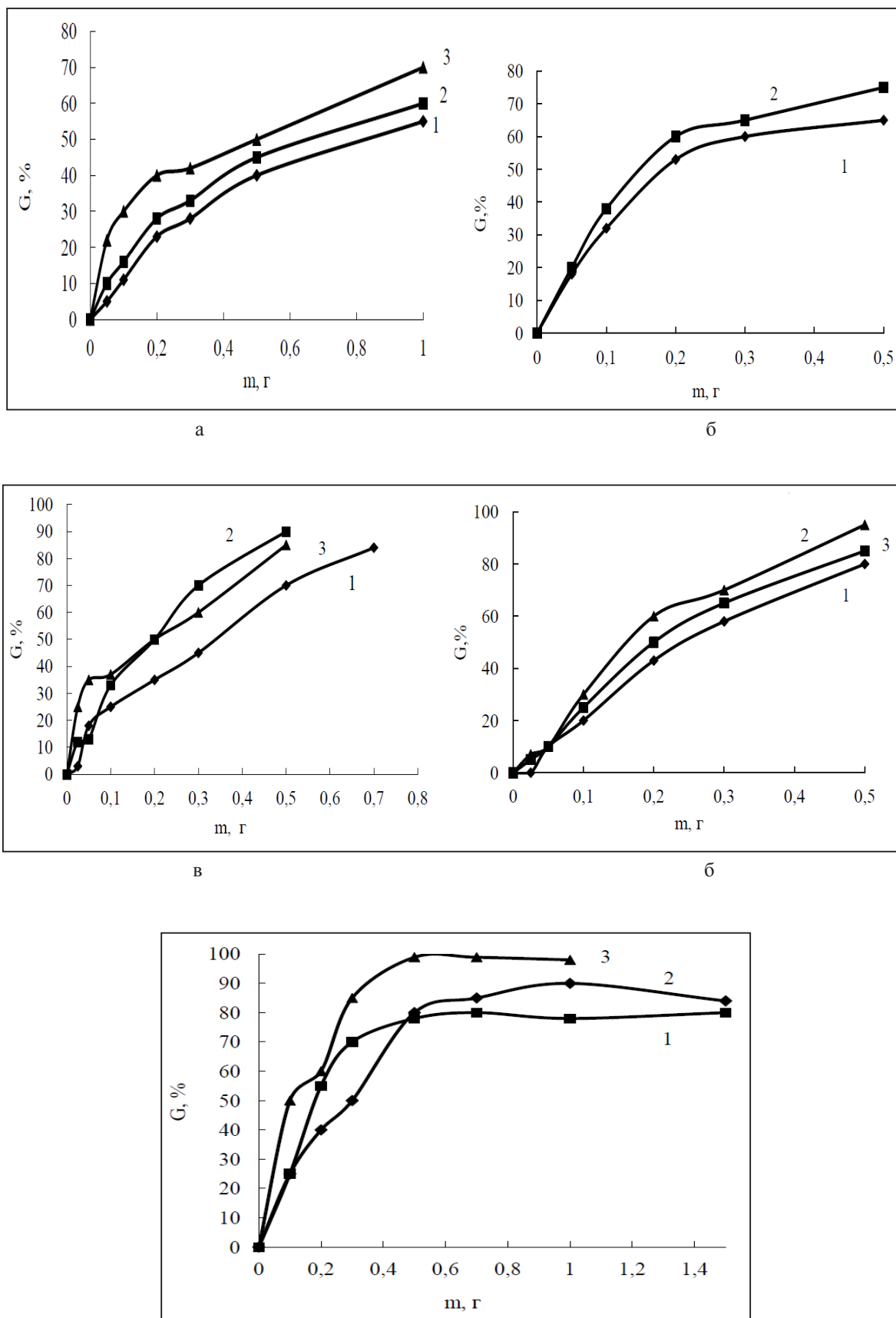


Рис. 2. Залежність ступеню очищення від концентрації адсорбенту (г/50мл) а- ФФ, б- ФК, в- ФХ, г- ФМ, д- ФН

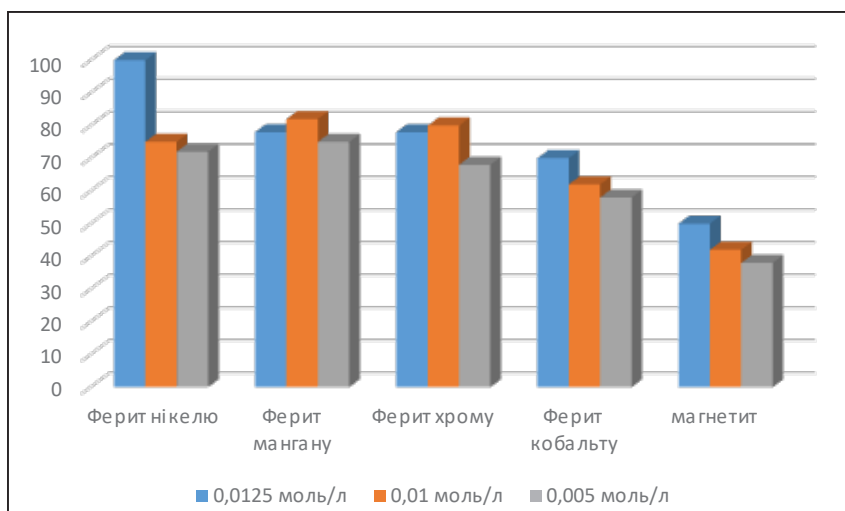


Рис. 3. Гістограма розподілу ступеня очищення від виду адсорбенту (маса адсорбенту 0,5 г/50мл)

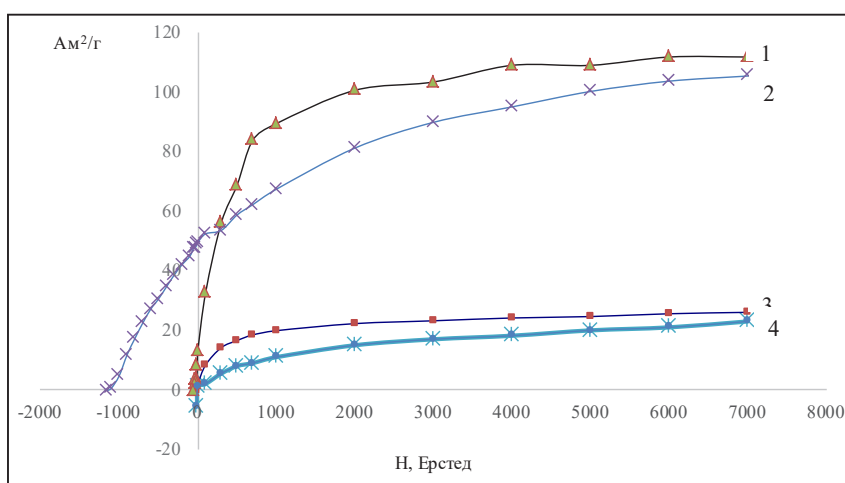


Рис. 4. Криві намагніченості для феритів  
1 –  $MnFe_2O_4$ , 2 –  $CoFe_2O_4$ , 3 –  $NiFe_2O_4$ , 4 –  $(CrFe)_2O_3$

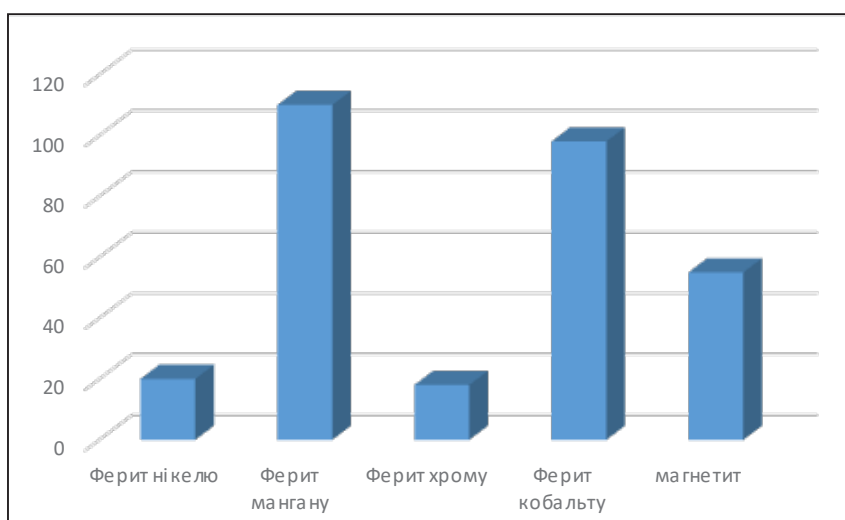


Рис. 5. Гістограма розподілу ступеня очищення від виду адсорбенту (маса адсорбенту 0,5 г/50 мл)

**Список літератури:**

1. Kumar M. V. S., Shankarmurthy, G. J., Melagiriappa, E., Nagaraja, K. K., Jayanna, H. S., Telenkov, M. P. Structural and complex impedance properties of Zn 2+ substituted nickel ferrite prepared via low-temperature citrate gel auto-combustion method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2018. V.29(15), pp 12795–12803.
2. Coll M., Montero Moreno J. M., Gazquez J., Nielsch K., Obradors X., Puig T. Low temperature stabilization of nanoscale epitaxial spinel ferrite thin films by atomic layer deposition. *Advanced Functional Materials*, 2014. V. 24(34), 5368-5374.
3. Frolova L. A. The mechanism of nickel ferrite formation by glow discharge effect. *Applied Nanoscience*. 2018. – P. 1-8.
4. Subramani A., Jacangelo J. G. Emerging desalination technologies for water treatment: a critical review. *Water research*. 2015. V. 75. P. 164-187.
5. Reddy D. H. K., Yun Y. S. Spinel ferrite magnetic adsorbents: alternative future materials for water purification? *Coordination Chemistry Reviews*, 2016. V.315, P. 90-111.
6. Frolova L. A., Derhachov, M. P. The Effect of Contact Non-equilibrium Plasma on Structural and Magnetic Properties of  $MnXFe_3O_4$  Spinel. *Nanoscale research letters*, 2017.12(1), P. 505-517.

**ФЕРРИТЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ МАГНИТНЫЕ АДСОРБЕНТЫ  
ДЛЯ УДАЛЕНИЯ КАТИОНОВ ХРОМА (III) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

*Плазменным методом синтезированы магнитные адсорбенты. Исследован процесс адсорбции катионов хрома (III) ферритными адсорбентами. Изучена кинетика процесу. В работе показано, что использование магнитоуправляемых сорбентов позволяет с высокой эффективностью очищать сточные воды от хрома (III). Установлено, что при удалении катионов Cr (III) эффективность адсорбентов следовала за порядком уменьшение следующим образом  $NiFe_2O_4 > (CrFe)_2O_3 > MnFe_2O_4 > Fe_3O_4 > CoFe_2O_4$ .*

**Ключевые слова:** шпинель, феррит, катионы хрома, адсорбция, степень сорбции.

**MAGNETIC FERRITES AS AN EFFICIENT ADSORBENT  
FOR THE REMOVAL CR(III) FROM AQUEOUS SOLUTIONS**

*Magnetic adsorbents by the plasma method are synthesized. The process of adsorption of chromium cations (iii) ferritic adsorbents is investigated. Studied kinetics about this soo. The paper shows that the use of magnetically controlled sorbents makes it possible to purify waste water from chromium (iii) with high efficiency. It was found that when Cr (iii) cations were removed, the efficiency of adsorbents followed the order of decreasing as follows:  $NiFe_2O_4 > (CrFe)_2O_3 > MnFe_2O_4 > Fe_3O_4 > CoFe_2O_4$ .*

**Key words:** spinel, ferrite, chromium cations, adsorption, degree of co-absorption.

## ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

UDK 633.521:634.10-026.5:6:54.021

**Valevskaya L.A.**

Odessa national academy of food technologies

**Ovsyannikova L.K.**

Odessa national academy of food technologies

**Sokolovskaya O.G.**

Odessa national academy of food technologies

**Orlova S.S.**

Odessa national academy of food technologies

**Grischuk Y.V.**

Odessa national academy of food technologies

### COMPARATIVE ASSESSMENT OF CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF LAND SEED AND LAND CHIA

*The article presents a comparative characteristic of the chemical composition and physical and technological properties of flax seeds and seeds. For the organization of a highly effective process of primary processing and storage of seeds of chia and flax seeds, it is necessary to study its physical and technological properties in order to substantiate and develop modern methods and modes of purification and drying, which affects technological and consumer qualities. The results of the study of the physical and technological properties of flaxseed seeds and chia seeds will justify a rational technological scheme and its post-harvest treatment regimes.*

**Key words:** chemical composition, chia seeds, flax seeds, physical and technological properties, storage.

**The problem is presented in general terms and its connection with important scientific or practical tasks.** Cereal masses have certain physical and technological properties that need to be taken into account in the practice of storage. Skilful use of these properties during transportation, processing and storage will reduce losses, improve the quality of the lots of grain and reduce losses in elevator-warehouse.

Of particular importance is the knowledge of the physical and technological properties of the grain mass in connection with the mechanization and automation of the processing processes in the flow, the introduction of new methods of drying, the use of pneumatic transport and storage of large batches of grain. The grain mass has the following physical properties: creep, self-sorption, sparrow, and others.

The grain mass is based on both the volume and the mass. In addition, the grain mass contains mineral and organic impurities. All this ensures certain movement of the grain mass, its vibrancy. Sediment is

called the ability of grain and grain mass to move on any surface, located at a certain angle to the horizon. The good graininess of grain masses makes it easy to move them with the help of trenches, conveyors and pneumatic transport units, load in different size and form of grain storage and apply the principles of self-injection. This property is used in the processing of grain and loading and unloading operations [1–4].

**The analysis of recent researches and publications, based on which the author considers this problem and approaches to its solution.** The Chia plant (Chia White, or *Salvia Hispanica*) is a nutritious plant that has a long history of the traditional use of food for Mayans by Indians and residents of other countries in South America (Mexico, Bolivia, Ecuador), which are still used in food and drinking seeds and other parts of this plant, in particular – greenery and seed oil. In Europe, the consumption of this plant to date has not been widespread. Companies in the USA, Canada, Mexico, Chile, Australia, New Zea-

land and the European Union are widely using Chia seeds in the food, bakery and confectionery industries for the production of baby sticks, cereals, cookies, corn stalks, cookies, and others [5]. Such a high demand for the components of the Chia plant is due to its unique chemical composition.

Comparative data on the nutritional value of seeds of the Chia plant and flaxseed, which are widely used in the diet of the Ukrainian population, are given in Table 1.

Table 1  
**Comparative characteristics of the composition of the nutrients of seeds Chia and flax seed, g per 100 g of product [6]**

| Nutrients                                          | Content in the seed of Chia | Content in flax seed |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Protein, g                                         | 22                          | 18,3                 |
| Fat, g                                             | 35,0                        | 42,2                 |
| Carbohydrates, g                                   | 40,0                        | 1,6                  |
| Dietary fiber, g                                   | 30,0                        | 27,3                 |
| Ash, g                                             | 6,0                         | 3,7                  |
| Saturated fatty acids, g, including $\omega$ -3, g | 27,0                        | 20,0                 |
| Mineral substances, mg                             | 21,0                        | 17,5                 |
| Calcium                                            | 536                         | 255                  |
| Magnesium                                          | 350,3                       | 392                  |
| Sodium                                             | 12,2                        | 30,0                 |
| Potassium                                          | 564,0                       | 813,0                |
| Phosphorus                                         | 751,0                       | 642,0                |
| Iron                                               | 6,3                         | 5,7                  |
| Zinc                                               | 4,4                         | 4,3                  |
| Vitamins, mg:                                      |                             |                      |
| Vitamin B <sub>1</sub> (thiamine)                  | 0,45                        | 1,6                  |
| Vitamin B <sub>2</sub> (riboflavin)                | 0,04                        | 0,16                 |
| Vitamin B <sub>6</sub> (pyridoxine)                | 0,1                         | 0,473                |
| Vitamin B <sub>9</sub> (folic acid), mkg           | 110                         | 87                   |
| Vitamin C                                          | 5,4                         | 0,6                  |
| Vitamin E                                          | 1,16                        | 0,31                 |
| Vitamin PP (niacin)                                | 6,13                        | 3,08                 |
| Energy value, kcal                                 | 472                         | 534                  |

Thus, a comparative estimation of the content of nutrients in the seed of Chia and in the seeds of flax indicates a sufficient similarity of the main indicators. At the same time, attention is drawn to higher protein content and lower fat content in Chia seed compared with flaxseed seeds. They have a lower content of saturated fatty acids (3.3 vs. 3.7 g / 100 g in the seeds of Chia and flax, respectively) and above the content of unsaturated fatty acids (27 vs. 20 g / 100 g), which ratio is 9: 1 and 6: 1 in the seeds of Chia and flax, respectively). In the seed of Chia, the highest content of  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids (21 vs. 17%). Chia seeds

are richer than flax seed, calcium and contain less phosphorus, which leads to a more favorable relationship between calcium and phosphorus. The seeds of Chia also have higher iron content than flax seeds. The comparison of the vitamin content of the two products shows that in the Chia seedlings the vitamin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and B<sub>6</sub> content is lower, but the higher content of folic acid, the higher content of ascorbic acid (5.4 mg vs. 0.6 mg in the seeds of Chia and flax, respectively) and, especially significantly, the higher content of tocopherol. Thus, the nutritional value of the seed of Chia is quite close to the nutritional value of flaxseed, which is widely used in the nutrition of the population of Ukraine. At the same time, as noted, the characteristic of the Chia seed is even higher content of  $\omega$ -3 fatty acids than in the seeds of flax, and simultaneously the Chia seeds contain much more natural tocopherol antioxidant than flax seeds. It can be assumed, because the seeds of Chia and the oil derived from them will be significantly less oxidized, which is characteristic of flaxseed oil. It is especially important to emphasize, given the available literature data and clinical observations that indicate a rapid bulging of flaxseed oil with the appearance of bitter taste, which is impeded by its use in feeding children, including children with bronchial asthma, who require an additional amount of  $\omega$ -3 PFA.

PFA, especially  $\omega$ -3 families, are an important essential nutrition factor, since they have a pronounced effect on the human body, and especially children:

- They are part of the structural components of cell membranes, affecting their permeability, fluidity, activity of embedded enzymes.
- Play a special role in maturation and functioning of the central nervous system in the fetus and infants, participating in the process of myelination of nerve fibers; ensure the normal development of sensory, motor, behavioral, and others. Functions due to 9 concentrations in synaptic membranes and neural overload modulation; perform the most important role of stimuli of neurogenesis, synaptogenesis and neuronal migration.
- Participate in the formation of biologically active substances - eicosanoids [7, 8].

The grain content of the grain is characterized by the angle of friction and the angle of the natural slope. Under the angle of friction is understood the smallest angle at which the grain mass begins to slide on any surface. At an angle of the natural slope, or else it is called the angle of rolling, understand the angle at which the grain is slipping over the grain. In addition to these indicators, known coefficients of friction of grain mass, which are transmitted in different ways and on different materials [9–11].

Many factors influence the grain mass of the grains. The main ones are: the shape, size, character and condition of the grain surface, its moisture, the amount of impurities and their species composition, material, shape and condition of the surface on which the grain is moved. The smallest angle of friction and the natural inclination, that is, the greatest slush, have grain masses, in which the grain is spherical form with a smooth surface. The more the shape of the grain is spilled from the spherical and the more rough the surface, the smaller the graininess of the grain mass. Impurities reduce the graininess of the grain mass. Due to the large number of light impurities, as well as a significant amount of weed seeds with rough and sticky surface, the vibrations can be completely lost.

Different movements of grain mass is accompanied by self-assorted, that is, uneven distribution of components within the embankment, capacitance.

Self-sorting is the result of the gravity and heterogeneity of the particles from which the grain mass is composed. The heterogeneity of grain in form, specific gravity, grain size, fillability contributes to the different sailness of the grain, that is, the movement of each particle in the air stream. The largest self-sorting of the grain mass is shown during loading and unloading of grain storage facilities. In this case, a large, filled grain with a large specific gravity and low sailing quickly reaches the bottom or surface of the embankment. Small, succulent grains and impurities with a large sailing fall down slowly and are thrown by vortical streams of air to the walls or slide along the surface of the cone, which is formed by grain mass. In this connection, an inhomogeneous grain mass is created in silos, embankments and storage [9; 10].

Self-sorted – a negative phenomenon. The heterogeneity of the party is violated, conditions are created for the development of various physiological processes, the accumulation of light impurities and dust, for self-warming, the development of insects and mites and microorganisms, and in the end it leads to partial or complete damage to the grain due to the lack of monitoring of the grain mass.

The space formed between solid particles of grain mass, filled with air, is called spurs, and its amount, expressed as a percentage of 1 m<sup>3</sup> of grain mass, is sparrow. Shanks form a significant part of the volume of grain mass and significantly affect the physical properties and physiological processes occurring in it. Spacing indicates which part of its volume falls on intergranular spaces [9–11].

The air circulating in the hollows facilitates the transfer of heat through the convention, as well as the displacement of water in the form of steam. The large

gas permeability of the grain mass makes it possible to blow it out with air (during active ventilation), as well as disinfect appropriate preparations. A certain amount of air in the intergranular space is necessary to maintain the viability of the seeds.

When storing grain, the overall dimensions of the chinks and their structure are important. The greater the sparseness, the smaller the proportion grains mass. In this regard, for its placement, a larger storage space is required. The size and shape of the bubbles affect the air and gas permeability of the grain mass, its sorption properties and air resistance during active ventilation.

The coupling of the grain mass depends on the shape, size, size and condition of the grain surface, the amount and type of impurities, the mass and moisture content of the grain mass, the shape and size of the granary. Large admixture, as a rule, increases the coarseness of the grain mass; the small ones are easily placed in the intergranular spaces and reduce it.

The shape and size of the granary, the mass of the grained grain also affects the stacking density. With the increase in the cross-sectional area of the silo, the grain mass is denser. As the height of the mound increases, the density in the lower layers increases to a certain limit, after which it does not change. The density of stacking also increases depending on the length of storage.

For the organization of a highly effective process of primary processing and storage of chia seeds, it is necessary to study its physical and technological properties in order to substantiate and develop modern methods and modes of cleaning and drying that affect technological and consumer qualities. Samples of chia and flaxseed were used for comparative characterization.

The determination of physical and technological properties was carried out using methods approved by the corresponding GOSTs, or applied in scientific research and recommended in the relevant literature [11].

The results of researches of physical and technological properties of seeds of chia and flax are given in Table. 2

Despite its similarity in chemical composition, chia seeds and flax seeds have some differences in physical and technological properties. Chia seeds have a significantly smaller mass of 1000 grains and a true volume of 1000 grains than flax seeds.

We have found that chia seed has a higher stench, because it has a smaller angle of natural slump than flaxseed (25 degrees and 30 degrees, respectively). We also determined the coefficients of external fric-

tion in motion coefficients and coefficients of external friction of rest on different materials, characterizing the graininess of the grain mass.

Table 2  
**Results of the study of the physical and technological properties of flaxseed oil seed and seed chia**

| Characteristic                                  | flax seed | chia seeds |
|-------------------------------------------------|-----------|------------|
| Mass fraction of moisture, %                    | 6,7       | 7,3        |
| Nature (volumetric mass), kg/m <sup>3</sup>     | 675       | 612        |
| Weight of 1000 grains, g                        | 5,62      | 1,34       |
| The true volume of 1000 grains, cm <sup>3</sup> | 6,0       | 0,8        |
| Spacing, %                                      | 22,3      | 63,6       |
| Angle of natural slope, deg.                    | 30,0      | 25,0       |
| The coefficients of external friction of rest:  |           |            |
| on plastic                                      | 0,33      | 0,29       |
| on the steel                                    | 0,33      | 0,26       |
| by rubber                                       | 0,32      | 0,31       |
| The coefficient of external friction in motion  | 0,46      | 0,35       |

We have studied granulometric characteristics of flaxseed and chia seeds. The study of dimensional characteristics is carried out with the necessary accuracy, as indicated by the mean error value  $\delta$ , which does not exceed 5%. The geometric dimensions of the grains were determined by measuring the sample of 10–100 grains, since it is impossible and inexpedient to check the distribution law of the general set of random variables.

The shape, volume and surface of individual grains affect the density of their stacking during storage. These indicators are used in determining the sizes of capacities, diameters of gravity, material pipelines pneumatic transport, as well as in calculations of thermodynamic nature. So, for the estimation of the grain form, use the ratios  $l/a$ ,  $l/b$ ,  $a/b$ . The ratio of the surface of a ball  $F_k$  to a surface of a single grain  $F_3$  equivalent in volume, has been called spherical [11].

Changes in size affect such parameters as the grain size  $V$ , the area of the outer surface  $F$ , the sphericity  $F$  and the ratio of the grain  $V / F$ , is displayed on

the grain size uniformity, and the latter, as is known, determines the efficiency of the process. These data allow us to determine the volume of grains  $V_g$ , the grain surface area  $F_g$ , the hydraulic radius  $r_g$  and the equivalent grain diameter  $d_e$ . [11].

Determination of the specific surface  $a_0$  (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>), that is, the ratio of the surface of grains  $A$  to their volume  $V$ , for particles of irregular shape, presents considerable difficulties due to the complexity of determining the external and internal surfaces of the grains and the dependence on the coarseness [11].

The geometric parameters of the studied samples are shown in Table. 3

Table 3  
**Geometric indices of flax seed and chia seeds**

| Characteristic                                                  | flax seed | chia seeds |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|------------|
| Geometric dimensions:                                           |           |            |
| length ( $l$ )                                                  | 3,82      | 1,22       |
| width ( $a$ )                                                   | 2,02      | 1,00       |
| thickness ( $b$ )                                               | 0,98      | 0,96       |
| The amount of grain $V_g$ , mm <sup>3</sup>                     | 4,23      | 0,80       |
| The area of the outer surface $F_g$ , mm <sup>2</sup>           | 14,35     | 3,51       |
| Sphericity $\psi$                                               | 0,28      | 0,61       |
| Equivalent diameters $d_e$ , mm                                 | 2,01      | 1,15       |
| Specific surface area $a_0$ (mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ) | 3,39      | 4,38       |

Analysis of the data showed that the seeds of flax have a larger grain size  $V_g$ , the area of the outer surface  $F_g$ , is equivalent to the diameter  $d$ , but the smaller specific surface of the grain  $a_0$ . The calculated basic geometric parameters of flax seeds and chia seeds allow to simulate the processes of ventilation, drying, to select the regime parameters of technological machines.

**Conclusions from this study and further perspectives in this direction.** The basic physical and technological properties of flax seeds and seeds of chia are determined - the mass of 1000 grains, the nature, the mass fraction of moisture, the angle of the natural slope, the coefficients of external friction in a state of rest and motion, abrasion, sparseness that affect the storage and primary processing of grain.

The investigated physical and technological properties of flax seeds and chia will allow us to substantiate the rational technological scheme and regimes of its after-harvesting.

#### References:

1. Пузік Л.М., Пузік В.К. Технологія зберігання і переробки зерна: навч. посіб. Харків: ХНАУ, 2013. 312 с.
2. Трисвятский Л.А. Хранение зерна: ученик. Москва: Агропромиздат, 1986. 400 с.
3. Пилипчук В.Л. Технология хранения зерна и семян: учеб. пособ. Москва: Вузовский учеб., 2009. 455 с.

4. Зверев С.В., Зверева Н.С. Физические свойства зерна и продуктов его переработки: підруч. М.: ДеЛи принт, 2007. 176 с.
5. EC "Commission Decision of 13 October 2009 authorizing the placing on the market of Chia seed (*Salvia hispanica*) as a novel food ingredient under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council". The EFSA Journal. 2009. № 996. PP. 16–26.
6. Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Зубцов В.В., Молофеев В.Ю. Пищевая ценность и функциональные свойства семян льна. Вопросы питания. 2012. № 3. С. 4–10.
7. Шилина Н.М., Конь И.Я. Современные представления о физиологических и метаболических функциях полиненасыщенных жирных кислот. Вопросы детской диетологии. 2004. Т. 2. № 6. С. 25–30.
8. Конь И.Я., Шилина Н.М., Вольфсон С.Б.  $\omega$ -3 полиненасыщенные жирные кислоты в профилактике и лечении болезней детей и взрослых. Лечащий врач. 2006. № 4. С. 55–60.
9. Стародубцева А.И., Сергунов В.С. Практикум по хранению зерна: учеб. пособ. Москва: Агропромиздат, 1987. 192 с.
10. Подпрятков Г.И., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Практикум: навч. посіб. Київ.: Вища освіта, 2004. 272 с.
11. Станкевич Г.М., Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г. Обробка та зберігання дрібнонасіненних олійних культур: монографія. Одеса: КП ОМД, 2016. 128 с.

#### **ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ ЛЬОНУ ТА НАСІННЯ ЧІА**

*У статті наведено порівняльну характеристику хімічного складу та фізико-технологічних властивостей насіння льону та насіння чіа. Для організації високоефективного процесу первинної обробки і зберігання насіння чіа та насіння льону необхідне вивчення його фізико-технологічних властивостей із метою обґрунтування і розробки сучасних способів і режимів очищення і сушіння, які впливають на технологічні і споживчі якості. Результати дослідження фізико-технологічних властивостей насіння льону та насіння чіа дадуть змогу обґрунтувати раціональну технологічну схему і режими його післязбиральної обробки.*

**Ключові слова:** хімічний склад, насіння чіа, насіння льону, фізико-технологічні властивості, зберігання.

#### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН ЛЬНА И СЕМЯН ЧИА**

*В статье приведена сравнительная характеристика химического состава и физико-технологических свойств семян льна и семян чиа. Для организации высокоэффективного процесса первичной обработки и хранения семян чиа и семян льна необходимо изучение его физико-технологических свойств с целью обоснования и разработки современных способов и режимов очистки и сушки, влияющих на технологические и потребительские качества. Результаты исследования физико-технологических свойств семян льна и семян чиа позволят обосновать рациональную технологическую схему и режимы его послеуборочной обработки.*

**Ключевые слова:** химический состав, семена чиа, семена льна, физико-технологические свойства, хранение.

**Кожевнікова В.О.**

Одеська національна академія харчових технологій

**Гушніт Л.О.**

Одеська національна академія харчових технологій

**Ткачук О.В.**

Одеська національна академія харчових технологій

## ПРЯНО-АРОМАТИЧНІ ДОБАВКИ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ІНГРЕДІЄНТ ПРОДУКТІВ ОЗДОРОВЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО БІЗНЕСУ

*У цій статті досліджено доцільність застосування пряно-ароматичних добавок та низькокалорійних підсолоджувачів для виробництва продуктів харчування на основі моркви, а саме каротиноїдної пасту для продуктів функціонального призначення. Показано актуальність розробки харчової продукції оздоровчого призначення для коригування здоров'я населення України. Наведено хімічний склад сировини, а саме моркви, чебрецю і м'яти, та їхні функціональні властивості. Досліджено динаміку уварювання моркви за вмістом сухих речовин та встановлено вміст  $\beta$ -каротину і вітаміну С у морквяній пасті із зазначенням позитивного впливу добавок (чебрецю, м'яти і стевіозиду). Показано результати дегустаційної оцінки готового продукту та відзначено його високі органолептичні властивості.*

**Ключові слова:** морквяна паста, пряно-ароматичні добавки, чебрець, м'ята, стевіозид, функціональні продукти,  $\beta$ -каротин, вітамін С.

**Постановка проблеми.** Здоров'я людини визначається її харчовим статусом, тобто ступенем забезпеченості організму необхідними, перш за все есенційними харчовими речовинами та енергією. Адже здоров'я може бути збережене тільки за умови повного задоволення фізіологічних потреб в енергії й харчових нутрієнтах. Воно має відповідати сучасним уявленням науки про харчування, вимоги якої слід враховувати під час розробки стратегії розвитку харчової промисловості [1].

Останніми десятиліттями динаміка стану здоров'я українців характеризується негативними тенденціями. Зараз тривалість життя населення України у середньому становить 68 років (для чоловіків – 62, для жінок – 74 роки). Цей показник майже на 7 років нижчий, ніж у країнах ЄС, а загальний коефіцієнт смертності в Україні розцінюється за шкалою ООН як дуже високий [2–4].

Серед причин смертності традиційно лідирують захворювання системи кровообігу, онкологічні, пов'язані з аліментарними порушеннями та ін. За останні роки в Україні значно зріс рівень онкологічних захворювань: порівняно з 1990 р. – на 34 %. Якщо в країнах Європейського Союзу новоутворення є хворобою людей похилого віку, то в Україні ця хвороба значно «помолодшала» [2–3].

Цукровий діабет посідає третє місце у світі після серцево-судинних і онкологічних захворювань. В Україні також відзначено стабільне зростання кількості діагностованих випадків цукрового діабету: тільки серед дорослих людей у 1980 р. такі хворі становили 0,86% загальної популяції, а в 2005 р. поширеність цієї патології становила вже 2,15%. На сьогодні в Україні один із найбільш високих рівнів таких хворих серед дорослих і дітей – 9,8% (у середньому по Європі – 8,4%). Прогнозується, що до 2025 р. захворюваність діабетом в Україні досягне 10,8% (в Європі загалом – 9,1%).

Останніми роками відсоток загальної захворюваності населення України постійно зростає, що пов'язано, з одного боку, зі збільшенням частки людей похилого віку та більш ефективною діагностикою захворювань, а з іншого, з реальним погіршенням здоров'я населення, зумовленого впливом численних несприятливих факторів, серед яких значне місце посідає нездоровий спосіб життя, зокрема недотримання принципів здорового харчування.

Протягом останніх років спостерігається стійке порушення в структурі харчування населення України. Наукові дослідження та дані статистики свідчать про різке зниження споживання біоло-

Таблиця 1

## Вміст вітамінів і мінеральних речовин у моркві

| Показник          | β-каротин | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>5</sub> | B <sub>6</sub> | PP  | C   | E    | K    | Na | K   | Ca | Mg | P  | Fe  |
|-------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|-----|------|------|----|-----|----|----|----|-----|
| Вміст, мг на 100г | 9,0       | 0,06           | 0,07           | 0,27           | 0,04           | 0,15           | 1,0 | 5,0 | 0,95 | 0,02 | 21 | 200 | 51 | 38 | 55 | 0,7 |

гічно цінних продуктів: м'яса і м'ясопродуктів на 37%, молока і молочних продуктів на 34,8%, яєць на 37,5%, риби на 81%, овочів і фруктів на 49% за одночасного стабільно високого рівня споживання хлібопродуктів, тваринного жиру, зернобобових продуктів, картоплі. У населення України також спостерігається так званий «прихований голод» внаслідок дефіциту в харчовому раціоні вітамінів, особливо антиоксидантного ряду (А, Е, С), макро- і мікроелементів (йоду, заліза, кальцію, фтору, селену). Дефіцит вітамінів, макро- і мікроелементів, тваринного білка став масовим постійно діючим негативним чинником [5].

Тому останніми роками на світовому ринку нових технологій і харчових продуктів визначилась тенденція до розробки якісно нових продуктів, які призначені для профілактики різних захворювань, зміцнення захисних сил організму, зниження ризику впливу токсичних сполук і несприятливої екологічної дії. За допомогою спеціальної технологічної обробки або включення до рецептури біологічно активних добавок (БАД) можна надати продуктам дієтичних, оздоровчих чи профілактичних властивостей, що дасть змогу підвищити конкурентоспроможність продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційними культурами в Україні залишаються коренеплоди. У структурі посівних площ України коренеплоди займають близько 20%. Причому за останні 5 років ця частка збільшилась на 5%. Серед них одне з провідних місць займає морква, а її питома вага серед інших овочевих культур за площею посіву становить 7%. Вона користується великим попитом у населення завдяки своїм поживним, лікувальним, кулінарним якостям як сировина для консервної промисловості, яка зберігається тривалий час у свіжому вигляді і зберігає корисні властивості.

Ця культура, як і інші овочі, займає велику питому частку в раціоні харчування людини і є продуктом щоденного споживання. Останніми роками обсяги виробництва овочів скорочуються, фактичний рівень їх споживання населенням від фізіологічної норми становить лише 57,1%.

В Україні розповсюджена головним чином червоно-оранжева морква. В коренеплодах столової моркви міститься 8–21% сухих речовин, з яких

цукрів – 3,4–12,0%, клітковини – 0,5–3,5%, білка – 0,5–2,2%, золи – 0,6–1,8%, жиру – 0,1–0,7%, а також безазотисті екстрактивні речовини, зокрема декстрини і крохмаль у кількості 2,4–5,6%. У коренеплодах моркви червоних сортів може міститися від 5 до 10 мг/100г вітаміну С, а також від 5 до 30 мг/100г каротину. Крім того, у моркві виявлено вітаміни В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, Е, Н, К, Р, РР, фолієву та пантотенову кислоти, а також сполуки міді, калію, кальцію, заліза, кобальту, бору та інших мінеральних речовин (табл. 1) [6].

Морква може бути основою джемів, конфітурів, соусних паст, повидла, припасів, навіть мармеладу і цукатів. Проте виготовлення цих продуктів потребує термічної обробки (уварювання, бланшування), зазвичай тривалої, що призводить до руйнування вітамінів та інших корисних речовин моркви. Одним з варіантів запобігання цьому є уварювання під вакуумом, проте це потребує використання спеціальних установок. Тому для невеликих закладів ресторанного господарства більш доцільним є використання натуральних біологічно активних добавок для підвищення харчової цінності продукції [7].

Значний інтерес для сучасних дослідників харчової індустрії становлять пряно-ароматичні рослинні добавки, які, окрім високої біологічної активності та багатого хімічного складу, мають приємні смак та аромат, а тому можуть використовуватись ароматизаторами та смаковими добавками [8].

Так, м'ята перцева (*Mentha piperita*) містить значну кількість ефірних олій (2–3%, з яких до 60% складає ментол), фенольних сполук (до 7,5%), дубильних речовин (2,5–3,0%), каротиноїдів, аскорбінової кислоти, смолистих речовин, а також багато мінеральних речовин, а саме К, Са, Mg, Р, Fe та ін. Листя м'яти характеризується антиоксидантною, антимікробною, антиканцерогенною, седативною та гіпотензивною дією [9–12].

Чебрець (*Thymus vulgaris*) належить до ефіроолійних рослин і містить комплекс фенольних сполук (флаваноїди, фенольні кислоти), тритерпенові кислоти, ефірні олії, а також вітаміни групи В, А, С, Е, РР, мікро- і макроелементи. Чебрець використовується в кулінарії та консервній промисловості

як приправа, яку можна додавати до будь-яких страв [9–10; 13–14].

Ще одним напрямом виробництва продукції оздоровчого харчування є використання підсолоджувачів та цукрозамінників для зниження калорійності продукту.

Стевія (*Stevia*) відома як натуральний низькокалорійний підсолоджувач. У стевії міститься багато антиоксидантів (кверцетин, рутин), мінеральних речовин (кальцій, фосфор, калій, цинк, хром, магній, селен, мідь), а також вітамінів групи В, А, С, Е. Її листя висушують і подрібнюють, отримуючи зелений порошок, який приблизно в 10 разів солодший за цукор. Стевіозид (основний компонент стевії, що відповідає за її солодкість) має неуглеводну природу, тому він практично не має калорійності і використовується замість цукру для підсолодження страв у харчуванні хворих на цукровий діабет [15–16].

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження доцільності застосування чебрецю, м'яти та стевіозиду для виробництва продуктів харчування на основі моркви, а саме каротиноїдної пасти для комбінованих продуктів функціонального призначення.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Об'єктом дослідження була морква, вирощена в Одеській області, сортів «Вітамінна» і «Нантська». Переробка її відбувалась у два етапи: розварювання та приготування пасти.

На першій стадії досліджень моркву подрібнювали і розварювали. При цьому проводили визначення тривалості термічної обробки для досягнення необхідної масової частки сухих речовин (30%).

На другому етапі до розвареної моркви вносили добавки (стевіозид та чебрець або м'яту). Рациональне дозування їх встановлювали за органолептичними властивостями пасти, після чого визначали їх ефект на вміст біологічно активних речовин ( $\beta$ -каротин і вітамін С), а також органолептичні властивості продукту.

Визначення масової частки сухих речовин (СР) є обов'язковою умовою об'єктивного оцінювання якості сировини і готових виробів та зручним методом контролю для виробництва. Поряд із вологістю вміст СР значно впливає на якість, калорійність, технологію переробки, умови зберігання, вихід продукції. Зміна масової частки сухих речовин у процесі термічної обробки моркви наведена на рис. 1.

До розвареної моркви зі вмістом СР 30% додавали стевіозид та м'яту або чебрець. Органолептична оцінка дала змогу встановити їх рациональ-

ний вміст: стевіозиду – 1% до маси морквяної пасти, м'яти або чебрецю – 0,1%. Дегустація готового продукту показала, що за такого дозування органолептичні властивості готового продукту, зокрема смак і аромат, перебували на високому рівні порівняно з морквяною пастою без добавок.

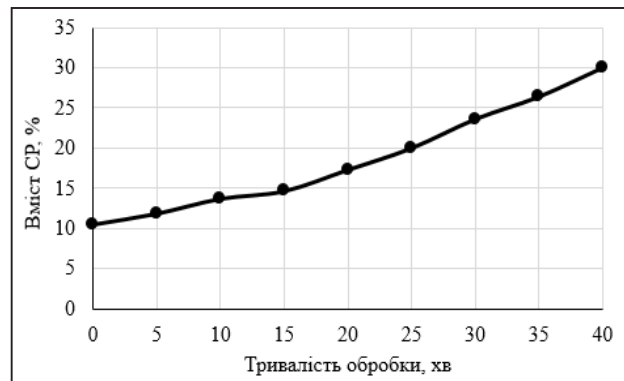


Рис. 1. Динаміка зміни масової частки сухих речовин під час термічної обробки моркви

Каротиноїди стійкі до зміни рН, температур і витримують нагрівання (без втрат кольоровості до 130°C). Вміст  $\beta$ -каротину в сировині, напівфабрикаті та готовому продукті визначали шляхом екстрагування гексаном та подальшим фотоколориметруванням.

Кількісний вміст вітамінів у рослинах, як правило, невеликий. Це зумовлює специфіку і необхідність особливо точних методів їх визначення. Для дослідження вітаміну С найбільш простим є метод Тільманса, який заснований на здатності аскорбінової кислоти в кислому середовищі відновлювати 2,6-дихлорфеноліндофенолят.

Вітамін С є добре розчинним у воді і дуже нестійким у разі теплової обробки. Міститься в клітинах овочів у трьох формах: відновленій (аскорбінова кислота), окисленій (дегідроаскорбінова кислота) і зв'язаній (аскорбіген). Відновлена й окислена форми вітаміну С можуть легко переходити одна в іншу під дією ферментів (аскорбінази – в окислену форму, аскорбінредуктази – у відновлену форму). Дегідроаскорбінова кислота за біологічною цінністю не поступається аскорбіновій, але набагато легше руйнується під час теплової обробки. Тому у разі кулінарної обробки намагаються інактивувати аскорбіназу, зокрема зануренням овочів у киплячу воду.

Вміст вітаміну С та  $\beta$ -каротину в перерахунок на вихідну речовину показаний на рис. 2 і 3.

Зі збільшенням інтенсивності теплового впливу вміст  $\beta$ -каротину та аскорбінової кислоти зменшився, проте використання добавок дало змогу не тільки нівелювати ці зміни, а й значно

підвищити їх вміст у готовому продукті, що добре позначається на його харчовій цінності.

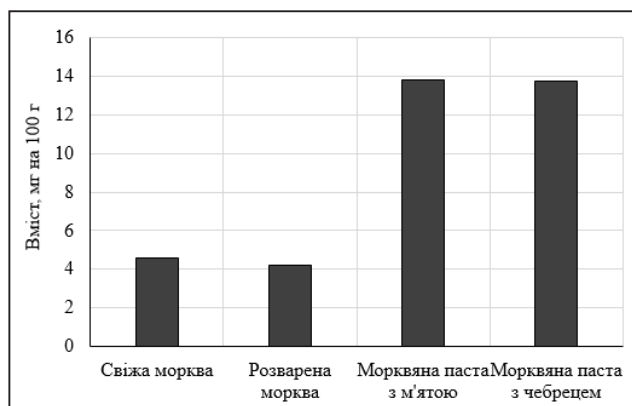


Рис. 2. Вміст  $\beta$ -каротину в перерахунку на вихідну речовину

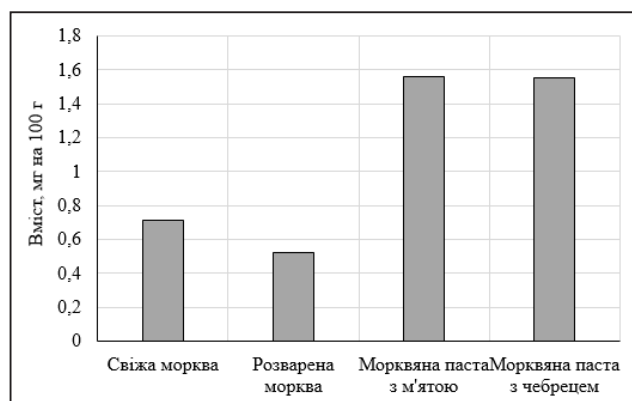


Рис. 3. Вміст вітаміну С у перерахунку на вихідну речовину

Підвищення вмісту  $\beta$ -каротину і вітаміну С, використання натурального підсолоджувача замість цукру, а також покращення органолептичних властивостей, надання приємного смаку й аромату вказує на доцільність використання стевіозиду, м'яти і чебрецю для розробки функціональних продуктів з моркви.

**Висновки.** Одним із актуальних напрямів сучасних досліджень є розширення асортименту продукції підвищеної харчової та біологічної цінності. Тому в роботі було досліджено вплив чебрецю, м'яти та стевіозиду на органолептичні властивості морквяної пасти та вміст вітаміну С та  $\beta$ -каротину.

Досліджено динаміку вмісту сухих речовин у морквяній пасті у разі уварювання та визначено раціональні дозування добавок за дегустаційною оцінкою продукту. Встановлено, що використання стевіозиду у кількості 1% як низькокалорійного підсолоджувача, а також чебрецю або м'яти у кількості 0,1 % як смакової добавки дає змогу значно покращити органолептичні властивості морквяної пасти.

Дослідження вмісту вітаміну С та  $\beta$ -каротину показали, що їх втрати, що відбулись у процесі термічної обробки моркви, можуть бути нівельовані завдяки використанню добавок. Встановлено, що їх вміст у готовому продукті підвищився у 2,2–2,8 раза порівняно з вихідною сировиною та напівфабрикатом.

#### Список літератури:

1. Пилат Т.Л., Иванов А.А. Биологически активные добавки к пище (теория, производство, применение). М.: Авалон, 2002. 710 с.
2. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Чепелевська Л.А., Любінець О.В. Динаміка і структура смертності населення України від зовнішніх причин смерті. Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я. 2008. № 2. С. 4–9.
4. Гайдаєв Ю.О., Коваленко В.М., Корнацький В.М. та ін. Стан здоров'я населення України та забезпечення надання медичної допомоги: аналіт.-стат. посіб. К.: МОЗ України, 2007. 97 с.
5. Корецький В.Л., Орлова Н.М. До проблеми безпеки харчування та моніторингу якості життя населення України. Проблеми харчування. 2006. № 1. С. 42–44.
6. Intermeal. База даних продуктів. URL: <http://www.intelmeal.ru/>
7. Касьянов Г.И. Технология производства джемов и соусных паст. Пищевая промышленность. 2002. №11. С. 31–32.
8. Bower A., Marquez S., de Mejia E.G. The Health Benefits of Selected Culinary Herbs and Spices Found in the Traditional Mediterranean Diet. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016. Vol. 56(16). P. 2728–2746. DOI: 10.1080/10408398.2013.805713
9. Мазнев Н.И. Энциклопедия лекарственных растений. 3-е изд. испр. и доп. М.: Мартин, 2004. 496 с.
10. Соколов С.Я. Фитотерапия и фитотерапевтика: руководство для врачей. М.: МИА, 2000. 976 с.
11. Assessment Report on Mentha x piperita L., Folium / Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC). European Medicines Agency, 2008. 14 p.
12. Farnad N., Heidari R., Aslanipour B. Phenolic composition and comparison of antioxidant activity of alcoholic extracts of Peppermint (Mentha piperita). Journal of Food Measurement and Characterization. 2014. Vol. 8(2). P. 113–121. DOI: 10.1007/s11694-014-9171-x

13. Liu Q., Meng X., Li Y., Zhao C.N., Tang G.Y., Li H.B. Antibacterial and Antifungal Activities of Spices. International Journal of Molecular Sciences. 2017. Vol. 18(6). P. 12-83. DOI: 10.3390/ijms18061283.
14. Assiri A.M., Elbanna K., Abulreesh H.H., Ramadan M.F. Bioactive Compounds of Cold-pressed Thyme (Thymus vulgaris) Oil with Antioxidant and Antimicrobial Properties. Journal of Oleo Science. 2016. Vol. 65(8). P. 629-640. DOI: 10.5650/jos.ess16042.
15. Benford D.J., DiNovi M., Schlatter J. Safety Evaluation of Certain Food Additives: Steviol Glycosides. WHO Food Additives Series (World Health Organization Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)) 2006. Vol. 54. P. 117-144.
16. Ashwell M. Stevia, Nature's Zero-Calorie Sustainable Sweetener: A New Player in the Fight Against Obesity. Nutrition Today. 2015. Vol. 50(3). P. 129-134.

### **ПРЯНО-АРОМАТИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИНГРЕДИЕНТ ПРОДУКТОВ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАВЕДЕНИЙ РЕСТОРАННОГО БИЗНЕСА**

*В этой статье исследована целесообразность применения пряно-ароматических добавок и низкокалорийных подсластителей при производстве продуктов питания на основе моркови, а именно каротиноидной пасты для продуктов функционального назначения. Показана актуальность разработки пищевой продукции оздоровительного назначения для корректировки здоровья населения Украины. Приведен химический состав сырья, а именно моркови, чабреца и мяты, и их функциональные свойства. Исследована динамика уваривания моркови по содержанию сухих веществ и установлено содержание  $\beta$ -каротина и витамина С в морковной пасте с указанием положительного влияния добавок (чабреца, мяты и стевиозида). Показаны результаты дегустационной оценки готового продукта и отмечены его высокие органолептические свойства.*

**Ключевые слова:** морковная паста, пряно-ароматические добавки, чабрец, мята, стевиозид, функциональные продукты,  $\beta$ -каротин, витамин С.

### **AROMATIC ADDITIVES AS FUNCTIONAL INGREDIENTS OF HEALTHY PRODUCTS FOR CATERING ESTABLISHMENTS**

*This article explores the feasibility using of aromatic additives and low-calorie sweeteners in the production of carrot-based food, namely carotenoid paste for functional products. The relevance of developing healthy food products in order to improve the health of Ukrainian population is shown. The chemical composition of raw materials, namely carrots, thyme and peppermint, and their functional properties are presented. The dynamics of boiling down the carrot paste according to the dry matter has been investigated content and the content of  $\beta$ -carotene and vitamin C has been determined, indicating the positive effect of additives (thyme, peppermint, and stevioside). The results of tasting evaluation of the finished product are shown and its high sensory properties are noted.*

**Key words:** carrot paste, aromatic additives, thyme, mint, stevioside, functional products,  $\beta$ -carotene, vitamin C.

УДК 637.1

**Максимів Ю.І.**

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

**Турчин І.М.**

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

## ВИКОРИСТАННЯ ОВОЧЕВОГО ПЮРЕ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ МОЛОЧНОГО ПУДИНГУ

*Промисловому переробленню піддається приблизно 60% сироватки, а інша її частина використовується для годівлі тварин. У молочній галузі сироватку застосовують для виробництва напоїв, десертних продуктів (киселів, желе, пудингів та мусів). Представлені результати досліджень молочної сироватки як сировини для виробництва пудингу. Вивчено можливість поєднання гарбузового пюре з молочною сироваткою для виробництві пудингу функціонального призначення. Подано технологію приготування пюре гарбуза як рослинного компонента в технології молочного десерту. Гарбуз підготовлювали таким чином: обробляли вручну,мили, відрізали плодоніжку, розрізали на декілька частин, видаляли насіння й очищали шкірку, промивали. Використовували запікання в духовці за 180°C протягом 45 хв. Половинки гарбуза ставили на деко та заливали склянкою води. Через 40–45 хв. витягали деко та залишали на 25–30 хв. для охолодження гарбуза. М'якоть подрібнювали на шматки та за допомогою блендера отримували гарбузове пюре.*

**Ключові слова:** молочна сироватка, десерти, технологія, технологічна операція, гарбуз, пюре, пудинг, рецептура, нормалізація, пастеризація, подрібнення, біологічна цінність.

**Постановка проблеми.** Важливим завданням є створення принципово нових технологій виробництва продуктів високої якості, які мають оздоровчий вплив на організм людини, забезпечують профілактику аліментарно-залежних станів і захворювань, сприяють усуненню дефіциту вітамінів, мікро- та макроеlementів.

Вирішити це завдання можна за рахунок виробництва продуктів нового покоління – функціональних продуктів. Особливо цінними є ті групи продуктів, які входять до складу харчових раціонів усіх груп населення. Актуальними є дослідження, спрямовані на створення нових функціональних харчових продуктів, споживання яких дасть змогу підвищити захисні функції організму людини і нормалізувати його харчовий статус.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою раціонального використання і перероблення молочної сироватки її піддають сепаруванню і освітленню, виділенню сироваткових білків методами іонного обміну і ультрафільтрації, демінералізації методами нанофільтрації та іонного обміну, денатуруванню протеїнів; отримання лактози і її похідних; використання компонентів молочної сироватки в косметичних цілях тощо [4; 9].

Попит на продукти з сироватки невпинно зростає. Промисловому переробленню піддається приблизно 60% сироватки, а інша її частина використовується в рідкому стані для годівлі тварин.

Крім виробництва напоїв, молочна сироватка застосовується для виробництва десертних продуктів, а саме: киселів, желе, пудингів та мусів.

Світовий і вітчизняний досвід свідчить про перспективність досліджень з метою вдосконалення поживних властивостей десертної продукції на основі молочної сироватки [4–6].

Десерти виробляють з пастеризованої молочної сироватки натуральної, концентрованої або згущеної з додаванням або без додавання знежиреного сиру, цукру, манної крупи, плодово-ягідних сиропів, стабілізаторів. Ця група продуктів призначена для безпосереднього вживання [8].

**Формулювання цілей статті.** Одним із пріоритетних напрямів у процесі створення молочних десертів є застосування нових видів нетрадиційної для молочної галузі сировини. Додавання рослинної сировини, яка має високий вміст поживних речовин, дасть змогу суттєво підвищити харчову та біологічну цінність молока, покращити органолептичні властивості.

**Матеріали і методи.** Застосовували органолептичні, фізико-хімічні та математичні методи дослідження. Повторність дослідів 5-кратна. Дослідження проводилися за наявності не менше 3 рівнобіжних. Результати досліджень обробляли методом математичної статистики та кореляційного аналізу за програмами Microsoft Word і Microsoft Excel.

Експериментальні дослідження проводилися у науковій лабораторії кафедри технології молока і молочних продуктів Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького та у виробничій лабораторії філії «Львівського молочного комбінату» ПП «Прометей».

Відбір проб та підготовку їх для дослідження проводили за загальноприйнятими методиками.

Визначення вмісту вологи проводили за ДСТУ ISO 1442:2005, вмісту жиру – за ДСТУ 4941:2008, вмісту білкових речовин – за ГОСТ 25011-81. Визначення титрованої кислотності сироватки та десерту проводили титриметричним методом за ГОСТ 3624-92, активної кислотності – потенціометричним методом за ГОСТ 26781-85, температури – за ДСТУ 6066:2008, густини – ареометричним методом за ДСТУ 6082:2008.

Органолептичну оцінку зразків проводили згідно з ДСТУ 4823.2:2007.

У виконанні експериментальної роботи використовували таку сировину:

– сироватка підсирна, отримана під час виробництва сиру кисломолочного нежирного за ДСТУ 4554:2006;

– манна крупа за ДСТУ 1055:2006;

– гарбузове пюре.

Проводили дослідження фізико-хімічних показників молочної сироватки. У табл. 1 подано розрахунок вмісту основних компонентів у сухій речовині молочної сироватки.

Таблиця 1

**Вміст компонентів сухої речовини  
молочної сироватки**

| Показники           | Вміст    |                    |
|---------------------|----------|--------------------|
|                     | г/100 мл | % у сухій речовині |
| Лактоза             | 3,5      | 62,28              |
| Білкові речовини    | 1,35     | 24,02              |
| Мінеральні речовини | 0,6      | 10,68              |
| Жир                 | 0,17     | 3,02               |
| Всього              | 5,62     | 100                |

Ступінь переходу окремих компонентів молока в молочну сироватку пов'язаний з гелеутворенням та синерезисом.

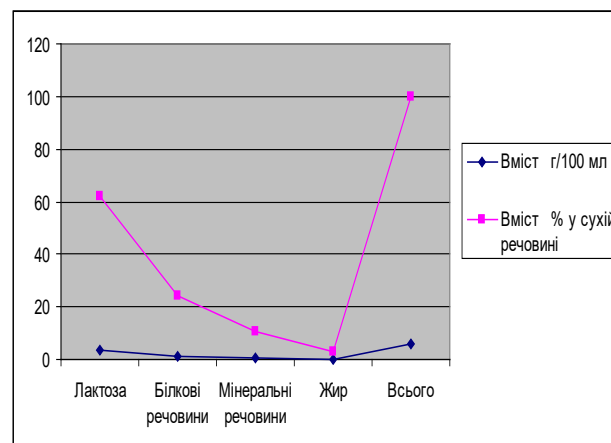
Основним компонентом молочної сироватки є лактоза (у сухій речовині понад 60%). Білкові речовини молочної сироватки за своєю природою близькі до білків крові, деякі їх фракції наділені імунними властивостями. Небілкові азотові сполуки, особливо амінокислоти,

зокрема незамінні, мають особливу цінність для організму [1].

У молочну сироватку перейшло 0,17% жиру (рис. 1). Особливістю молочного жиру сироватки є те, що він є дрібнодиспергований, тому практично повністю засвоюється організмом людини. Зокрема, кількість жирових кульок розміром менше 2 мкм у сироватці становить 72,6%, тоді як у незбираному молоці – 51,9%.

Мінеральні речовини в молочній сироватці перебувають у формі істинного та молекулярного розчинів, у колоїдному та нерозчинному стані, у вигляді солей неорганічних і органічних кислот [1–4].

Овочевим компонентом нами було обрано гарбуз. Гарбуз – цінний овоч для дієтичного харчування через високий вміст пектинових речовин (2,6–3,9%), каротиноїдів (3,2–17,3 мг/100 г), зокрема таких як лютеїн, лікопін, β-каротин, β-криптоксантин.



**Рис. 1. Співвідношення компонентів  
молочної сироватки**

Гарбуз багатий харчовими волокнами – пектиновими речовинами, клітковиною, геміцелюлозами, які адсорбують і виводять з організму ксенобіотики, особливо важкі метали та радіонукліди. Найбільшу цінність гарбузові надає β-каротин та інші каротиноїди, зумовлюючи його жовтий чи жовтогарячий колір м'якоті. За вмістом β-каротину він перевищує інші овочі (14,0–35,0 мг/100 г) і має невелику енергетичну цінність (28 ккал/100 г), тому його включають до більшості дієт [3]. Наукові дослідження останніх років показали, що вживання гарбуза і різних страв на його основі може зміцнити здоров'я і поліпшити зовнішній вигляд людини.

Гарбуз підготовлювали таким способом: обробляли вручну, мили, відрізали плодоніжку, розрізали на декілька частин, видаляли насіння і обчищали шкірку, промивали.

Таблиця 2

**Вміст вітамінів та мінеральних речовин у гарбузовому пюре**

| Найменування показників | На 100 г продукту |
|-------------------------|-------------------|
| Вітаміни, мг            |                   |
| РР                      | 0,22              |
| β-каротин               | 1,10              |
| B <sub>1</sub>          | 0,04              |
| B <sub>2</sub>          | 0,07              |
| С                       | 2,9               |
| Е                       | 0,14              |
| Мінеральні речовини, мг |                   |
| Кальцій                 | 40                |
| Магній                  | 14                |
| Натрій                  | 17                |
| Калій                   | 138               |
| Фосфор                  | 38                |
| Залізо                  | 0,3               |
| Йод                     | 0,0007            |
| Селен                   | 0,0005            |
| Цинк                    | 0,38              |

Запікали в духовці за 180°C протягом 45 хв. Половинки гарбуза ставили на деко та заливали склянкою води. Через 40–45 хв. витягали деко та залишали на 25–30 хв. для охолодження гарбуза. Знімали шкірку. М'якоть подрібнювали на шматки та за допомогою блендера отримали гарбузове пюре.

У таблиці 2 представлено вміст поживних речовин у гарбузовому пюре.

Завдяки клітковині гарбуз надає тривале відчуття ситості за мінімальної кількості калорій.

Гарбуз є овочем із високим вмістом пектинових речовин, які володіють добрими структуроутворюючими властивостями.

Як видно з таблиці 2, гарбузове пюре багате на β-каротин, кальцій, магній, натрій, калій, фосфор тощо.

Характеристика органолептичних показників гарбузового пюре представлена у табл. 3.

Таблиця 3

**Органолептичні показники гарбузового пюре**

| Найменування показників          | Характеристика                                                                    |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Консистенція та зовнішній вигляд | Дрібнодиспергована, гомогенна маса, однорідна, ніжна, без шматочків гарбуза       |
| Смак та запах                    | Солодкуватий, чистий, без сторонніх присмаків та запахів, характерний для гарбуза |
| Колір                            | Жовто-оранжевий                                                                   |

Гарбузове пюре було ніжне, однорідне, без волокон гарбуза. Смак – солодкуватий, виражений гарбузовий, без сторонніх присмаків та запахів.

Дослідні зразки пудингу з молочної сироватки з пюре гарбуза отримували шляхом внесення різної кількості пюре від 10 до 25% від маси суміші.

**Висновки.** Досліджено фізико-хімічні показники молочної сироватки. Обґрунтовано доцільність використання пюре гарбуза у виробництві пудингу з молочної сироватки. Знайдено оптимальний спосіб підготовки та внесення гарбуза.

**Список літератури:**

1. Сирохман І.В., Завгородня В.М. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення: навчальний посібник. Київ, 2009. 544 с.
2. Пуківський П., Турчин І.М., Сливка Н.Б., Михайлицька О.Р. Використання рослинної сировини в технології сиркових мас. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Львів, 2015. Т. 17. № 4(64). С. 109–114.
3. Вашека О.М., Рашевська Т.О. Перспектива використання рослинних харчових добавок для виробництва молочних продуктів функціонального призначення. Київ, 2007. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11606/1/engredientu.pdf> (дата звернення: 05.07.2018).
4. Хиллиам М. Тенденции на европейском молочном рынке. Переработка молока. 2006. № 2. С. 42–44.
5. Михнева В.А. Тенденции на рынке сухих молочных десертов. Переработка молока. 2010. № 6. С. 28–29.
6. Ющенко Н.М. та ін. Удосконалення технології збитих вершкових десертів. Молочна промисловість. 2005. № 5(20). С. 34–36.
7. Шалапугина Э.П. и др. Использование творожной сыворотки в производстве десертов. Молочное дело. 2010. № 5. С. 30.
8. Мелех Т.М., Турчин І.М., Сливка Н.Б., Михайлицька О.Р. Використання солоду з метою підвищення біологічної цінності питного молока. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Львів, 2014. Т. 16. № 2(59). Ч. 4. С. 98–102.
9. Сливка Н.Б., Михайлицька О.Р., Турчин І.М. Розробка технології молочних напоїв з комбінованим складом. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Львів, 2013. Т. 15. № 3(57). Ч. 4. С. 122–125.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОВОЩНОГО ПЮРЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ МОЛОЧНОГО ПУДИНГА

*Промышленной переработке подвергается около 60% сыворотки, а другая ее часть используется для кормления животных. В молочной отрасли сыворотка применяется для производства напитков, десертных продуктов (киселей, желе, пудингов и муссов). Представлены результаты исследований молочной сыворотки в качестве сырья для производства пудинга. Изучена возможность сочетания тыквенного пюре с молочной сывороткой при производстве пудинга функционального назначения. Представлена технология приготовления пюре тыквы как растительного компонента в технологии молочного десерта. Тыкву подготавливали следующим образом: обрабатывали вручную, мыли, отрезали плодоножку, разрезали на несколько частей, удаляли семечки и очищали кожицу, промывали. Запекали в духовке при 180°C в течение 45 мин. Половинки тыквы ставили на противень и заливали стаканом воды. Через 40–45 мин. вынимали и оставляли на 25–30 мин. для охлаждения тыквы. Снимали кожуру. Мякоть измельчали на куски и с помощью блендера получили тыквенное пюре.*

**Ключевые слова:** молочная сыворотка, десерты, технология, технологическая операция, тыква, пюре, пудинг, рецептура, нормализация, пастеризация, измельчение, биологическая ценность.

## USE OF VEGETABLE PUREE FOR INCREASE OF BIOLOGICAL VALUE OF MILK PUDDING

*Approximately 60% of whey is subjected to industrial processing, and the rest is used for feeding animals. In the milk industry whey is used to produce beverages, dessert products (jelly, puddings and mousse). The results of studies of whey as raw materials for pudding production are presented. The possibility of combining pumpkin puree with whey in the production of functional pudding was studied. The technology of preparation of pumpkin puree as a vegetable component in milk dessert technology is presented. Pumpkin was prepared in this way: hand-worked, miles, cut off the stalk, cut into several parts, remove the seeds and peel off, washed. Bake in oven at 180°C for 45 minutes. Half of the pumpkin was placed on a dish and filled with a glass of water. After 40–45 minutes drew out the dough and left for 25–30 minutes to cool the pumpkin. Shot the skin. The pulp was chopped into pieces and using a blender, they received pumpkin puree.*

**Key words:** whey, desserts, technology, technological operation, pumpkin, puree, pudding, recipe, normalization, pasteurization, shredding, biological value.

УДК 664.681.14

**Миколенко С.Ю.**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

**Крикун Л.Ю.**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗЕРНОВИХ ГАЛЕТ ІЗ ДИСПЕРГОВАНОЇ КУКУРУДЗИ

*Стаття присвячена дослідженню технологічних особливостей застосування диспергованої кукурудзи для виробництва борошняних кондитерських виробів, а саме галет оздоровчого призначення. Здійснено огляд наукових праць, що спрямований на покращення якості цього виду печива. Визначено функціональні властивості диспергованої кукурудзи. Досліджено вплив рецептурного складу галет на якість продукту. Визначено залежність якості готового продукту від тривалості замочування зернової сировини. Обґрунтовано використання галет із диспергованої кукурудзи як поживного й оздоровчого продукту в повсякденному харчуванні.*

**Ключові слова:** галети, диспергування, кукурудза, клейковина, функціональний оздоровчий продукт.

**Постановка проблеми.** Пріоритетною проблемою харчової промисловості є створення принципово нових технологій, глибокого комплексного перероблення сільськогосподарської сировини у продукти високої якості, які матимуть оздоровчий вплив на організм людини. Борошняні кондитерські вироби забезпечують 35% асортименту кондитерської продукції. Печиво традиційно користується високим попитом серед споживачів. Асортимент галет натеper дуже різноманітний, однак недостатньою є наявність продукції, збагаченої біологічно цінними речовинами.

Недоліком виготовлення цільнозернових борошняних виробів є отримання продуктів зі зниженими органолептичними властивостями, це зумовлює більш низький попит на них серед населення і, як наслідок, відмову виробників від виробництва такої продукції [1; 2]. Поліпшення якості борошняних виробів на основі цілого зерна можливе, якщо застосовувати технологічні прийоми і використовувати у рецептурах компоненти, здатні підвищувати споживчі характеристики продукту [3]

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Галети завдяки своїм органолептичним властивостям і тривалому терміну зберігання є досить популярним серед населення продуктом. Цей продукт може слугувати альтернативою хлібу для складання спеціалізованих раціонів харчування як самостійний продукт або основа для бутербродів. Галети є одним із основних компонентів сухого пайка військовослужбовців, є незамінним продуктом у харчуванні в екстремальних умовах.

За рівнем споживання борошняних кондитерських виробів Україна посідає 8-ме місце в світі, а на кожного середньостатистичного мешканця країни припадає 15 кг кондитерських виробів на рік [4;10]. Галети є перспективним видом кондитерської продукції, які за рахунок зниженого вмісту вологи здатні зберігатися тривалий час, це сприяє ресурсозбереженню зернової сировини та розширює горизонти її застосування. Тому не дивно, що за роки незалежності обсяг виробництва галет в Україні виріс більше, ніж у 10 разів. Для їх виробництва використовується в основному вітчизняна сировина [4]. Кукурудза є доступною сировиною для виробництва продуктів харчування, адже вона широко поширена в сільському господарстві. Посівні площі кукурудзи у світовому землеробстві займають друге місце серед культурних рослин, поступаючись тільки пшениці. Валові збори зерна її також дещо менші, ніж пшениці [2; 5; 11]. Зерно кукурудзи багате на вітаміни (С, В1, В2, РР, К, D, Е), мінеральні солі, незамінні амінокислоти, важливі антиоксидантні сполуки. Відомо, що біологічна активація кукурудзи сприяє збільшенню у її складі водорозчинних вітамінів та антиоксидантів.

Розроблення функціональних продуктів харчування з використанням цільнозернової біоактивованої кукурудзи є актуальним завданням, що дасть змогу збагатити харчову продукцію необхідними вітамінами та мікроелементами. Відомо, що окрему увагу для поліпшення якості готових цільнозернових виробів слід приділяти попередній підготовці зернової сировини. Процес замочування зерна є важливим етапом, у результаті

якого змінюються технологічні властивості зерна [6; 12]. У разі замочування зерна відбувається поглинання зернівкою води, яка запускає процес ферментації, що тим самим підвищує вміст поживних речовин у зернівці. При цьому необов'язково пророщувати зерно, щоб запустити процес його ферментації. Для пшениці достатнім є замочування зерна протягом 24 годин [2].

Прагнення збагатити їжу рослинними волокнами, вітамінами та іншими незамінними компонентами дає поштовх до створення нових способів обробки зерна і створення на їх основі зернових продуктів. Підвищення харчової цінності готових виробів у результаті більш повного використання анатомічних частин зернівки можна досягти шляхом диспергування зернової сировини. Диспергування зернової маси чинить значний вплив на якість готового продукту, а саме на його текстуру, пористість та крихкість, які залежать від крупності часток диспергованого зерна [7; 8]. Доведено, що готові вироби з диспергованого зерна містять більше, ніж вироби із борошна вищого сорту: білка – в 2,5–3 рази; кальцію, магнію і фосфору – в 2 рази; заліза – майже в 3 рази; тіаміну і рибофлавіну – в 2 рази; ніацину – в 3 рази. Крім цього, маловідходне виробництво цілнотзернової продукції із диспергованого зерна дає змогу заощадити 12–15% продовольчої сировини.

**Постановка завдання.** Метою цього дослідження є розробка технології галет із диспергованої кукурудзи з урахуванням заміни функціональних характеристик кукурудзи під час замочування і підбір оптимальних рецептур галет, що забезпечить отримання функціонального продукту з високими органолептичними властивостями.

**Виклад основного матеріалу.** У проведенні дослідження використовували зерно зубовидної кукурудзи сорту «Кадр 267 МВ» урожаю 2017 року. Під час проведених досліджень експериментальні зразки галет виготовляли за стандартною рецептурою № 209 [9; 13] за умови додавання до оббивного пшеничного борошна диспергованої зернової маси кукурудзи з різною тривалістю замочування сировини та часткою введення диспергованої кукурудзи у рецептуру. У процесі дослідження зразки зерна кукурудзи масою 300 г замочували у гідромодулі 1:1 на 12–60 годин. Як показують отримані результати (рис. 1), тривалість замочування впливає на вологість диспергованої зернової маси. Найвищою є швидкість поглинання води кукурудзою перші 36 годин. Потім зміна вологості перебуває в межах 3–5%.

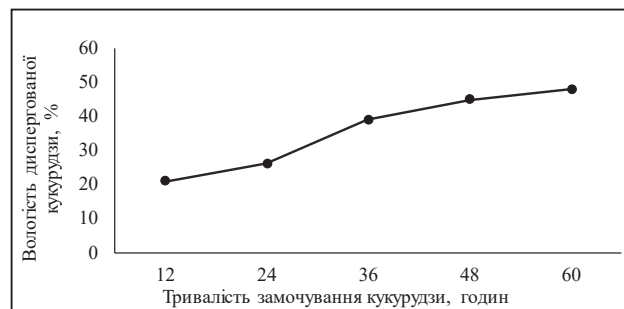


Рис. 1. Вплив тривалості замочування кукурудзи на вологість диспергованої зернової маси

Функціонально-параметрична схема приготування галет із диспергованою зерновою масою кукурудзи наведена на рис. 2.

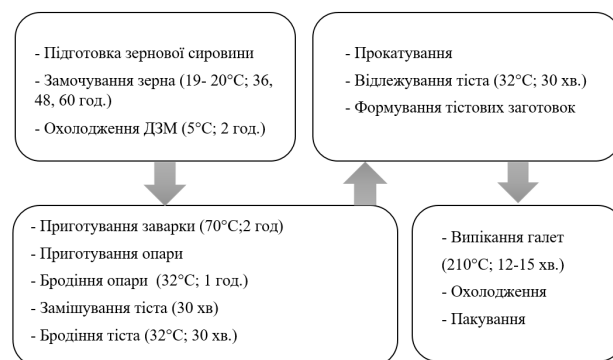


Рис. 2. Функціонально-параметрична схема виробництва галет із диспергованою кукурудзою

Для виготовлення зразків галет застосовували опарний спосіб приготування тіста. Для проведення дослідження були внесені зміни як до рецептурного складу продукту, так і до підготовки сировини і технології приготування тіста. У складі базової рецептури було використано 90, 50 і 25% оббивного борошна та відповідно 10, 50 та 75% диспергованої маси зерна кукурудзи після її замочування впродовж 36, 48 та 60 годин. Для покращення структурних властивостей галет додавали суху пшеничну клейковину у кількості 1, 2, 4% до сумарного вмісту диспергованої маси зерна кукурудзи та оббивного пшеничного борошна у рецептурі. Приготування тіста для всіх досліджуваних зразків галет здійснювали опарним способом із заварюванням диспергованої маси кукурудзи, що, за результатами попередніх досліджень, є необхідною операцією для підвищення якості кінцевого продукту [15]. У процесі приготування тіста спостерігалось формування пластичної, пружної структури тістового напівфабрикату у зразках 10:90, де у відсотковому співвідношенні було більше оббивного пшеничного борошна. Тістові заго-

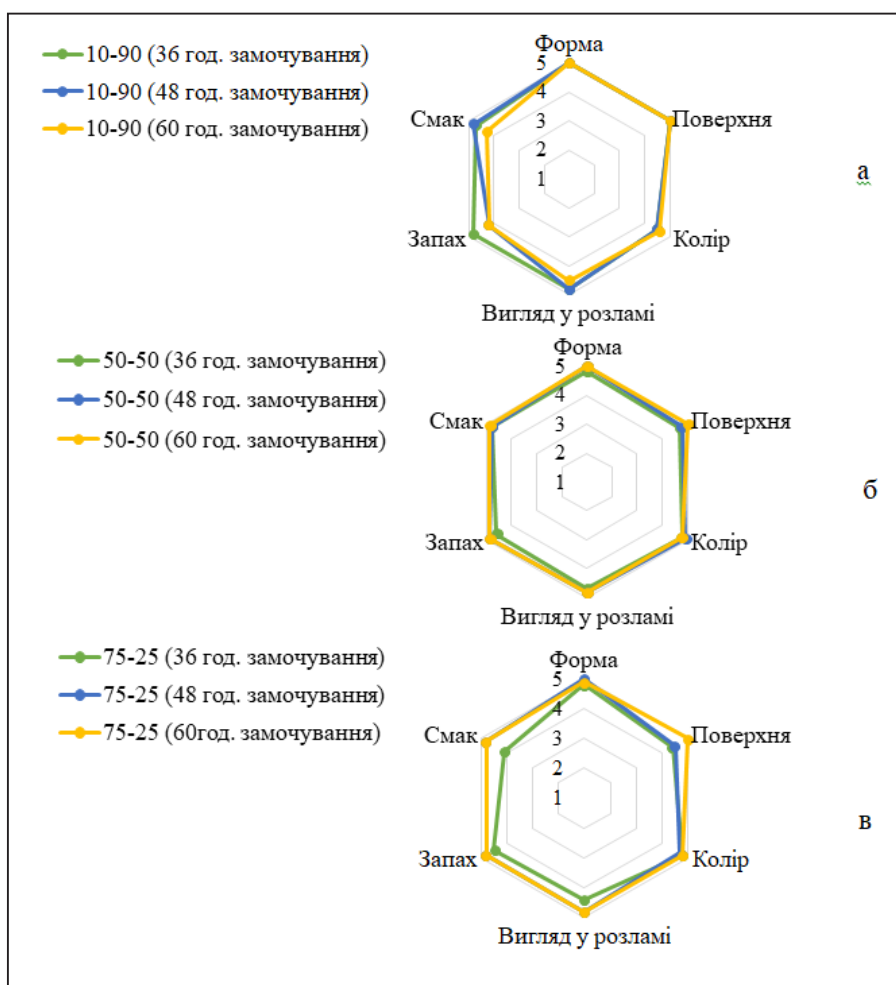


Рис. 3. Органолептична оцінка якості галет залежно від введення диспергової кукурудзи у рецептуру: а – 10%; б – 50%; в – 75%

товки краще тримали форму, ніж зразки зі збільшеним вмістом диспергової маси кукурудзи. Зразки із вмістом диспергової маси кукурудзи у співвідношенні 75:25 та 50:50 мали більш липку консистенцію тіста та викликали певні складнощі в розкочуванні тіста і виштампуванні тістових заготовок. Зразкам було надано балову оцінку за методикою [14].

Як видно із рис. 3, за результатами органолептичної оцінки найменшу кількість балів отримали зразки на 36 годин замочування сировини, це пов'язано із щільною структурою готового виробу та значними вкрапленнями диспергової маси кукурудзи. Найвищу бальну оцінку отримали зразки, виготовлені за умови використання кукурудзи, що була попередньо замочена протягом 60 годин. Зразки галет з дисперговою масою кукурудзи та оббивним пшеничним борошном у співвідношенні 10:90 органолептично майже нічим не відрізняються від традиційних галет з оббивного борошна. Зразки галет з диспергова-

ною масою кукурудзи та оббивним пшеничним борошном у співвідношенні 75:25 характеризувались вищою баловою оцінкою.

Недоліком такої продукції були значні вкраплення диспергової маси кукурудзи та щільна структура готового виробу. Борошняні вироби, виготовлені із диспергової зернової маси, отриманої за попереднього замочування кукурудзи протягом 60 годин, і оббивного пшеничного борошна у співвідношенні останніх у рецептурі 50:50 характеризувались більш однорідною структурою і найбільш повними органолептичними профілями, що пов'язано із досягненням за вказаних умов необхідного рівня розрихлення ендосперму, необхідного для ефективного здрібнення зерна у диспергаторі.

Слід зауважити, що отримані дослідні зразки галет із додаванням диспергової зернової маси характеризувались досить щільною структурою. Тому для покращення текстурних характеристик цільнозернових кукурудзяних галет у рецептуру

було введено суху клейковину, адже кукурудза не містить у своєму складі глютену, тому формування пористої структури продукту утруднюється. Порівняльна органолептична оцінка якості галет з підвищеною часткою диспергованої зернової маси відображена на рис. 4. Додавання сухої пшеничної клейковини до рецептури створило більш сприятливі умови для гідролітичних процесів у тісті, які забезпечили більш пористу структуру готових виробів, що вплинуло на поглинальну здатність галет.



Рис. 4. Порівняльна органолептична оцінка якості галет з підвищеною часткою диспергованої зернової маси

Встановлено, що на якість зернових галет впливає ступінь зволоження зерна. Так, за збільшення вологості зернової маси збільшуються такі показники, як об'єм виробу, крихкість та намоочуваність зернових галет, що може пояснюватися впливом вологості на фізичні і біохімічні зміни в напівфабрикати в процесі їх теплової обробки.

Намоочуваність є важливим показником якості галет, що характеризує пористість виробу. Результати досліджень показали, що за введення до рецептури сухої пшеничної клейковини, намоочуваність галет збільшувалась (рис. 5).

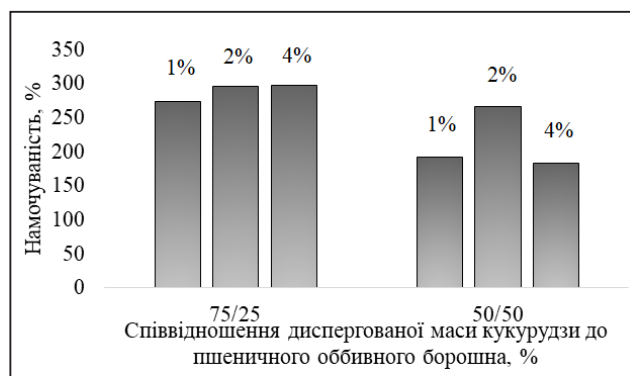


Рис. 5. Водопоглинальна здатність галет за додавання сухої пшеничної клейковини

Слід відзначити зменшення показника намоочуваності у зразків із різною тривалістю замочування кукурудзи, до яких не додавалася суха пшенична клейковина. Це пов'язано з більш щільною структурою борошняних виробів та зменшеним вмістом клейковини. У зразках галет із співвідношенням диспергованої зернової маси кукурудзи до оббивного пшеничного борошна 10:90 спостерігається найбільш щільна структура готових виробів порівняно із зразками 50:50 і 75:25 відповідно. Очевидно, це пов'язано з високою вологопоглинальною здатністю оббивного пшеничного борошна. У результаті було отримано щільну структуру тістових заготовок, що вплинуло на намоочуваність готових виробів та збільшило їх твердість. У зразках 75:25 та 50:50 структура тіста була не щільна, позаяк вологопоглинальна здатність диспергованої маси кукурудзи нижча, ніж оббивного борошна. Проте готові вироби – галети зі збільшеною часткою диспергованої кукурудзи за умови додавання клейковини у кількості 1–2% борошняно-зернової основи – характеризувались покращеними смаковими характеристиками, мали кращу структуру і пористість і, відповідно, вищу водопоглинальну здатність.

**Висновки.** Використання диспергованої зернової маси кукурудзи дає змогу покращити якість галет і розширити асортимент борошняних кондитерських виробів функціонального призначення, придатних як для повсякденного вживання, так і харчування в екстремальних умовах. Виявлено, що збільшення тривалості замочування кукурудзи з 12 до 60 годин викликає зростання вологості зерна з 21 до 48%. Найвищою є швидкість поглинання води кукурудзою перші 36 годин. Потім зміна вологості перебуває в межах 3–5%. Використання диспергованої маси, одержаної з кукурудзи, замоченої менше 36 годин, є нераціональним щодо якості готової продукції. Борошняні вироби, виготовлені із диспергованої зернової маси, отриманої за попереднього замочування кукурудзи протягом 60 годин, і оббивного пшеничного борошна у співвідношенні останніх у рецептурі 50:50 характеризувались найбільш однорідною структурою і високими органолептичними якостями. Введення у рецептури галет клейковини у кількості 1–2% до борошняно-зернової основи не лише поліпшує структуру, водопоглинальну здатність виробів, їхні смакові якості, але й дає змогу підвищити вміст диспергованої кукурудзи у продукті на 50%, підвищуючи його функціональність.

## Список літератури:

1. Алексеенко А. Нетрадиционное природное сырье для производства хлебобулочных изделий. Хлебопродукты. 2008. № 9. С. 50–51.
2. Лубенець Т.П., Миколенко С.Ю. Вплив диспергованого зерна кукурудзи на якість галет. Хранение и переработка зерна. 2018. № 3 (223). С. 32–34.
3. Макарова О.В., Иоргачева Е.Г., Иванова А.С., Черниченко А.В. Мучные изделия на основе новых видов зернового сырья. Наукові праці ОНАХТ. 2011. № 40. С. 109–114.
4. Статистична інформація офіційного сайту Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
5. Мартиросян В.В. Новые сорта зерна кукурузы как источник резистентного крахмала. Сборник материалов круглого стола «Инновационные технологии для производства продуктов питания функционального назначения». М.: «Копимастерцентр». С. 47–48.
6. Кизатова М.Ж., Набиева Ж.С., Нурмат М.Н. Пророщенное зерно кукурузы – ценное сырье для биоприправы. Наукові праці ОНАХТ. № 42. С. 247–250.
7. Шкапов Е.И. Совершенствование технологии диспергирования зерна для производства хлебобулочных изделий. 2002. № 3. С. 379.
8. Смирнова М.К., Абрамова Г.Г. Рецептуры на печенье, галеты и вафли. Москва. 1967. С. 206–211.
9. Курманов А.К., Исинтаев Т.И., Костанайский Г.У., Рыспаев К.С. Совершенствование методики исследования роторного диспергатора. М.: Пищевая промышленность, 1977. 130 с.
10. Дорохович А.М., Ковбаса В.М. Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів: навч. посіб. Київ. «Інкос», 2015. 632 с.
11. Печиво. Загальні технічні умови ДСТУ 3781-98. (чинний від 01.07.1999). К.: Держспоживстандарт України, 1998. 22 с. (Національний стандарт України)
12. Урбанчик Е.Н. Влияние режимов проращивания на химический состав зерна. Обладнання та технології харчових виробництв. Донецьк. 2009. С. 375–383.
13. Смирнова М.К., Абрамова Г.Г. Рецептуры на печенье, галеты и вафли. Москва. 1967. С. 206–211.
14. Дорохович А.М. Розроблення і виробництво кондитерських виробів, хімічний склад яких відповідає вимогам нутріціології відносно потреб харчування різних груп населення, як одна з головних проблем кондитерської галузі. Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. К.: НУХТ, 2015. С. 9–13.
15. Крикун Л.Ю., Кривобок Я.К., Миколенко С.Ю. Використання біологічно активованої кукурудзи у технології зернових галет. Конференція MicroCad. 2018. Секція 11. № 73, С. 252.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗЕРНОВЫХ ГАЛЕТ ИЗ ДИСПЕРГИРОВАННОЙ КУКУРУЗЫ

*Статья посвящена исследованию технологических особенностей применения диспергированной кукурузы для производства мучных кондитерских изделий, а именно галет оздоровительного назначения. Осуществлен обзор научных работ, направленный на улучшение качества данного вида печенья. Определены функциональные свойства диспергированной кукурузы. Исследовано влияние рецептурного состава галет на качество продукта. Определена зависимость качества готового продукта от продолжительности замачивания зернового сырья. Обосновано использование галет из диспергированной кукурузы как питательного и оздоровительного продукта в повседневном питании.*

**Ключевые слова:** галеты, диспергирование, кукуруза, клейковина, функциональный оздоровительный продукт.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF DISPERSED CORN HARDTACKS

*The article is devoted to the study of the technological features of the use of dispersed corn for the production of flour confectionery products, namely hardtack of nutritional purposes. A review of scientific works was aimed at improving the quality of this type of cookies. The functional properties of dispersed corn are determined. The influence of biscuits composition on quality of the product was investigated. The dependence of the quality of the finished product on the duration of soaking corn was determined. The use of dispersed corn hardtack as a wholesome and health-improving product of everyday nutrition was substantiated.*

**Key words:** hardtack, dispersion, corn, gluten, functional food.

УДК 637.04

**Назаренко Ю.В.**

Сумський національний аграрний університет

**Трейтяк Ю.А.**

Сумський національний аграрний університет

**Іващенко А.С.**

Сумський національний аграрний університет

## ВИКОРИСТАННЯ КОЗИНОГО МОЛОКА У ХАРЧУВАННІ СУЧАСНОЇ ЛЮДИНИ

*Розглянуто перспективність використання козиного молока у харчуванні сучасної людини. Висвітлено проблемні питання використання козиного молока, сучасний рівень його використання в технології харчової продукції. На підставі порівняння досліджень з літературних джерел виявлено можливість створення інноваційних молочних продуктів для оздоровчого харчування на основі козиного молока. Визначено мету подальшого дослідження якісних показників продуктів з козиного молока.*

**Ключові слова:** козине молоко, технологія виробництва, суміш, коров'яче молоко.

**Постановка проблеми.** Харчова промисловість є важливою складовою частиною аграрного сектору економіки України, яка відіграє провідну роль у забезпеченні населення харчовими продуктами в асортименті й обсягах, достатніх для формування збалансованого харчового раціону. Не є винятком і молочна промисловість, стратегічними завданнями розвитку якої є посилення інноваційної діяльності, розробка та впровадження інноваційних і ресурсозберігаючих технологій, систем управління якістю, екологічного менеджменту, безпечність, підвищення конкурентоспроможності продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках [1–2].

З огляду на зазначене особливої актуальності набуває тема козиного молока. Згідно зі статистичними даними, за останні роки Україна серед 197 країн світу, що розводять кіз, перебуває на 87-му місці з поголів'ям близько 650 тис. голів. Цей факт є відображенням того, що в нашій державі розводять тварин молочного та комбінованого напрямів продуктивності [1].

Тож залучення козиного молока до технологічного процесу виробництва молочної продукції дасть змогу підприємствам молочної промисловості одержати продукцію з новими споживчими властивостями (харчовою та біологічною цінністю, смаковими властивостями, ціною доступністю, строками зберігання) для широких верств населення України [1–3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Україні налічується близько 300 господарств з

різними формами власності, що спеціалізуються на розведенні кіз [2], що не досить для усунення дефіциту в продуктах з козиного молока, що мають більш високу поживну і біологічну цінність порівняно з продуктами з коров'ячого молока. Однак виробництво питного молока, сичужного сиру і сиру на промисловій основі не знайшло широкого застосування в Україні. Одним зі стримуючих факторів у переробці козиного молока на питне молоко і ферментовані продукти є недосконалість нормативної бази: відсутність (до недавнього часу) національних стандартів України на заготовлення козиного молока, питне молоко і ферментовані молочні продукти (сичужні сири, сир). При цьому за відсутності результатів порівняльного аналізу фізико-хімічного складу та мікробіологічних показників коров'ячого та козиного молока розробка жодного зі стандартів неможлива. Аналіз опублікованих результатів досліджень фізико-хімічного складу молока різних видів тварин, зокрема козиного, показав великі інтервали розбіжностей в показниках основних його компонентів (масової частки жиру, білка, лактози) [2–5]. Достовірними з них є лише ті, що стосуються зміни фізико-хімічного складу козиного молока залежно від породи, стадії лактації. Так, на початку і наприкінці лактації в козиному молоці більше жиру, в середині, коли на літніх кормах продуктивність тварин максимальна, його вміст зменшується, щільність молока вища на початку і нижча в середині і наприкінці лактації, показник свіжості літнього періоду року

Таблиця 1

**Хімічний склад козиного та коров'ячого молока**

| Найменування компонента | Козине, % (>) | Коров'яче, % (<) | Відхилення, % |
|-------------------------|---------------|------------------|---------------|
| Сухі речовини           | 13,3          | 12,5             | >0,8          |
| Жир                     | 4,0           | 3,4              | >0,6          |
| Білки                   | 3,5           | 3,2              | >0,3          |
| Казеїн                  | 2,9           | 2,6              | >0,3          |
| Сироваткові білки       | 0,60          | 0,63             | <0,03         |
| Альбумін                | 0,06...0,17   | 0,06...0,17      | 0             |
| Глобулін                | 0,2...0,4     | 0,2...0,4        | 0             |
| Лактоза                 | 4,1           | 4,8              | <0,7          |
| Мінеральні речовини     | 0,9           | 0,7              | >0,2          |

Таблиця 2

**Фізико-хімічні властивості козиного і коров'ячого молока**

| Фізико-хімічні властивості молока | Козине, % | Коров'яче, % |
|-----------------------------------|-----------|--------------|
| Активна кислотність, pH           | 6,4...6,7 | 6,7          |
| Титрована кислотність, °Т         | 17-19     | 16-18        |
| Окислювально-відновний потенціал  | 0,27      | 0,2...0,3    |
| Густина, кг/м <sup>3</sup>        | 1031      | 1027         |
| В'язкість, Па • с                 | 0,0021    | 0,0018       |
| Поверхневий натяг, Н/м            | 0,0044    | 0,0044       |
| Осмотичний тиск, МПа              | 0,67      | 0,66         |
| Температура замерзання, °С        | -0,54     | -0,54        |
| Температура кипіння, °С           | 100,2     | 100,2        |

Таблиця 3

**Вміст основних білків козиного і коров'ячого молока**

| Білок молока           | Козине (>), % | Коров'яче (<), % | Відхилення, % |
|------------------------|---------------|------------------|---------------|
| Казеїн                 | 2,9           | 2,6              | >0,3          |
| α <sub>1</sub> -казеїн | —             | 1,2...1,5        |               |
| α <sub>2</sub> -казеїн | —             | 0,3...0,4        |               |
| β-казеїн               | 2,8...3,0     | 0,9...1,1        | >1,9          |
| κ-казеїн               | —             | 0,2...0,4        |               |

козиного молока вищий порівняно з аналогічним показником зимового молока, що пояснюється впливом високої температури навколишнього середовища [6]. З публікацій одних вчених відомо, що за фізико-хімічним складом козине молоко відрізняється від коров'ячого молока [4; 7], але в інших вказується, що воно за вмістом його основних складових компонентів, таких як жир, білок і лактоза, максимально наближене до коров'ячого молока [7]. При цьому простежуються суттєві відмінності в кількості і розмірах (діаметрі) жирових кульок (ЖК) коров'ячого та козиного молока та амінокислотному складі білків. Так, з публікацій учених відомо, що діаметр ЖК козячого молока становить 2 мкм, а коров'ячого – 21,2–31,2 мкм. Вищевказані протиріччя з наукових джерел інформації свідчать про необхідність проведення додаткових досліджень фізико-хімічного

складу та санітарно-екологічних показників проб коров'ячого та козиного молока [7–9].

**Постановка завдання.** Метою роботи є узагальнення даних літератури з використання козиного молока у виробництві молочних продуктів; проведення порівняльної характеристики козиного і коров'ячого молока для визначення харчової та біологічної цінності молочних продуктів на основі козиного молока.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Козине молоко має високі оздоровчі властивості завдяки жиру, який легко засвоюється організмом людини, високому вмісту кальцію і фосфору, молочному цукру, який розчинений в молоці повністю [10–12].

На відміну від коров'ячого, козяче молоко не містить алергенів, воно корисне дітям, особливо з ослабленим здоров'ям і людям, які мають

## Амінокислотний склад основних фракцій казеїну козиного і коров'ячого молока

| Амінокислота | Козине молоко, % | Коров'яче молоко, % |            |                 |                  |
|--------------|------------------|---------------------|------------|-----------------|------------------|
|              | $\beta$ -казеїн  | as1-казеїн          | as2-казеїн | $\beta$ -казеїн | $\kappa$ -казеїн |
| Аспарагінова | 2,9              | 3,52                | 1,93       | 1,91            | 2,37             |
| Аспарагін    | 3,9              | 4,02                | 6,76       | 2,39            | 4,14             |
| Глутамінова  | 9,7              | 12,06               | 12,08      | 8,61            | 7,69             |
| Глутамін     | 11,9             | 7,54                | 7,25       | 10,05           | 8,28             |
| Гліцин       | 2,94             | 4,52                | 0,97       | 2,39            | 1,18             |
| Аланін       | 2,91             | 4,52                | 3,86       | 2,39            | 8,88             |
| Валін        | 10,8             | 5,53                | 6,76       | 9,09            | 6,51             |
| Лейцин       | 11,33            | 8,54                | 6,28       | 10,53           | 4,73             |
| Ізолейцин    | 6,78             | 5,53                | 5,31       | 4,78            | 7,69             |
| Серин        | 8,23             | 8,04                | 8,21       | 7,66            | 7,69             |
| Треонін      | 5,78             | 2,51                | 7,25       | 4,31            | 8,28             |
| Цистеїн      | 0                | –                   | 0,97       | –               | 1,18             |
| Метіонін     | 3,87             | 2,51                | 1,93       | 2,87            | 1,18             |
| Лізин        | 7,98             | 7,04                | 11,58      | 5,26            | 5,33             |
| Гістидин     | 3,45             | 2,51                | 1,45       | 2,39            | 1,78             |
| Аргінін      | 3,56             | 3,01                | 3,00       | 1,91            | 2,96             |
| Тирозин      | 3,09             | 5,02                | 5,80       | 1,91            | 5,33             |
| Фенілаланін  | 6,76             | 4,02                | 3,0        | 4,31            | 2,37             |
| Пролін       | 20,67            | 8,54                | 4,83       | 16,75           | 11,83            |
| Триптофан    | 2,07             | 1,00                | 0,97       | 0,48            | 0,59             |

захворювання шлунково-кишкового тракту та порушення обміну речовин. Козине молоко володіє антиінфекційною, антианемічною та антигеморагічною дією, тому довго не скисає.

Питання заготівлі козиного молока для промислової переробки, розробки технологій виробництва харчових молочних продуктів на його основі в Україні відпрацьовані не в повному обсязі. До певного часу проблематично було реалізувати козине молоко навіть на ринках, оскільки не було нормативного документа, який би регламентував його якість і безпечність [7; 9].

Нині показники якості козиного молока регламентують «Правила ветеринарно-санітарної експертизи молока і молочних продуктів та вимоги щодо їх реалізації», ТУ ДСТУ 7006:2009 «Молоко козине. Сировина» [4; 5].

Порівняльний аналіз хімічного складу козиного та коров'ячого молока наведено в табл. 1.

Як видно з таблиці 1, вміст основних харчових речовин (білків, жирів і вуглеводів) в коров'ячому і козиному молоці дуже близький, співвідношення казеїну і сироваткових білків у коров'ячому і козиному молоці також дуже схожі. Однак, незважаючи на схожість абсолютного рівня білків і жирів у коров'ячому і козиному молоці, їх якісний склад істотно відрізняється [1; 7; 13].

Свіже і щойно видоєне козине молоко багате на низку бактерицидних властивостей. На відміну від молока корови, в ньому містяться активні речовини. Саме завдяки їм молоко кози тривалий час залишається свіжим [12–14].

Порівняльний аналіз фізико-хімічних властивостей козиного та коров'ячого молока наведено в таблиці 2.

Фізико-хімічні показники впливають на технологічні властивості молока, тобто є деяка різниця в хімічних показниках молока, отже, технологічні властивості можуть бути різними і вони потребують дослідження технологічних параметрів.

Загальний вміст білків молока від різних тварин, за даними Спілки молочних підприємств України, становить 2,8–3,6%. Вони різноманітні за будовою, фізико-хімічними властивостями та фізіологічними функціями [15–16].

Усі білки молока ділять на три групи – казеїн, сироваткові білки і білки оболонки жирових кульок. Відносний вміст казеїнової фракції становить близько 79,5%, сироваткових білків – близько 19,3%, білків оболонки жирових кульок – 1,2% [5; 17].

Вміст основних білків козиного та коров'ячого молока наведено в таблиці 3.

У козиному молоці повністю відсутній кап-казеїн, що міститься в коров'ячому молоці. Відмін-

Таблиця 5

**Порівняльний вміст основних сироваткових білків козиного і коров'ячого молока**

| Білок молока                  | Козине (>), % | Коров'яче(<), % | Відхилення, % |
|-------------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| Сироваткові білки             | 0,60          | 0,63            | <0,03         |
| а-лактальбумін                | 0,06...0,17   | 0,06...0,17     | 0             |
| β- лактоглобулін              | 0,2...0,4     | 0,2...0,4       | 0             |
| Альбумін сироватки крові      | 0,04          | 0,04            | 0             |
| Імуноглобуліни                | 0,04...0,07   | 0,04...0,07     | 0             |
| Білки оболонки жирових кульок | 0,04          | 0,04            | 0             |
| Інші                          | 0,07          | 0,08            | <0,01         |

Таблиця 6

**Амінокислотний склад основних представників сироваткових білків козиного і коров'ячого молока**

| Амінокис-лота | Козине молоко,% |                  | Коров'яче молоко,% |                  |
|---------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------|
|               | а-лактальбумін  | β- лактоглобулін | а-лактальбумін     | β- лактоглобулін |
| Аспарагінова  | 7,33            | 6,20             | 7,32               | 6,17             |
| Аспарагін     | 4,75            | 3,12             | 9,76               | 3,09             |
| Глутамінова   | 6,55            | 7,50             | 6,50               | 9,88             |
| Глутамін      | 4,0             | 5,78             | 4,06               | 5,56             |
| Гліцин        | 4,86            | 2,59             | 4,88               | 2,47             |
| Аланін        | 2,45            | 5,17             | 2,44               | 9,26             |
| Валін         | 4,89            | 5,67             | 4,88               | 5,55             |
| Лейцин        | 5,55            | 7,45             | 10,57              | 13,58            |
| Ізолейцин     | 6,40            | 6,20             | 6,50               | 6,17             |
| Серин         | 5,77            | 4,36             | 5,69               | 4,32             |
| Треонін       | 5,58            | 4,87             | 5,69               | 4,94             |
| Цистеїн       | 6,51            | 3,14             | 6,50               | 3,09             |
| Метіонін      | 0,76            | 2,34             | 0,81               | 2,47             |
| Лізин         | 9,80            | 9,35             | 9,76               | 9,26             |
| Гістидин      | 2,34            | 1,34             | 2,45               | 1,23             |
| Аргінін       | 0,80            | 1,71             | 0,81               | 1,85             |
| Тирозин       | 3,20            | 2,41             | 3,25               | 2,47             |
| Фенілаланін   | 8,30            | 2,50             | 3,25               | 2,47             |
| Пролін        | 1,65            | 4,87             | 1,63               | 4,94             |
| Триптофан     | 8,15            | 1,41             | 3,25               | 1,23             |

ності в складі і структурі білків козиного і коров'ячого молока лежать в основі відмінностей і інших їх властивостей. Зокрема, згусток, що утворюється в шлунку під час перетравлення козиного молока, на відміну від коров'ячого, значно менший за своїми розмірами і менш щільний, що полегшує його переварювання [14].

Білки козиного молока представлені β-казеїном, а в коров'ячому молоці казеїнова фракція білків представлена в основному альфа-S-1-казеїном, що і є причиною алергічних реакцій на молоко. При цьому козине молоко, як і коров'яче, відноситься до групи казеїнових. Ось тільки в козиному не міститься головної причини алергічних реакцій на молоко – альфа-1s-казеїну, основною фракцією є бета-казеїн, тому тема роботи є актуальною з точки зору гіпоалергенності [17–19].

Порівняльний аналіз амінокислотного складу фракцій козиного та коров'ячого молока наведено в таблиці 4.

Якість козиного молока набагато вища коров'ячого, воно більш однорідне, містить більше безбілкового азоту, білки його кращої якості з більш високим вмістом тіаміну, ніж будь-яка інша їжа. Таким чином, козине молоко є потенційним джерелом сировини, з нього або з суміші на його основі з додаванням коров'ячого молока можна без істотних змін у технології виготовляти високоякісні продукти. Високотехнологічні продукти з суміші козиного і коров'ячого молока можуть забезпечити повноцінне, раціональне і здорове харчування дітей і дорослих, тому тема роботи є актуальною [5;12].

Таблиця 7

**Вміст міnorних кислот молочного жиру  
у козиному і коров'ячому молоці**

| Жирині кислоти        | Козине, % | Коров'яче, %  |
|-----------------------|-----------|---------------|
| <b>Насичені</b>       |           |               |
| Масляна               | 4,98      | 4,74...6,95   |
| Капронова             | 10,50     | 2,53...3,31   |
| Каприлова             | 17,87     | 1,27...1,57   |
| Капринова             | 9,49      | 2,24...2,85   |
| Лауринова             | 7,56      | 2,17...2,95   |
| Міристинова           | 9,34      | 8,25...10,41  |
| Пальмітинова          | 8,32      | 22,82...31,33 |
| Стеаринова            | 5,12      | 9,95...12,02  |
| Арахінова             | 6,76      | 0,16...0,21   |
| <b>Мононенасичені</b> |           |               |
| Мірістолейнова        | 5,02      | 0,54...1,02   |
| Пальмітолейнова       | 8,99      | 1,33...2,04   |
| Олейнова              | 9,45      | 17,64...22,89 |
| <b>Поліненасичені</b> |           |               |
| Лінолева              | 7,03      | 1,36...2,18   |
| Ліноленова            | 4,87      | 0,40...1,01   |
| Арахідонова           | 9,43      | 0,11...0,15   |

Основними представниками сироваткових білків є  $\alpha$ -лактальбумін,  $\beta$ -лактоглобулін, імуноглобулін, альбумін сироватки крові. Білки оболонки жирових кульок найменш вивчені, точної класифікації ще не має [18].

Порівняльний аналіз сироваткових білків козиного та коров'ячого молока наведено в таблиці 5.

У групі сироваткових білків основним у козиному молоці є альфа-лактоальбумін, а в коров'ячому молоці – бета-лактоглобулін [10].

Білок альфа-лактоальбумін, що становить основу сироваткової групи в козиному молоці, володіє яскраво вираженими антибактеріальними, імуностимулюючими властивостями. Він відрізняється високим вмістом лізину, фенілаланіну і триптофану – найбільш важливих з незамінних амінокислот. Білку бета-лактоглобуліну, що переважає в коров'ячому молоці, ці властивості притаманні меншою мірою [1].

Порівняльний аналіз амінокислотного складу основних представників сироваткових білків козиного та коров'ячого молока наведено в таблиці 6.

Білки козиного молока відрізняються від коров'ячого однією дуже цінною властивістю – вони практично повністю розщеплюються в процесі травлення на складові частини (амінокислоти), а не всмоктуються в неперетравленому вигляді. Завдяки цій важливій особливості всі білки, в тому числі бета-лактоглобулін козиного

молока, більш природно сприймаються організмом, не провокуючи розвиток алергії [15].

Вміст жиру у молоці становить 2,8–4,2%. Головні компоненти його – ацилгліцериди, вміст їх у жирі становить 98–99% [3].

Властивості молочного жиру (консистенція, смак, запах, температура плавлення, здатність до окислення, утворення трансізомерів та ін.) цілком залежить від складу жирних кислот [3; 5].

Жирові кульки козиного молока в 10 разів дрібніші порівняно з коров'ячим (0,001 мм), завдяки чому жир краще засвоюється. Жир козиного молока на 67% складається із ненасичених жирних кислот, для порівняння жир коров'ячого – лише на 61%. Білки молока кіз за рахунок підвищеного вмісту в них альбумінів згортаються в дрібні пластівці, що дає змогу їм легше засвоюватися [3].

Вартий уваги і той факт, що в козиному молоці порівняно з коров'ячим вміст насичених жирних кислот відбувається за рахунок міристинової та пальмітинової кислот. Вчені відзначають значно меншу кількість (у 9,6 раза) у молоці масляної кислоти.

У складі ненасичених жирних кислот у козиному молоці виявлено меншу концентрацію цис-форм октадецевої та вакденової жирних кислот. Стосовно овечого в козиному менше середньо- і довголанцюгових кислот, насичених і ненасичених, а в їх складі пальмітинової, стеаринової, олеїнової та їх трансізомерів октадецінової кислоти [1].

Порівняльний аналіз міnorних кислот молочного жиру у козиному та коров'ячому молоці наведено в таблиці 7.

Перетравність козиного молока та молочних продуктів дуже висока – 94–98 % [3; 7]. До того ж у козиному молоці є багато середньолацогових ліпідів, які всмоктуються в кров без активної участі жовчі в процесі розщеплення, а це означає, що засвоюються вони дуже швидко і майже не відкладаються в підшкірно-жировій клітковині. Тобто від козиного молока не гладшають, що робить його чудовою основою для виробництва продуктів дієтичного спрямування.

Основним вуглеводом молока є лактоза. Вона служить джерелом енергії, легко засвоюється і сприяє швидкому всмоктуванню в тонкому кишечнику фосфору, кальцію, магнію, вітаміну D. Лактоза – головний вуглевод молока, унікальний компонент, що не зустрічається більше в жодному продукті.

Досить поширена форма алергії, пов'язана з непереносимістю молочного цукру (лактози), не

Таблиця 8

**Вміст молочного цукру у козиному та коров'ячому молоці**

| Молочний цукор | Козине (>), % | Коров'яче (<), % | Відхилення, % |
|----------------|---------------|------------------|---------------|
| Лактоза        | 4,1           | 4,4...4,7        | <0,6          |
| Галактоза      | 0,02          | 0,02             | -             |
| Глюкоза        | 0,006         | 0,007            | <0,001        |

Таблиця 9

**Вміст вітамінів та мінеральних речовин у козиному та коров'ячому молоці**

| Найменування компонента                          | Козине (>), %           | Коров'яче (<), %        | Відхилення, % |
|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|
| <b>Вітаміни мг/100 см<sup>3</sup></b>            |                         |                         |               |
| Вітаміни А                                       | 0,05                    | 0,03                    | >0,02         |
| Вітаміни В                                       | 0,7 мкг/л               | 0,3 мкг/л               | >0,4          |
| Вітаміни В1                                      | 0,06                    | 0,04                    | >0,02         |
| Вітаміни В2                                      | 0,25                    | 0,15                    | >0,10         |
| Вітаміни В4                                      | 19                      | 15                      | >4            |
| Вітаміни В6                                      | 0,04                    | 0,05                    | <0,01         |
| Вітаміни В8                                      | 0,9 мкг/см <sup>3</sup> | 0,7 мкг/см <sup>3</sup> | >0,2          |
| Вітаміни В9                                      | 0,3 мкг/см <sup>3</sup> | 0,1 мкг/см <sup>3</sup> | >0,2          |
| Вітаміни В12                                     | 0,3мкг                  | 0,5мкг                  | <0,2          |
| Вітаміни Е                                       | 0,1                     | 0,1                     |               |
| Вітаміни Н                                       | 5,0 мкг/см <sup>3</sup> | 5,0 мкг/см <sup>3</sup> |               |
| Вітаміни С                                       | 2                       | 2                       |               |
| Вітаміни D                                       | 0,05                    | 0,05                    |               |
| Вітаміни РР                                      | 0,8                     | 0,3                     | >0,5          |
| Вітаміни К                                       | 0,038                   | 0,032                   | >0,006        |
| Бета-каротин                                     | -                       | 0,02                    |               |
| <b>Мінеральні речовини мг/100 см<sup>3</sup></b> |                         |                         |               |
| Кальцій                                          | 143                     | 122                     | >21           |
| Цинк                                             | 350                     | 400                     | <50           |
| Магній                                           | 18                      | 13                      | >5            |
| Кремній                                          | 200                     | 200                     |               |
| Натрій                                           | 41                      | 50                      | <9            |
| Залізо                                           | 57                      | 70                      | <13           |
| Калій                                            | 160                     | 148                     | >12           |
| Алюміній                                         |                         | 30                      |               |
| Фосфор                                           | 105                     | 92                      | >13           |
| Бор                                              |                         | 18                      |               |
| Хлор                                             | 121                     | 110                     | >11           |
| Олово, Бром                                      |                         | 15                      |               |
| Мідь                                             | 20 мкг                  | 12                      | >8            |
| Марганець                                        | 17мкг                   | 6                       | >11           |
| Молібден                                         | 3                       | 5                       | <2            |
| Кобальт                                          | 56                      | 45                      | >11           |

дає змогу багатьом людям включати в свій раціон коров'яче молоко і продукти його переробки. У козиному молоці лактози мало, люди з лактозною недостатністю можуть пити його без ризику [15].

Порівняльний аналіз молочного цукру у козиному та коров'ячому молоці наведено в таблиці 8.

У козиному молоці порівняно з коров'ячим вміст молочного цукру знижений і повністю розчинений, тому козине молоко краще перетравлю-

ється і не викликає алергічних реакцій на непереносимість молочного цукру.

Козине молоко відрізняється від коров'ячого більш високою біологічною активністю за всіма критеріями, зокрема і за вітамінною активністю. Воно на 50% більше містить вітаміну В1 і на 80% вітаміну В2.

Козине молоко містить хлор, фтор, кремній. Як відомо, кремній має тенденцію запобігати

цукровому діабету. У козиному молоці багато кальцію, магнію, заліза, марганцю і міді, аскорбінової кислоти – в 1,5, а нікотинової (вітаміну РР) – в 3 рази більше, ніж у коров'ячому. Багатий вітамінний склад молока можна пояснити тим, що кози їдять багато різноманітних трав. «Меню» у них набагато ширше, ніж у корів, що і надає молоку специфічний смак.

Порівняльний аналіз вітамінів і мінеральних речовин козиного та коров'ячого молока наведено в таблиці 9.

Дослідники вказують, що поживність козиного молока зумовлена не тільки хорошим амінокислотним складом, а й високим вмістом у ньому фосфору, кобальту, вітамінів А, В, С і D.

**Висновки.** Отже, можна зробити висновок, що козине молоко є перспективним напрямом агробізнесу та переробної галузі в тому сенсі, що таких підприємств в Україні мало, тому є змога заповнити нішу на продовольчому ринку.

Козине молоко – цінний харчовий продукт, популярність якого зростає з кожним роком,

хімічний склад і властивості козиного молока близькі до складу і властивостей коров'ячого. Але вигідно відрізняється більш високою кількістю білка, жиру і кальцію; містить мало каротину, тому має блідо-жовте забарвлення, продукт виготовлений із суміші на основі козиного молока буде збагачений кальцієм, калієм, фосфором, натрієм, магнієм та антиоксидантами. Козине молоко містить холестерин у збалансованому стані і запобігає будь-якому ризику несприятливого впливу холестерину на організм людини [1; 8].

Порівняно з коров'ячим переважає козиного молока є: має легше засвоюваний жир і білок; підвищений вміст легкозасвоюваного білка; має тенденцію до кращого перетравлення; може успішно замінити коров'яче молоко в харчуванні тих людей, які мають алергію на коров'яче молоко.

На нашу думку, значної уваги потребує розробка інноваційних технологій із використанням козиного молока, їх параметрів, рецептур та впровадження у виробництво.

#### Список літератури:

1. Галух Б.І. Накопичення продуктів протеолізу в процесі дозрівання бринзи з молока різних видів тварин. Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького. 2009. Т. 11, № 2 (41), ч 5., С 25–27.
2. Кошевой В.П. Проблеми відтворення овець та кіз і шляхи вирішення: монографія. Харків–Дніпропетровськ: Гамалія, 2011. 467 с.
3. Луценко М.К. Молоко козине – смачний, поживний і цінний продукт. Інформаційний щомісячник Пропозиція. 2005. № 10. URL: <http://www.propozitsiya@univest-media.com>.
4. ДСТУ 7006:2009. Молоко козине сировина. Чинний від 2010-01-01. Київ: Держспоживстандарт України. 2010. 14 с.
5. Правила ветеринарно-санітарної експертизи молока і молочних продуктів та вимоги щодо їх реалізації, затверджені наказом Держдепартаменту ветмедицини № 49 від 20.04.2004.
6. Сербіна В.С. Козівництво – перспективна галузь тваринництва України. Тваринництво України. 2012. № 8. С. 20–23.
7. Таран Т. В., Скорик К. О. Якість молока кіз різних порід: наукові доповіді НУБіП. 2011. № 7 (29). URL: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011\\_7/11\\_ttv.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011_7/11_ttv.pdf)
8. Чикалев А.И., Юлдашбаев Ю.А. Козоводство. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2012. 256 с.
9. Шкоропад Л.П. Аналіз виробництва козиного молока в Україні. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2014. Вип. 18 (32), книга 2. С. 327–334.
10. Ротфорт Д.В. Культура харчування як складова культури здоров'я людини. Збірник наукових праць. С. 266–273.
11. Баранова М.Г., Осташевская Д.М., Красникова Л.В. Химический состав козьего молока. Молочная промышленность. 1998. № 2. С. 25–26.
12. Луценко М. Козине молоко – смачний поживний і цінний продукт. Пропозиція. 2005. № 10. С. 120–121.
13. Бабін О.П. Чому Європа розвиває козівництво. Газета «Земля моя кормилиця». 2013 р. № 4 (682). С. 6.
14. Державний комітет статистики України. Ukraine statistics. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
15. Едзаева Д.В. Козья ферма – это реально и прибыльно. ИД «Крестянин». URL: <http://www.krestianin.ru>
16. Новопашина С.О. Коза как она есть. Перспективы развития козоводства. Тваринництво України. 2013 р. № 3. С. 8–10.
17. Тваринництво України. Статистичний збірник за 2012 рік. Державний комітет статистики України за ред. Н.С. Власенко. Київ. 2013. 212 с.
18. Добрая спутница человека. URL: <http://www.vikilive.ru>
19. Иващенко С.М. Козу пора реабилитировать. Общественно- политическая газета «Открытая для всех и каждого». 2010 г. № 44 (435). URL: <http://www.opengaz.info>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЗЬЕГО МОЛОКА В ПИТАНИИ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА

*Рассмотрены перспективы использования козьего молока в питании современного человека. Освещены проблемные вопросы использования козьего молока, современный уровень его использования в технологии пищевой продукции. На основании сравнения исследований из литературных источников выявлена возможность создания инновационных молочных продуктов для оздоровительного питания на основе козьего молока. Определены цели дальнейшего исследования качественных показателей продуктов из козьего молока.*

**Ключевые слова:** козье молоко, технология производства, смесь, коровье молоко.

## USE OF GOAT'S MILK IN THE FOOD OF A MODERN PERSON

*The perspective of the goat's milk use in the nutrition of a modern man was considered. The problematic issues of the use of goat milk, the modern level of its consumption in food technology had been highlighted. On the basis of comparison of studies on literary sources the possibility of creating innovative dairy products for health nutrition on the basis of goat's milk was discovered. The purpose of further research of quality indices of goat milk products had been determined.*

**Key words:** goat's milk, production technology, mixture, cow's milk.

УДК 637.358

**Перцевой Ф.В.**

Сумський національний аграрний університет

**Бідюк Д.О.**

Сумський національний аграрний університет

**Душенюк Д.К.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**Маренкова Т.І.**

Сумський національний аграрний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ПОЛІСАХАРИДІВ У СИНЕРГЕТИЧНИХ КОМБІНАЦІЯХ «СУЛЬФАТОВАНИЙ ПОЛІСАХАРИД – КОНЖАКОВИЙ ГЛЮКОМАННАН»

У статті наведено дані щодо встановлення раціональних співвідношень гелеутворювачів у модельних системах «фурцелларан – конжаковий глюкоманнан» та «напівочищений каппа-каррагенан – конжаковий глюкоманнан» шляхом оптимізації результатів експериментальних досліджень за допомогою пакета MathCAD.

**Ключові слова:** фурцелларан, напівочищений каппа-каррагенан, конжаковий глюкоманнан, синергетична комбінація, оптимізація.

**Постановка проблеми.** Полісахариди харчових волокон мають фізіологічне значення. Вони впливають на перетравлюваність їжі взагалі та на зменшення потреб інсуліну в людей, які хворіють на цукровий діабет, зокрема. Ці полісахариди також впливають на метаболізм жовчних кислот, змінюють процес перетравлювання ліпідів, поглинання холестерину та захищають від раку кишківника [1]. Згадані полісахариди можуть протидіяти алергії на пшеничні білки. Такий ефект мають усі полісахариди та пов'язані з ними лігніни у харчовому раціоні, які не перетравлюються ендогенними секретами травного тракту людини [2]. Наявні дані, що дозволяють припустити можливість захисту чутливих людей від шкідливих алергічних реакцій, зокрема на пшеничні, соєві та молочні білки, за рахунок реакцій взаємодії полісахаридів із харчовими білками [3].

*Каррагенан* – загальна назва сімейства водорозчинних, лінійних, аніонних, сульфатованих полісахаридів, що набули широкого розповсюдження в технологіях багатьох харчових продуктів як загусники, гелеутворювачі, стабілізатори тощо [4–8; 9, с. 73].

*Каррагенан* – це лінійний полісахарид із високою молекулярною масою, що містить дисахаридні фрагменти галактози та 3,6-ангідрогалактози, які повторюються. Ці фрагменти можуть мати як сульфатовану, так і нессульфатовану форму

і з'єднані  $\alpha$ -(1-3) та  $\beta$ -(1-4) глікозидними зв'язками [10, с. 126]. Авторами [11; 12] виділено хімічні властивості трьох типів каррагенанів: лямбда-, йота- та каппа-. Вміст 3,6-ангідрогалактози та етерифікованих сульфатних груп, а також їх варіації впливають на гідратацію, міцність гелів, текстуру, температури плавлення та гелеутворення, синергезис і синергізм [10, с. 128]. Вміст етерифікованих сульфатних груп та 3,6-ангідрогалактози становить: в каппа-каррагенані – 24 та 34%, йота-каррагенані – 32 та 30%, лямбда-каррагенані – 35% та сліди 3,6-ангідрогалактози.

*Фурцелларан* є аніонним частково сульфатованим полісахаридом. Принципова різниця між фурцеллараном та каппа-каррагенаном полягає у тому, що останній має один сульфатний залишок складного ефіру на два залишки цукрів, а фурцелларан – один сульфатний залишок складного ефіру на три або чотири залишки цукрів [9].

*Конжаковий глюкоманнан* (далі – КГМ) – високомолекулярний, добре розчинний, нейтральний полісахарид рослинного походження, отриманий із конжакового борошна. Цей полісахарид здатний до гелеутворення як самостійно, так і в поєднанні з іншими полісахаридами із проявом синергетичних властивостей [9, с. 198].

Використання гелеутворювачів полісахаридної природи є дуже розповсюдженим у харчовій про-

Матриця планування експерименту в дослідженні системи полісахаридів

| Фактори | Номер досліду |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | 1             | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  |
| Ф1      | 0,0           | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| Ф2      | 1,0           | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |

мисловості та має позитивний вплив як на якість готової продукції, так і на здоров'я споживачів, але висока вартість цієї сировини є лімітувальним фактором для операторів ринку. З огляду на це, вважаємо доцільним провести оптимізацію співвідношення гелеутворювачів у синергетичних комбінаціях «напівочищений каппа-каррагенан – КГМ» та «фурцелларан – КГМ».

Для досягнення максимального ефекту у разі використання полісахаридів слід знати їх можливі синергетичні комбінації та застосовувати їх за оптимальних співвідношень. У розробці нових харчових систем або вдосконаленні наявних із використанням структуроутворювачів необхідно спиратись на властивості полісахаридів та характер їх взаємодії один з одним. Детальне вивчення властивостей сульфатованих полісахаридів у взаємодії з іншими добавками дозволить підвищити ефективність їх використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковцями [14] визначено технологічні параметри отримання змішаних гелів каппа-каррагенану та КГМ, що включають гідратацію суміші полісахаридів за співвідношення каппа-каррагенану та КГМ 5,5:4,5 і масової концентрації суміші 1,0% у дистильованій воді за температури 25°C, нагрівання отриманого розчину до температури 70°C протягом 30 хвилин до повного розчинення.

Ученими [9, с. 205; 15, с. 145] доведено можливість утворення високосинергетичних гелів між каппа-каррагенаном та глюкоманнанами, наприклад, камеддю ріжкового дерева та камеддю конжаку. Крім підвищення міцності гелю, такі камеді роблять структуру гелю більш еластичною і зменшують синерезис.

На сьогодні відсутні системні дослідження стосовно визначення раціональних співвідношень фурцелларану та напівочищеного каппа-каррагенану з КГМ.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є оптимізація співвідношення гелеутворювачів у модельних системах «фурцелларан – КГМ» та «напівочищений каппа-каррагенан – КГМ» за допомогою пакета MathCAD, базуючись на результатах попередніх досліджень та для отримання гелеподібних систем за максимальною міцністю.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

У процесі аналізу результатів попередніх експериментальних досліджень [16] встановлено, що міцність модельних систем збільшується в разі сумісного використання фурцелларану або напівочищеного каппа-каррагенану та КГМ.

Згідно із завданням дослідження, нами було оптимізовано співвідношення фурцелларану і КГМ та напівочищеного каппа-каррагенану і КГМ. Основним показником якості було обрано міцність модельних систем із використанням полісахаридів.

Відтак були сплановані та проведені повні факторні експерименти за методикою [17–20] типу 11<sup>2</sup>, де 2 – кількість компонентів гелів. Нижні та верхні рівні варіювання факторів були обрані від 0 до 1 з інтервалом 0,1. Матриця планування експериментів наведена в Таблиці 1. Апроксимацію експериментальних даних про зміну міцності структури модельних систем проводили поліномами другого ступеня за допомогою пакета MathCAD. Поліномами другого ступеня були обрані у зв'язку з тим, що, як свідчать попередні дані експериментів, залежності міцності структури гелів фурцелларану і КГМ та напівочищеного каппа-каррагенану і КГМ від співвідношення компонентів мають нелінійний характер.

Адекватність розроблених математичних моделей перевіряли за допомогою критерію Фішера за 5% рівня значимості, а значимість коефіцієнтів перевірялась за допомогою визначення довірчого інтервалу [21].

Після спрощення рівнянь за рахунок незначимих коефіцієнтів були отримані такі рівності, що характеризують міцність гелів модельних систем залежно від вмісту інгредієнтів у гелях:

– модельна система «фурцелларан + КГМ»:

$$Y = 268,236 \cdot X_1 \cdot X_2 - 268,236 \cdot X_2^2 + 101,554 \cdot X_2 + 160,175 + 166,682 \cdot X_1 - 268,236 \cdot X_1^2 \quad (4.1)$$

– модельна система «напівочищений каппа-каррагенан + КГМ»:

$$Y = 538,152 \cdot X_3 \cdot X_2 - 538,152 \cdot X_2^2 + 221,098 \cdot X_2 + 249,310 + 317,054 \cdot X_3 - 538,152 \cdot X_3^2 \quad (4.2)$$

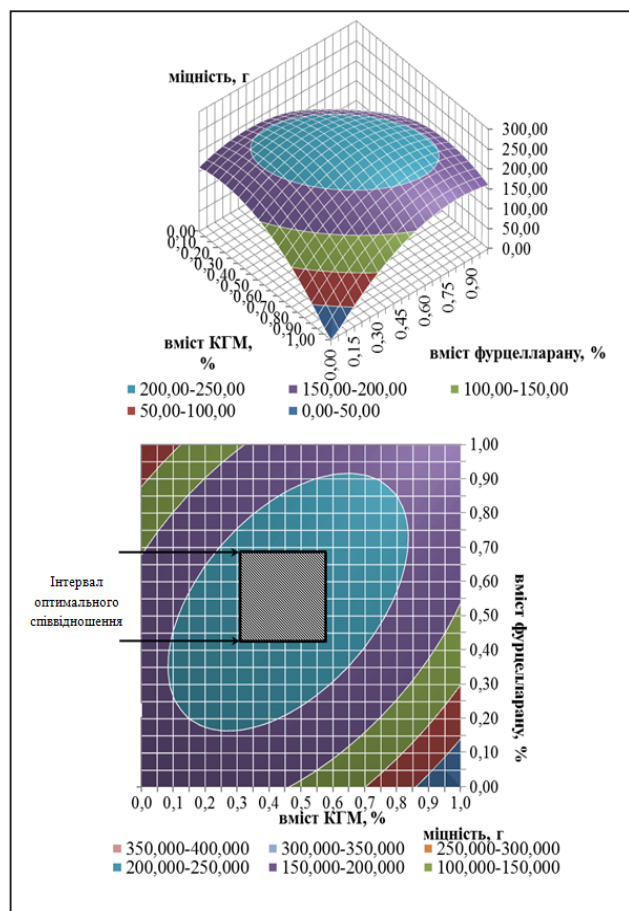


Рис. 1. Залежність міцності гелів модельної системи «фурцелларан + КГМ» від співвідношення полісахаридів

де  $\bar{X}_1$  – масова частка фурцелларану;  
 $\bar{X}_2$  – масова частка КГМ;  
 $\bar{X}_3$  – масова частка напівочищеного каппа-каррагенану;  
 $Y$  – показник міцності, г.

На основі отриманих даних нами побудовано графіки залежності міцності модельних систем від співвідношення полісахаридів у системі (Рис. 1, 2) та визначено ділянки оптимального співвідношення компонентів.

|          |       |
|----------|-------|
| $M_{xy}$ | $V_2$ |
| 0 1      | 0     |
| 0.1 0.9  | 88.7  |
| 0.2 0.8  | 127.3 |
| 0.3 0.7  | 168.3 |
| 0.4 0.6  | 186.2 |
| 0.5 0.5  | 209.4 |
| 0.6 0.4  | 234.4 |
| 0.7 0.3  | 244.8 |
| 0.8 0.2  | 220.3 |
| 0.9 0.1  | 84.0  |
| 1 0      | 51.0  |

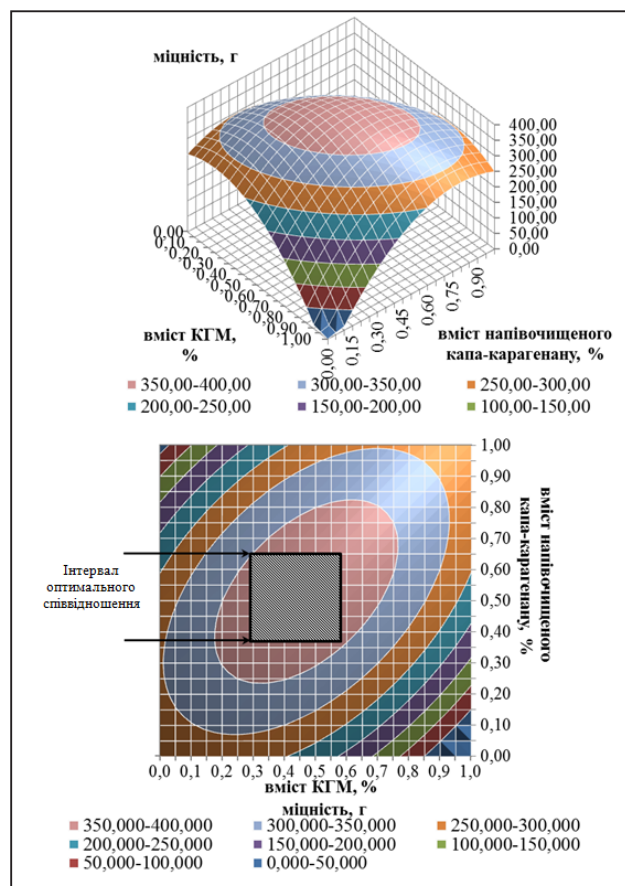


Рис. 2. Залежність міцності структури гелів модельної системи «напівочищений каппа-каррагенан + КГМ» від співвідношення полісахаридів

Створення векторів  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  експериментальних даних:

$$X := M_{xy}^{10} \quad Y := M_{xy}^{10} \quad Z := V_2^{10} \quad n := \text{rows}(V_2), n = 11,$$

$$V_2 := \text{regress}(M_{xy}, V_2, k),$$

$$fit(X) := \text{int\_exp}(V_2, M_{xy}, V_2, X) \quad \text{coeffs} := \text{submatrix}(Vs, 3, \text{довжина}(Vs) - 1, 0, 0)$$

$$(\text{coeffs})^T = (268.236 \quad -268.236 \quad 101.554 \quad 160.175 \quad 166.682 \quad -268.236)$$

$$R^2 := \frac{\sum (fit(X) - \text{mean}(Z))^2}{\sum (Z - \text{mean}(Z))^2} = 0.9996$$

ПІВНЯННЯ РЕГРЕСІЇ:

$$f(X, Y) := \text{coeffs0} \cdot X \cdot Y + \text{coeffs1} \cdot Y^2 + \text{coeffs2} \cdot Y + \text{coeffs3} + \text{coeffs4} \cdot X + \text{coeffs5} \cdot X^2$$

Оптимізація модельної системи «фурцелларан – КГМ». Двовимірна поліноміальна регресія, ступінь поліному  $k = 2$ .

Оптимізація модельної системи «напівочищений каппа-каррагенан – КГМ». Двовимірна поліноміальна регресія, ступінь поліному  $k = 2$ .

|          |     |     |         |       |
|----------|-----|-----|---------|-------|
|          | 0   | 1   |         | 0     |
|          | 0.1 | 0.9 |         | 85.0  |
|          | 0.2 | 0.8 |         | 144.0 |
|          | 0.3 | 0.7 |         | 230.8 |
|          | 0.4 | 0.6 |         | 300.0 |
| $Mxy :=$ | 0.5 | 0.5 | $Vz :=$ | 410.0 |
|          | 0.6 | 0.4 |         | 484.6 |
|          | 0.7 | 0.3 |         | 438.6 |
|          | 0.8 | 0.2 |         | 222.4 |
|          | 0.9 | 0.1 |         | 85.0  |
|          | 1   | 0   |         | 44.0  |

Створення векторів X, Y, Z експериментальних даних:

```
X := Mxy0 Y := Mxy1 Z := Vz0 n := rows(Vz), n = 11,
Vz := regarm(Mxy, Vz, k),
f(X) := interp(Vz, Mxy, Vz, X) coeffs := submatrix
(Vs, 3, длина (Vs) - 1, 0, 0)
(coeffs)T = (538.152 -538.152 221.098 249.31
317.054 -538.152)
```

$$R^2 := \frac{\sum (f(X) - \text{mean}(Z))^2}{\sum (Z - \text{mean}(Z))^2} = 0.9996$$

РІВНЯННЯ РЕГРЕСІЇ:

$$f(X, Y) := \text{coeffs0} \cdot X \cdot Y + \text{coeffs1} \cdot Y^2 + \text{coeffs2} \cdot Y + \text{coeffs3} + \text{coeffs4} \cdot X + \text{coeffs5} \cdot X^2$$

**Висновки.** Отже, за результатами математичної обробки результатів попередніх експериментальних досліджень було встановлено раціональні співвідношення для системи «сульфатований полісахарид – КГМ», що лежать у діапазоні: для модельної системи «напівочищений каппа-каррагенан – КГМ» – від 43:57 до 65:35 з оптимумом 60±3 : 40±3; для модельної системи «фурцелларан – КГМ» – від 33:67 до 73:27 з оптимумом 70±3 : 30±3. Оптимальні значення міцності модельних систем лежать у межах експериментальної похибки.

#### Список літератури:

1. Marsh M. N. Gluten, major histocompatibility complex, and the small intestine. *Gastroenterology*. 1992. № 1. P. 330–354.
2. Trowell H., Southgate D.A., Wolever T.M. [et al.] Dietary fiber redefined. *British medical journal*. 1976. № 6029. P. 236.
3. Yamauchi F., Suetsuna K. Immunological effects of dietary peptide derived from soybean protein. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 1993. № 8. P. 450–457.
4. Prajapati V.D., Maheriya P.M., Jani G.K., Solanki H.K. Carrageenan: a natural seaweed polysaccharide and its applications. *Carbohydrate Polymers*. 2014. № 105. P. 97–112.
5. Van De Velde F., Knutsen S.H., Usov A.I. [et al.] 1H and 13C high resolution nmr spectroscopy of carrageenans: application in research and industry. *Trends in Food Science and Technology*. 2002. № 3. P. 73–92.
6. Van De Velde F., Lourenço N.D., Pinheiro H.M., Bakker M. Carrageenan: a food-grade and biocompatible support for immobilization techniques. *Advanced Synthesis and Catalysis*. 2002. № 8. P. 815–835.
7. Campo V.L., Kawano D.F., da Silva D.B., Carvalho I. Carrageenans: biological properties, chemical modifications and structural analysis – a review. *Carbohydrate Polymers*. 2009. № 2. P. 167–180.
8. Van De Velde F., Antipova A.S., Rollema H.S. [et al.] The structure of κ/ι-hybrid carrageenans ii. Coil-helix transition as a function of chain composition. *Carbohydrate Research*. 2005. № 6. P. 1113–1129.
9. Imeson A. Food stabilizers, thickeners, and gelling agents / edited by A. Imeson. Ames, 2010. 373 p.
10. Handbook of hydrocolloids / edited by J.G. Phillips, P.A. Williams. Cambridge, 2009. 948 p.
11. Rees D.A. The carrageenan system of polysaccharides. Part 1. the relation between the κ- and λ-components. *Journal of the Chemical Society*. 1963. № 10. P. 1821–1832.
12. Anderson N.S., Dolan T.C.S., Rees D.A. Evidence for a common structural pattern in the polysaccharide sulphates of the rhodophyceae. *Nature*. 1965. № 205. P. 1060–1062.
13. «ScanPro» at Essentia protein solutions. URL: <https://essentiaproteins.com/en/products/functional/scanpro> (дата звернення: 15.11.2018).
14. Wei Y., Wang Y.L. The rheological properties of κ-carrageenan-konjac gum mixed gel. *Advanced Materials Research*. 2013. № 781–784. P. 1652–1655.
15. Industrial gums: polysaccharides and their derivatives / edited by R.L. Whistler, J.N. BeMiller. New York, 1993. 807 p.
16. Бідюк Д.О., Душенюк Д.К., Перцевой Ф.В., Маренкова Т.І. Обґрунтування технологічних параметрів отримання гелів на основі полісахаридів різного походження. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». 2018. № 42(1214). С. 172–178.
17. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). Киев, 2011. Т. 1. 508 с.
18. Dean A., Voss D., Draguljić D. Design and analysis of experiments. New York, 2017. 847 p.
19. Montgomery D.C. Diseño y análisis de experimentos. México: Universidad Estatal de Arizona, 2004. 692 p.

20. Anderson M.J., Whitcomb P.J. RSM simplified: optimizing processes using response surface methods for design of experiments. New York: Productivity Press, 2016. 311 p.

21. Поршнев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета mathcad. Москва, 2002. 458 p.

#### **ОПТИМИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ ПОЛИСАХАРИДОВ В СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМБИНАЦИЯХ «СУЛЬФАТИРОВАННЫЙ ПОЛИСАХАРИД – КОНЖАКОВЫЙ ГЛЮКОМАННАН»**

*В статье приведены данные по установлению рациональных соотношений гелеобразователей в модельных системах «фурцелларан – конжаковый глюкоманнан» и «получищенный каппа-каррагенан – конжаковый глюкоманнан» путем оптимизации результатов экспериментальных исследований с помощью пакета MathCAD.*

**Ключевые слова:** фурцелларан, получищенный каппа-каррагенан, конжаковый глюкоманнан, синергетическая комбинация, оптимизация.

#### **OPTIMIZATION OF GELLING AGENT RATIOS IN SYNERGETIC COMBINATION “SULPHATED POLYSACCHARIDE – KONJACK GLUCOMMANNAN”**

*The article presents data on the establishment of improving gelling agents' ratios in the “Furcellaran – konjack glucommannan” and “Partially purred kappa-carrageenan – konjack glucommannan” model systems by optimizing the results of experimental studies using the MathCAD.*

**Key words:** furcellaran, partially pured kappa-carrageenan, konjac glucomannan, synergistic combination, optimization.

УДК 664.665.94

**Перцевой Ф.В.**

Сумський національний аграрний університет

**Бідюк Д.О.**

Сумський національний аграрний університет

**Кошель О.Ю.**

Сумський національний аграрний університет

**Журахов В.А.**

Сумський національний аграрний університет

## ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЦНОСТІ СТРУКТУРИ ГЕЛІВ НА ОСНОВІ БІНАРНОЇ КОМБІНАЦІЇ ПОЛІСАХАРИДІВ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

У статті досліджено залежність міцності структури гелів на основі бінарної комбінації полісахаридів (камеді ксантану та камеді тари) від декількох факторів: температури гідратації, тривалості диспергування та додаткового нагрівання. Наведено залежність кратності збільшення міцності структури гелів після додаткового нагрівання від температури початкової гідратації. Встановлено, що збільшення температури гідратації у діапазоні від  $10 \pm 2^\circ\text{C}$  до  $90 \pm 2^\circ\text{C}$  зумовлює зростання міцності до 26 разів щодо контролю, а додаткове нагрівання сприяє збільшенню міцності гелю у 1,14 до 5,95 разу.

**Ключові слова:** камедь ксантану, камедь тари, структуроутворення, міцність гелю, полісахариди, температура гідратації.

**Постановка проблеми.** Розвиток кондитерської промисловості в Україні ґрунтується на створенні високоефективних технологій та обладнання для виробництва нового асортименту конкурентоспроможної продукції. У ринкових відносинах жорстка конкуренція вимагає від виробників постійного оновлення асортименту оригінальними кондитерськими виробами, зниження собівартості та подовження терміну їх зберігання. Однією із груп кондитерських виробів, що користуються сталим попитом як на вітчизняному ринку, так і за кордоном, є молоковісні термостійкі начинки. До їх складу входять полісахариди, що мають створювати термостійку структуру (пектини, модифіковані крохмалі, камеді тощо), смакові речовини (цукрова пудра, ароматизатори, сіль тощо), молочні компоненти (молоко сухе знежирене, суха сироватка тощо).

Варто зазначити, що виготовлення начинок – це складний технологічний процес, вони мають нетривалий строк зберігання, що пов'язано з їх високою вологістю, умовами транспортування. Крім цього, використання у складі дорогих структуроутворювачів є проблемою сучасного виробництва начинок, оскільки призводить до збільшення собівартості, тому краще їх поєднувати одну з одною. Отже, використання науково обґрунто-

ваного поєднання полісахаридів, що виявляють синергетичну взаємодію, є ефективним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Дослідженням полісахаридів займалися багато вітчизняних та зарубіжних учених. У попередніх розвідках [1] наведено властивості гелю камеді тари, змішаного з каппа-каррагенаном та камеддю ксантану. Результати дослідження авторів показали, що камедь тари може утворювати гелі з каппа-каррагенаном та камеддю ксантану, температури гелеутворення підвищувалися в разі збільшення концентрації суміші камедей. У двох системах суміші існувала синергетична взаємодія, яка безпосередньо спостерігалася сканерним електронним мікроскопом або атомним силовим мікроскопом. Максимальну міцність гелю можливо було отримати за такого співвідношення: суміш «камедь тари – каппа-каррагенан» – 2:8 за температури в межах  $80^\circ\text{C}$ ; суміш «камедь тари – камедь ксантану» – 4:6 за температури близько  $60^\circ\text{C}$ . Крім того, вчені встановили, що відповідна кількість іонів  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  може значно підвищити міцність гелю суміші «камедь тари – каппа-каррагенан», а надлишкова кількість солей іонів може послабити міцність суміші гелів. Для суміші «камедь ксантану – камедь тари» іони  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  не збільшили суттєво міцність гелю.

Також авторами [2] розроблено технології функціональних напоїв на молочній сироватці з рослинними екстрактами. Вони є, як правило, харчовими системами з агрегативно нестійкою структурою, які здатні під час зберігання до розшарування (утворення осаду). Тому в рецептури таких напоїв вводять різні стабілізатори (пектини, камеді, продукти переробки морських водоростей та інші), які забезпечують їх однорідну структуру: без локального гелеутворення, з рівномірним розподілом частинок наповнювачів.

Ученими [3] досліджено вплив камеді ксантану на фізичні властивості і текстурні характеристики молочних вершків збитих. Камедь ксантану в цій роботі використовувалася як загусник для приготування таких вершків. Ефект залежить від дози камеді ксантану та середнього розміру частинок жирових кульок (близько  $d=3,2$  мкм) вершків збитих. За концентрації камеді ксантану від 0,025...0,125%, яка використовувалася у дослідженні процесу збивання вершків, було виявлено позитивний вплив на середнє значення жирів частинок молока. Зі збільшенням концентрації камеді ксантану та тривалості збивання вершків часткове затвердіння жиру в системі поступово збільшувалося. За результатами, отриманими у цій роботі, камедь ксантану, як загусник, може суттєво впливати на фізичні властивості і реологічні характеристики вершків збитих.

У статті [4] розглядалася функціональна роль камеді ксантану та вплив її на властивості тіста і хліба із суміші борошна маніюки та пшениці. Автори вивчали структурно-механічні властивості тіста (утримання газу рідкого тіста) та свіжість і зберігання хліба із суміші борошна (90% пшениці та 10% маніюки). Це дослідження показало, що підвищений вміст камеді ксантану збільшував пружність тіста під час випікання хліба, розмір буханки, м'якість крихти. Проте максимум 1% у межах концентрації ксантанової камеді було достатньо, щоб сповільнити втрату вологи і зміцнити м'якуш хліба.

Метою дослідження авторів [5] було вивчення впливу камеді ксантану на структурні зміни пальмового масла у травленні «in vitro» та проведення оцінки застосування жирової системи XG-palm у кремоподібних начинках. Встановлено, що реологічні та мікроструктурні властивості вивчалися у трьох системах: жировий XG-palm, наповнювальний крем із жиру XG-palm, а також контрольний наповнювальний крем із пальмовою олією, але без камеді ксантану. Результати дослідження авторів можливо використати у розробці нежирної їжі

та в тих випадках, коли бажаним є структурування вмісту шлунку.

Група авторів [6] у своїй роботі дослідила, що желатин може утворювати синергетичні гелі з камеддю ксантану. Виявлено вплив модуля пружності, який у 30 разів перевищує значення чистого розчину камеді ксантану за тієї самої концентрації, що використовується в суміші. Камедь ксантану виконує дві основні функції: підвищує концентрацію желатину завдяки електростатичним відновленням і взаємодіє з позитивними частинками желатину за допомогою електростатичної взаємодії.

У статті [7] наведено аналітичне обґрунтування та вибір бінарної комбінації полісахаридів для термостійких молокозмісних начинок із використанням бінарної комбінації: камеді ксантану та камеді тари. Автори провели аналітичний огляд бінарних комбінацій полісахаридів, на підставі якого було виявлено дві бінарні комбінації: «камедь ксантану – камедь конжаку» та «камедь ксантану – камедь тари» (використання цієї комбінації дозволяє отримувати желеподібну систему). У процесі експериментальних досліджень було підтверджено синергетичну взаємодію в системах «камедь ксантану – камедь конжаку» та «камедь ксантану – камедь тари», а також вибрано раціональні співвідношення суміші «камедь ксантану – камедь тари» як 60:40.

**Постановка завдання.** Вивчення порушеної теми вимагає вирішення таких завдань:

- дослідити залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування;
- обґрунтувати залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації;
- встановити вплив додаткового нагрівання на збільшення міцності структури зазначених гелів.

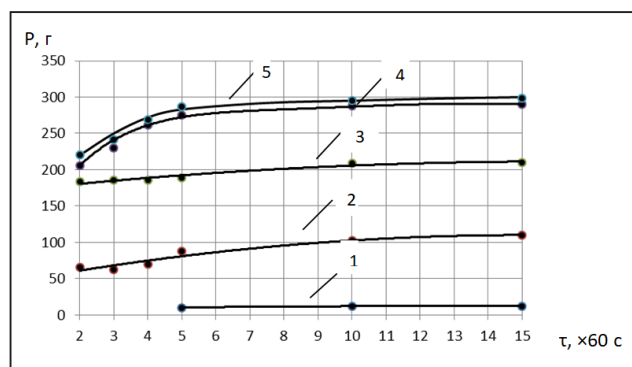
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Однею з головних вимог, якої варто дотримуватися у виробництві термостійких молокозмісних начинок, є їхня здатність витримувати певне нагрівання за умов, що моделюють процес випікання кондитерських виробів.

Особливість технологічного аспекту використання полісахаридів (бінарної комбінації камеді ксантану та камеді тари) у харчових продуктах, зокрема в термостійких начинках, базується на їхній здатності утворювати характерну міцну структуру. Однак для формування структури такої начинки необхідні певні умови та час від моменту виготовлення.

Для визначення залежності міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування слід приготувати розчини камеді ксантану та камеді тари у співвідношенні 60:40 відповідно. Для цього суху суміш всипали у воду за температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  та перемішували розчини від  $2\times 60$  с до  $15\times 60$  с. Після диспергування розчини розливали у п'ять бюксів, ставили в термостат за температури  $5\pm 2^\circ\text{C}$  та витримували  $24\times 60^2$  с.

Для обґрунтування залежності міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації готували розчини, як було наведено вище. Суху суміш всипали у воду за температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  та перемішували розчини протягом  $5\times 60$  с. Зразки витримували в термостаті за температури  $5\pm 2^\circ\text{C}$  протягом  $24\times 60^2$  с. Для визначення залежності міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації та тривалості диспергування  $5\times 60$  с із додатковим нагріванням досліджували зразки, які диспергували за температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$ , охолоджували та витримували в термостаті за температури  $5\pm 2^\circ\text{C}$  протягом  $24\times 60^2$  с.

На Рис. 1 наведено залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування.



**Рис. 1.** Залежність міцності структури гелю (P, г) на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування їх розчину за температури: 1 –  $10\pm 2^\circ\text{C}$ , 2 –  $30\pm 2^\circ\text{C}$ , 3 –  $50\pm 2^\circ\text{C}$ , 4 –  $70\pm 2^\circ\text{C}$ , 5 –  $90\pm 2^\circ\text{C}$

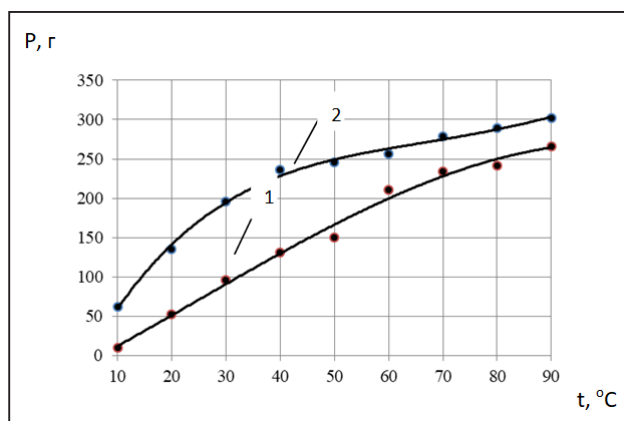
Як видно з Рис. 1, за температури гідратації  $10\pm 2^\circ\text{C}$  міцність гелю не зростала, а в разі збільшення температури від  $30\pm 2^\circ\text{C}$  до  $50\pm 2^\circ\text{C}$  та тривалості диспергування до  $2\times 60$  с відбувалося зростання міцності.

Таким чином, можемо констатувати, що тривалості диспергування  $2\times 60$  с розчину на основі камеді ксантану та камеді тари недостатньо для досягнення необхідної міцності гелю. У разі

збільшення тривалості диспергування в діапазоні  $2\times 60$  с... $5\times 60$  с міцність суттєво зростала. Таким чином, тривалість диспергування повинна становити не менше  $5\times 60$  с.

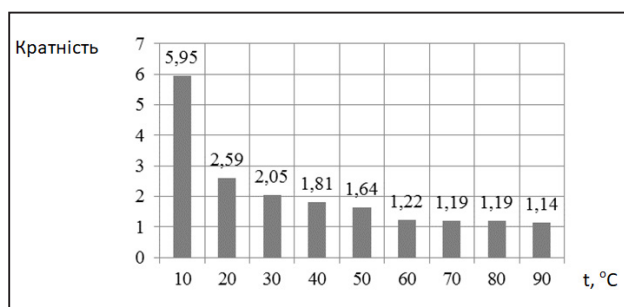
На Рис. 2 наведено залежність міцності структури гелю камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації в межах від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$ , а також тривалості диспергування в межах  $5\times 60$  с. На кривій 1 показано збільшення міцності структури гелю у разі зростання температури гідратації від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$ . Міцність структури гелю суттєво зростає в інтервалі  $10\pm 2^\circ\text{C}$ ... $70\pm 2^\circ\text{C}$ , а в діапазоні  $70$ – $90^\circ\text{C}$  зростання відбувається незначною мірою. На кривій 2 видно, що за додаткового нагрівання бінарної суміші міцність структури гелю значно зростає.

Таким чином, додаткове нагрівання суміші полісахаридів сприяє збільшенню міцності структури гелю.



**Рис. 2.** Залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації і тривалості диспергування  $5\times 60$  с: 1 – без додаткового нагрівання, 2 – з додатковим нагріванням

На Рис. 3 зображено залежність кратності збільшення міцності гелю від температури початкової гідратації після додаткового нагрівання.



**Рис. 3.** Залежність кратності збільшення міцності гелю камеді ксантану та камеді тари від температури початкової гідратації після додаткового нагрівання

З Рис. 3 видно, що в разі збільшення температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  міцність гелю зростає в діапазоні від 1,14 до 5,95 разу за повторного нагрівання до температури  $90\pm 2^\circ\text{C}$ . За температури гідратації у діапазоні  $20\pm 2^\circ\text{C}$ ... $50\pm 2^\circ\text{C}$  міцність гелю збільшується від 1,24 до 1,64 разу. А за температури від  $60\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  відбувається незначне його зростання (від 1,14 до 1,22 разу).

**Висновки.** Встановлено, що мінімальна необхідність тривалості диспергування –  $5\times 60$  с, нижче

якої міцність не набуває максимальних значень. А в діапазоні  $5\times 60$  с... $10\times 60$  с міцність структури гелю суттєво не змінюється.

Визначено, що збільшення температури гідратації від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  сприяє збільшенню міцності структури гелю від 1,14 до 5,95 разу.

За додаткового нагрівання збільшення температури гідратації від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  зумовлює зростання міцності гелю в межах від 1,14 до 5,95 разу.

#### Список літератури:

1. Yanbei W.D. The Gelation Properties of Tara Gum Blended with  $\kappa$ -Carrageenan or Xanthan. Food Hydrocolloids. 2017. Vol. 2, № 2. P. 256–268.
2. The development of technology of functional beverages based on whey and plant extracts / E. Cherevach., L. Tenkovskaya. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2015. Vol. 39, № 4. P. 99–105.
3. Effect of xanthan gum on the physical properties and textural characteristics of whipped cream / Z. Qiangzhong et al. Food Chemistry. 2009. Vol. 1, № 116. P. 624–628.
4. Application of xanthan gum for reducing syringing in refrigerated doughs / S. Simsek et al. Food Hydrocolloids. 2009. Vol. 2, № 23. P. 2254–2260.
5. Espert M.K. Effect of xanthan gum on palm oil in vitro digestion. Application in starch-based filling creams. Food Hydrocolloids. 2018. Vol. 1, № 4. P. 154–176.
6. Rohart K., Michon C.G. Designing microstructure into xanthan gum-enriched acid milk gels. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2014. Vol. 2, № 3. P. 18–23.
7. Перцевой Ф.В., Бідюк Д.О., Кошель О.Ю. Аналітичне обґрунтування та вибір бінарної комбінації полісахаридів для термостійких молокозмісних начинок. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / відпов. ред. О.І. Черевко. Вип. 1 (27). Харків: ХДУХТ, 2018. С. 122–133.

#### ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ СТРУКТУРЫ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БИНАРНОЙ КОМБИНАЦИИ ПОЛИСАХАРИДОВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*В статье исследована зависимость прочности структуры гелей на основе бинарной комбинации полисахаридов (камеди ксантана и камеди тары) от нескольких факторов: температуры гидратации, продолжительности диспергирования и дополнительного нагрева. Приведена зависимость кратности увеличения прочности структуры гелей после дополнительного нагрева от температуры начальной гидратации. Установлено, что увеличение температуры гидратации в диапазоне от  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  обуславливает рост прочности в 26 раз относительно контроля, а дополнительный нагрев способствует увеличению прочности геля в 1,14 до 5,95 раза.*

**Ключевые слова:** камедь ксантана, камедь тары, структурообразование, прочность геля, полисахариды, температура гидратации.

#### DEPENDENCE OF STRENGTH OF GEL STRUCTURE BASED ON BINARY COMBINATION OF POLYSACCHARIDES FROM TECHNOLOGICAL FACTORS

*In the article the dependence of the strength of the structure of gels on the basis of the binary combination of polysaccharides (gummed xanthan and gummed tare) is investigated from several factors: temperature of hydration, duration of dispersion and additional heating. The dependence of the multiplicity of increasing the strength of the gel structure after additional heating from the temperature of the initial hydration is given. It was established that an increase in the temperature of hydration in the range of  $10\pm 2^\circ\text{C}$  to  $90\pm 2^\circ\text{C}$  results in a strength increase of up to 26 times relative to control, and additional heating contributes to an increase in the strength of the gel in 1,14 to 5,95 times.*

**Key words:** xanthan gum, tar tar, structure formation, strength of the gel, polysaccharides, temperature of hydration.

УДК 637.33

**Скульська І.В.**Львівський національний університет ветеринарної медицини  
та біотехнологій імені С.З. Гжицького**Цісарик О.Й.**Львівський національний університет ветеринарної медицини  
та біотехнологій імені С.З. Гжицького

## ВПЛИВ БІОЗАХИСНОЇ КУЛЬТУРИ FRESH-Q НА ТЕРМІН ЗБЕРІГАННЯ БРИНЗИ, ВИГОТОВЛЕНОЇ ЗА ВДОСКОНАЛЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

У статті досліджено перебіг мікробіологічних процесів у бринзі, яка виготовлена із 20 та 30% заміною кухонної солі хлоридом калію і використанням біозахисної культури Fresh-Q для подовження терміну зберігання. Встановлено, що останній у разі застосування культури Fresh-Q подовжується на 10 діб. Доведено, що бринза, яка виготовлена за вдосконаленою технологією, характеризується кращими органолептичними показниками.

**Ключові слова:** бринза, мікробіологічні показники, біозахисна культура, дріжджі, плісень, хлорид натрію, хлорид калію.

**Постановка проблеми.** Так уже склалося історично, що в кожного регіону і народності є свої гастрономічні уподобання. Для нас, українців, і наших сусідів – молдаван, болгар і румунів – традиційними харчовими продуктами є саме молочні, зокрема сир бринза, яким залюбки смакують діти і дорослі. Велике значення при цьому має порівняно нескладна технологія його приготування [1, с. 157].

Обираючи свій улюблений продукт, сучасний споживач віддає перевагу користі, енергетичній цінності їжі і, безперечно, її смако-ароматичним особливостям. Завдяки цьому асортимент розсольних сирів постійно збільшується.

Бринзу зараз вживають і як самостійний продукт, і як компонент безлічі страв. Завдяки короткому терміну визрівання (20 діб) можливо досить швидко отримати смачний та ароматний сир. Бринза визріває у розсолі, концентрація солі в якому сягає 18–22%, відповідно, вміст солі у сирі становить 4–7% [2, с. 58–62; 3, с. 12]. Кухонна сіль відіграє значну роль у перебігу біохімічних та мікробіологічних процесів під час визрівання сиру, вона є хорошим консервантом. Однак надлишкове споживання кухонної солі спричиняє розлади роботи серцево-судинної системи та опорно-рухового апарату [2, с. 58–62]. Сьогодні світовою тенденцією здорового харчування є обмеження споживання кухонної солі, для чого розроблено ряд програм [3, с. 12; 4, с. 26; 5, с. 2741–2751].

Оскільки кухонна сіль у харчових продуктах важлива саме як консервант, зниження її вмісту

може призвести до їх передчасного псування [5, с. 2741–2751; 6, с. 2011–4940; 7, с. 3769–3777]. Важливим завданням є знайти шляхи подовження терміну зберігання продуктів за умови зниження вмісту в них кухонної солі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних даних свідчить про те, що знизити рівень кухонної солі у продуктах харчування можливо шляхом часткової її (хлорид натрію – NaCl) заміни хлоридом калію (KCl) у співвідношеннях 3:1, 1:1, 1:3 (М.М. Ayyash, F. Sherkat, N.P. Shah (2012 р.)). Дослідження проводилися на твердих сирах і показали позитивну динаміку змін щодо перебігу біохімічних процесів, які в них відбуваються протягом визрівання і зберігання [5, с. 2741–2751; 8, с. 78–88]. У білому сирі Akawi дослідження показали, що за заміни кухонної солі хлоридом калію у співвідношенні 3:1 твердість, клейкість і здатність до злипання у сирі зменшилися, а за даними проведеної сенсорної оцінки досліджуваного сиру зменшилися гіркота і солоність; також спостерігалось зниження вмісту розчинного кальцію і натрію, але кількість розчинних калію і фосфору, вмісту лимонної, молочної та оцтової кислот зросла на 30 добу зберігання при температурі (4±1)°C. Часткова заміна хлориду натрію хлоридом калію значно вплинула на зростання мікробної та протеолітичної активності. Заміна солі майже не відбилася на структурі досліджуваного сиру і його хімічному складі. Щодо інших варіантів співвідношень, то виявлено негативний вплив на якісні показники сиру [10, с. 4747–4759].

Часткова заміна хлориду натрію хлоридом калію під час виготовлення сиру чеддер приводить до ферментативної і мікробної стабільності завдяки підтримці необхідного показника активності води (AW). Shakeel-Ur-Rehman та інші [11, с. 1401–1418] вивчали вплив заміни солі, додаючи дріжджовий екстракт. Дослідження показали, що використання цього екстракту негативно позначилося на розвитку молочнокислих бактерій. Слід зазначити, що сир характеризувався більш зрілим смаком та горіховим і злегка фруктовим ароматом. Учені очікували появи гіркоти через використання хлориду калію, однак результати проведеної сенсорної оцінки довели протилежне [11, с. 1401–1418].

Також існують відомості щодо використання хлориду калію у технології виготовлення сиру Halloumi. Встановлено, що заміна солі не впливає на вміст вологи у сирі, масову частку жиру, що суперечить дослідженням М.М. Аyyash та N.P. Shah [5, с. 2741–2751], імовірно, через різницю в концентрації розчину солі в розсолі (18% у досліджуваному сирі проти 10% у сирі Halloumi). Результати досліджень реологічних показників указують на те, що заміна солі впливає на твердість, пружність сиру під час розжовування наприкінці терміну визрівання. Ці показники погіршуються у разі більшого відсотку заміни. Схожі результати були отримані від Parademas і Robinson, які виявили, що структура сиру Halloumi дещо погіршилася наприкінці визрівання [12, с. 1140–1151].

Тому, враховуючи не завжди однастайні результати щодо зниження концентрації NaCl і часткової його заміни KCl у дослідженнях закордонних авторів, відсутність таких розвідок в Україні та актуальність проблеми, метою нашої роботи було вивчити вплив такої заміни у виробництві традиційного карпатського сиру бринза. Остання є обов'язковим продуктом щоденного раціону мешканців Карпат та улюбленим продуктом для багатьох інших споживачів, тому свою увагу ми сфокусували саме на сирі цього виду щодо пошуку шляхів зменшення у ньому кухонної солі та одночасно подовження терміну зберігання.

**Постановка завдання.** Метою наших досліджень було дослідити перебіг мікробіологічних процесів у розсольному сирі бринза, традиційну технологію виготовлення якого вдосконалювали шляхом 20 та 30% заміни кухонної солі хлоридом калію у розсолі та використання біозахисної культури, а також визначити термін зберігання бринзи.

Для сквашування використано препарати фірми «Chr. Hansen»: заквашувальну культуру RSF-742, біозахисну культуру Fresh-Q та ферментний пре-

парат CHY-MAX. Дія біозахисної культури Fresh-Q спрямована на пригнічення розвитку дріжджів і плісені, до складу якої входять *L. rhamnosus*.

*L. rhamnosus* ростуть у молоці у вигляді довгих або коротких паличок товщиною 1,5 мкм, з'єднаних у ланцюжки. Часто виявляється зернистість їхніх клітин. Оптимальна температура росту близько  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ . На відміну від *L. casei*, здатні рости при температурі  $45 \pm 1^\circ\text{C}$ , розмножуватися в середовищі, що містить 6% NaCl і 20% жовчі [8, с. 3–6; 9].

*L. rhamnosus* характеризуються наданням добрих реологічних властивостей, стійкістю до солі та інгібуючих речовин молока. Порівняно з мезофільними лактококами, протеолітична активність *L. rhamnosus* удвічі вища. Гранична кислотність у молоці сягає  $180^\circ\text{T}$ . Висока здатність до накопичення розчинних білкових сполук із низькою молекулярною масою дає змогу уникнути формування гіркої присмаку в готовому продукті, а кількість вільних амінокислот є достатньою для досягнення зрілості сиру. Штам утворює нев'язкий молочний згусток із показником синерезису 50% та незначним відходом білкових сполук у сироватку. Такі показники гарантують формування сирного зерна з інтенсивним відділенням сироватки та мінімізують втрати сухих речовин завдяки утворенню сирного пилу [9, с. 3–6]. Дослідження з використання *L. rhamnosus* у виробництві сирів у нашій країні не проводилися, тому важливо дослідити, як указана культура впливає не лише на тривалість зберігання сиру, але й на перебіг біохімічних процесів і, відповідно, формування властивостей готового продукту.

Було виготовлено 6 зразків бринзи з овечого молока: К – контрольний зразок із використанням кухонної солі (хлорид натрію); Д1 і Д2 – бринза, що виготовлена із 20 і 30% заміною хлориду натрію хлоридом калію відповідно; КF – бринза, що виготовлена з використанням хлориду натрію та біозахисної культури Fresh-Q; ДF1 і ДF2 – бринза, виготовлена із 20 і 30% заміною хлориду натрію хлоридом калію відповідно та використанням Fresh-Q.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Важливо було дослідити вплив біозахисної культури на формування органолептичних характеристик бринзи. У Таблиці 1 представлено результати досліджень бринзи з овечого молока за 20% і 30% заміни хлориду натрію хлоридом калію. Слід підкреслити, що застосування біозахисної культури Fresh-Q зумовлює більший вплив на органолептичні властивості порівняно із заміною кухонної солі. Зокрема, можливо виділити вершковий смак зразків бринзи з використанням цієї культури.

Таблиця 1

## Органолептичні показники бринзи за часткової заміни хлориду натрію хлоридом калію

| Зразок | Смак і запах                                                                         | Консистенція                     | Рисунок                                   | Колір                                     | Зовнішній вигляд                                                                    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| К      | Чистий кисломолочний, в міру солоний, без сторонніх присмаків та запахів.            | Однорідна, ламка, але не крихка. | З поодинокими вічками неправильної форми. | Світло-жовтий, однорідний за всією масою. | Поверхня чиста, з відбитками серветки. Кірка відсутня.                              |
| Д1     | Чистий кисломолочний, в міру солоний, без сторонніх присмаків та запахів.            | Однорідна, ламка, але не крихка. | З поодинокими вічками неправильної форми. | Світло-жовтий, однорідний за всією масою. | Поверхня чиста, з відбитками серветки. Кірка відсутня. Незначна деформація головки. |
| Д2     | Чистий кисломолочний, в міру солоний, без сторонніх присмаків та запахів.            | Однорідна, ламка, але не крихка. | З поодинокими вічками неправильної форми. | Світло-жовтий, однорідний за всією масою. | Поверхня чиста, з відбитками серветки. Кірка відсутня. Незначна деформація головки. |
| KF     | Чистий кисломолочний, вершковий, в міру солоний, без сторонніх присмаків та запахів. | Однорідна, ламка, але не крихка. | З поодинокими вічками неправильної форми. | Світло-жовтий, однорідний за всією масою. | Поверхня чиста, з відбитками серветки. Кірка відсутня. Незначна деформація головки. |
| ДФ1    | Чистий кисломолочний, вершковий, в міру солоний, без присмаків.                      | Однорідна, ламка, але не крихка. | З поодинокими вічками неправильної форми. | Світло-жовтий, однорідний за всією масою. | Поверхня чиста, з відбитками серветки. Кірка відсутня.                              |
| ДФ2    | Чистий кисломолочний, вершковий, в міру солоний, без сторонніх присмаків та запахів. | Однорідна, ламка, але не крихка. | З поодинокими вічками неправильної форми. | Світло-жовтий, однорідний за всією масою. | Поверхня чиста, з відбитками серветки. Кірка відсутня. Незначна деформація головки. |

Таблиця 2

## Балова оцінка бринзи

| Показник            | Максимальна кількість балів | Зразки бринзи |    |    |    |     |     |
|---------------------|-----------------------------|---------------|----|----|----|-----|-----|
|                     |                             | К             | Д1 | Д2 | KF | ДФ1 | ДФ2 |
| Смак і запах        | 45                          | 43            | 43 | 43 | 43 | 43  | 42  |
| Консистенція        | 25                          | 22            | 22 | 23 | 24 | 24  | 23  |
| Рисунок             | 10                          | 8             | 8  | 8  | 9  | 8   | 9   |
| Колір сирного тіста | 5                           | 5             | 5  | 5  | 5  | 5   | 5   |
| Зовнішній вигляд    | 10                          | 7             | 7  | 8  | 8  | 8   | 9   |
| Сума балів          | 95                          | 85            | 85 | 87 | 89 | 88  | 88  |

За результатами балової оцінки найбільшу кількість балів отримали зразки з використанням Fresh-Q. Бринзу можливо віднести до сиру високої якості (Таблиця 2).

У Таблиці 3 показано фізико-хімічні показники зрілого сиру бринза (20 діб). Звертаємо увагу на активну кислотність: зразки з використанням препарату Fresh-Q відзначаються нижчою кислотністю сирного тіста, ніж аналогічні зразки без

препарату. Найвищою масовою часткою вологи (53,1%) характеризується контрольний зразок, а найнижчою – зразок із 20% заміною хлориду натрію хлоридом калію. Зауважуємо також, що найвищий вміст NaCl у зрілій бринзі характерний для контрольного зразка, у дослідних зразках він на 0,82–0,97% менший. Це забезпечує зниження споживання кухонної солі за добової норми споживання сиру (70 г) [10, с. 4747–4759].

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники зрілої бринзи за часткової заміни хлориду натрію хлоридом калію ( $n = 3, p < 0,05$ )

| Зразки бринзи | Показники                              |                         |                           |                       |                                  |
|---------------|----------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               | Масова частка жиру в сухій речовині, % | Масова частка вологи, % | Масова частка NaCl+KCl, % | Масова частка NaCl, % | Активна кислотність, одиниць, pH |
| К             | 45,9±0,3                               | 53,1±0,2                | 4,2±0,1                   | 4,2±0,1               | 4,23±0,03                        |
| Д1            | 44,3±0,3                               | 52,2±0,3                | 4,3±0,2                   | 3,44±0,2              | 4,22±0,02                        |
| Д2            | 45,8±0,2                               | 52,4±0,3                | 4,1±0,1                   | 3,28±0,1              | 4,33±0,03                        |
| KF            | 45,1±0,4                               | 51,7±0,2                | 4,3±0,1                   | 4,3±0,1               | 4,12±0,02                        |
| ДФ1           | 43,9±0,3                               | 51,0±0,3                | 4,2±0,2                   | 3,36±0,2              | 4,10±0,02                        |
| ДФ2           | 44,8±0,4                               | 51,3±0,2                | 4,3±0,2                   | 3,44±0,2              | 4,08±0,03                        |

Таблиця 4

## Наявність небажаної мікрофлори на поверхні бринзи

| Зразок | Доби зберігання |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|        | 10              | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| К      | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | +  | +  | +  | +  | +  |
| Д1     | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | +  | +  | +  | +  | +  |
| Д2     | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | +  | +  | +  | +  | +  |
| KF     | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  | +  | +  | +  |
| ДФ1    | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  | +  | +  | +  |
| ДФ2    | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  | +  | +  | +  |

Таблиця 5

## Наявність плісені та дріжджів у товщі бринзи

| Зразок | Доби зберігання |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|--------|-----------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | 10              | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45  | 50  | 55  | 60  | 65  |
| К      | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | >10 | >10 | >10 | >10 | >10 |
| Д1     | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | >10 | >10 | >10 | >10 | >10 |
| Д2     | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | >10 | >10 | >10 | >10 | >10 |
| KF     | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | м   | –   | >10 | >10 | >10 |
| ДФ1    | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –   | –   | >10 | >10 | >10 |
| ДФ2    | –               | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –   | –   | >10 | >10 | >10 |

Таким чином, заміна кухонної солі і застосування препарату Fresh-Q забезпечує високу якість продукту і відповідність його вимогам нормативній документації [3, с. 12].

Важливо було також дослідити виживання молочнокислих бактерій під час зберігання зрілої бринзи.

Результати досліджень показано на Рис. 1. Протягом 50 діб кількість молочнокислої мікрофлори знижується, проте спостерігається тенденція до вищих значень за 20 та 30% заміни кухонної солі хлоридом калію і використання препарату Fresh-Q. Зразки бринзи з останнім відзначалися істотно вищим рівнем молочнокислих бактерій.

Оскільки біозахисна культура згубно впливає на розвиток дріжджів і пліснявих грибів, то наші дослідження полягали саме у виявленні цих

мікроорганізмів у товщі бринзи та на поверхні.

Дріжджі та плісняві гриби досліджували згідно з вимогами ДСТУ 10444.12-88 «Продукти харчові. Методи визначення дріжджів і пліснявих грибів».

Найсприятливіші умови для розвитку плісені – вільний доступ кисню і кисле середовище [8, с. 78–88]. Вона може розвиватися за pH 1,5...11,0, витримує низьку температуру (–11±1)°C. Плісняві гриби володіють ферментативною активністю, сприяють неконтрольованому розпаду білків та білкових речовин, жирів до жирних кислот та альдегідів і, як наслідок, появи вад. У результаті своєї життєдіяльності плісняві гриби метаболізують компоненти харчових продуктів, утворюючи власні специфічні продукти обміну. При цьому фізико-хімічні та

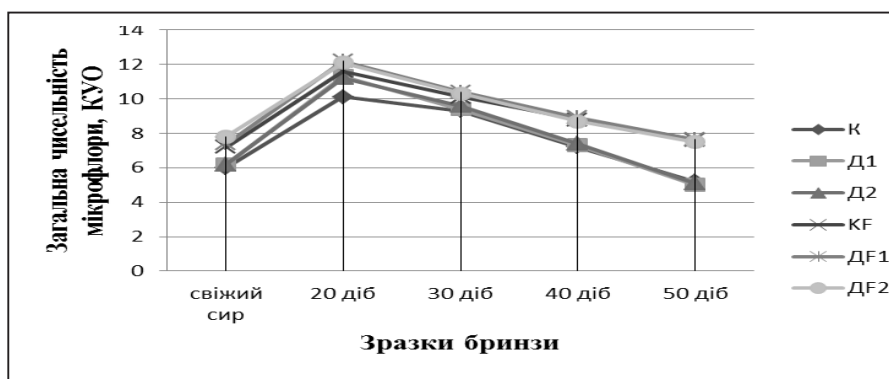


Рис. 1. Зміна чисельності молочнокислої мікрофлори під час зберігання бринзи

органолептичні показники змінюються, і продукт набуває нехарактерних особливостей, що погіршують його якість [2, с. 58–62]. Наявність плісневих грибів та дріжджів у сири видно неозброєним оком. У такому разі на поверхні брусочків може спостерігатися наліт білого кольору зі злегка сірватим відтінком. Важливо зазначити, що використання біозахисної культури Fresh-Q згубно діяло на розвиток плісені. Останньої не було виявлено у зразках, виготовлених із Fresh-Q, протягом усього періоду визрівання, у зрілому сири і під час подальшого зберігання. На 45 добу (Таблиця 3) помітна поява плісені у сирах групи без препарату Fresh-Q, а для групи сирів із ним появу плісені помітно на 55 добу зберігання.

Отже, часткова заміна NaCl на KCl у разі використання препарату Fresh-Q, який пригнічує розвиток дріжджів та плісені, сприяє подовженню терміну зберігання сиру.

У Таблиці 4 показано візуальну оцінку бринзи на наявність плісені.

Аналіз посівів (Таблиця 5) засвідчує, що на 45 добу у зразках бринзи без Fresh-Q кількість КУО дріжджів і плісені становила більше 10 в 1 г, тоді як у зразках із препаратом Fresh-Q така кількість з'являється на 55 добу, що, безумовно, доводить доцільність використання захисної культури.

**Висновки.** Таким чином, за органолептичними показниками бринза повністю відповідає вимогам чинної нормативної документації. Дослідження перебігу мікробіологічних процесів підтверджують доцільність удосконалення традиційної технології виготовлення бринзи шляхом часткової заміни кухонної солі хлоридом калію та додавання препарату Fresh-Q. Встановлено, що термін зберігання сиру подовжується на 10 діб у зразків, які виготовлені з використанням біозахисної культури Fresh-Q.

#### Список літератури:

1. Гудков А.В. Сыроделие: технологические и физико-химические аспекты / под ред. С.А. Гудкова. Москва, 2003. 800 с.
2. Скульська І.В., Цісарик О.Й. Дослідження мікробіологічних показників бринзи, що виготовлена із частковою заміною хлориду натрію хлоридом калію. Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. Вип. 4. Київ, 2015. С. 58–62.
3. ДСТУ 7065:2009. Бринза. Загальні технічні умови: БЗ № 10-2009/789. Київ, 2010. 12 с.
4. Бринза зі зниженим вмістом кухонної солі. Технічні умови 10.5-00492990-013:2016. Чинний від 14.05.2016 р. Львів, 2016. 26 с.
5. Ayyash M.M., Shah N.P. The effect of substituting NaCl with KCl on Nabulsi cheese: chemical composition, total viable count, and texture profile. *Journal of Dairy Science*. 2011. Vol. 94. P. 2741–2751.
6. Ayyash M.M., Sherkat F., Shah N.P. The effect of NaCl substitution with KCl on Akawi cheese: Chemical composition, proteolysis, angiotensin-converting enzyme-inhibitory activity, probiotic survival, texture profile, and sensory properties. *Journal of Dairy Science*. 2012. Vol. 95, № 9. P. 4747–4759.
7. Ayyash M.M., Shah N.P. Proteolysis of low-moisture Mozzarella cheese as affected by substitution of NaCl with KCl. *Journal of Dairy Science*. 2011. Vol. 94. P. 3769–3777.
8. Lu Y., McMahon D.J. Effects of sodium chloride salting and substitution with potassium chloride on whey expulsion of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. P. 78–88.
9. URL: <http://www.chr-hansen.com.ua/chr-hansen-v-ukrajini.html>.

10. Ayyash M.M., Sherkat F., Shah N.P. The effect of NaCl substitution with KCl on Akawi cheese: Chemical composition, proteolysis, angiotensin-converting enzyme-inhibitory activity, probiotic survival, texture profile, and sensory properties. *Journal of Dairy Science*. 2012. Vol. 95. P. 4747–4759.
11. Grummer J., Bobowski N., Karalus M., Vickers Z., Schoenfuss T. Use of potassium chloride and flavor enhancers in low sodium Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. P. 1401–1418.
12. Kamleh R., Olabi A., Toufeili I., Najm N. E. O., Younis T., Ajib R. The effect of substitution of sodium chloride with potassium chloride on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of Halloumi cheese. *Journal of Dairy Science*. 2012. Vol. 95. P. 1140–1151.

#### **ВЛИЯНИЕ БИОЗАЩИТНОЙ КУЛЬТУРЫ FRESH-Q НА СРОК ХРАНЕНИЯ БРЫНЗЫ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*В статье исследован ход микробиологических процессов в брынзе, которая изготовлена из 20 и 30% заменой поваренной соли хлоридом калия и использованием биозащитной культуры Fresh-Q для продления срока хранения. Установлено, что последний в случае применения культуры Fresh-Q увеличивается на 10 суток. Доказано, что брынза, изготовленная по усовершенствованной технологии, характеризуется лучшими органолептическими показателями.*

**Ключевые слова:** брынза, микробиологические показатели, биозащитная культура, дрожжи, плесень, хлорид натрия, хлорид калия.

#### **INFLUENCE OF FRESH-Q BIOSECURITY CULTIVATION ON THE GREENHOUSE STORAGE TIME BRYNZA, MANUFACTURED BY EASTERN TECHNOLOGY**

*The article investigates the microbiological processes in the brynza cheese, which is made with a 20 and 30% replacement of the kitchen salt with potassium chloride and using the Fresh-Q bioprotection culture to extend the shelf life. It has been established that the storage period of cheese for the use of Fresh-Q culture is prolonged by 10 days. It is proved that brynza cheese, which is made according to the advanced technology, is characterized by the best organoleptic parameters.*

**Key words:** brynza cheese, microbiological indices, bioprotection culture, yeast, mold, sodium chloride, potassium chloride.

УДК 687:03; 658.512.2

**Шершун М.І.**

Мукачівський державний університет

**Білей-Рубан Н.В.**

Мукачівський державний університет

## ВИЗНАЧАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЖІНОЧИХ СУКОНЬ З ДЕКОРУВАННЯМ

У статті розглядаються визначальні властивості сучасних платтяних матеріалів з точки зору можливостей їх декорування. Встановлено їх взаємозв'язок із сучасним оздобленням для отримання нових конструктивно-декоративних та технологічних вирішень досліджуваної асортиментної групи одягу. Використаний візуально-аналітичний метод для дослідження сучасного декорування жіночих суконь законодавцями моди дозволив систематизувати вагомі технічні дані як основних матеріалів, так і декору. Розроблений у роботі сучасний декор суконь жіночих на основі експериментальних досліджень вагових показників повністю узгоджується з основним призначенням досліджуваного асортименту.

**Ключові слова:** прозорі матеріали, декоративні елементи, оздоблення, вагові характеристики, технологія.

**Постановка проблеми.** У зв'язку із наявною пріоритетністю з боку моди та актуальністю декору і оздоблення одягу, що простежується у роботах сучасних дизайнерів, потребує аналізу доцільність використання нових прийомів у проектуванні та технології виготовлення жіночого одягу з урахуванням властивостей як основних текстильних матеріалів, які декоруються, так і власне декору.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження щодо проектування сучасного жіночого одягу з різноманітним оздобленням проводиться багатьма вченими. Також чітко простежується напрямок, пов'язаний з аналізом декоративних елементів та оздоблення у цілому, факторним аналізом і виявлення закономірностей зміни композиційно-конструктивних параметрів жіночого одягу [1]. Зокрема, у праці О.П. Бохонько, О.В. Ярошук, Л.В. Вінтоняк систематизуються оздоблення у сучасному жіночому одязі, яке представляється їх класифікацією у виді структурно-ієрархічної схеми. З погляду того, що з кожним роком з'являються нові матеріали, способи їх виготовлення, технології, авторами було розширено класифікацію у другому рівні оздоблень, а саме макраме, вимпели, скляні та керамічні матеріали, також пух [2, с. 95-97].

У праці І.С. Тютюнник розглянуто місце ручного оздоблення вітчизняних тканин (вишивки, вибійки, витинанки, розпису) у створенні ексклюзивного вбрання у контексті моделювання одягу другої половини ХХ ст. [3].

Н.В. Білей-Рубан, О.О. Кулл розглядали напрямки декорування на основі елементів етностилістики у пальтовому асортименті, де за основу було взято декорування вишивкою [4].

І.І. Горбатюк, Т.І. Ніколаєва, Н.І. Кудрявцева у своїй роботі структурували провідні тектонічні характеристики форм костюма, особливості художньо-композиційних елементів в оздобленні одягу, формуванні стилю та іміджу відповідного історичного періоду [5].

У праці Л.М. Петрусь, Н.В. Білей-Рубан, Є.В. Седохова узагальнено компоненти гуцульського костюму (чоловічий та жіночий) із чітким встановленням особливостей оздоблення та декорування відповідно до конкретних місцевостей Гуцульщини [6].

Попри цікавість до декорування та оздоблення як народного строю, так і сучасного одягу, беручи до уваги опубліковані наукові роботи, чітко простежується відсутність проблематики, пов'язаною зі впливом властивостей сучасних матеріалів на вибір декоративних елементів, а також не розглядається питання, про те, які особливості декору та оздоблення формують процес проектування та технологію виготовлення сучасного жіночого одягу. Все це обумовлює певну специфіку та необхідність подальших теоретичних та практичних досліджень.

**Постановка завдання.** Метою даного дослідження є визначення основних властивостей матеріалів, які декоруються для створення сучасних суконь жіночих та встановлення їх взаємозв'язку

з сучасним оздобленням для проектування нових конструктивно-декоративних та технологічних вирішень даної асортиментної групи одягу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дизайнери та модельєри творять сьогоднішню моду. Протистояти впливу моди може не кожна людина. З модою стикаються на демонстраційних подіумах, на вулицях і у звичайній повсякденності. Метою моди є охопити якнайбільшу кількість прихильників, стати всезагальною. Для сучасної моди основним критерієм стала її мобільність, свобода та зручність. Також зі впливом моди, зменшуються відмінності між повсякденним і діловим одягом, між представниками різного віку, одяг стає більш практичним і має тенденцію до омолодження. Суттю моди є внесення чогось зовсім нового, унікального, оригінального і креативного [7].

В одязі нинішні зміни моди стосуються матеріалів (кольору, рисунка і фактури), деталей (коміра, кишень, манжет тощо), ліній членування (кокеток,

рельєфів, підрізів тощо) та конструкції у цілому, її силуету, об'ємної форми, пропорцій, покрою рукава тощо [1].

Нині для виготовлення жіночого одягу застосовують широкий асортимент текстильних матеріалів, різноманітний за волокнистим складом, структурі, видам заключних обробок тощо. Попри те, що теперішня мода популяризує у жіночому одязі «чуттєву» прозорість, цей тренд не можна назвати абсолютною новиною – речі у подібному виконанні дизайнери демонстрували і раніше, підкреслюючи прозорість. Мода не стоїть на місці і це стосується прозорих речей, які стали практично невидимими.

Для виготовлення сучасних жіночих комплектів світові дизайнери пропонують широкий асортиментний ряд текстильних матеріалів, серед яких найбільш модними є матеріали з прозорою структурою та різноманітним ефектним декоруванням.

Однак у процесі проектування та виготовлення одягу зі вказаних матеріалів необхідно враховувати

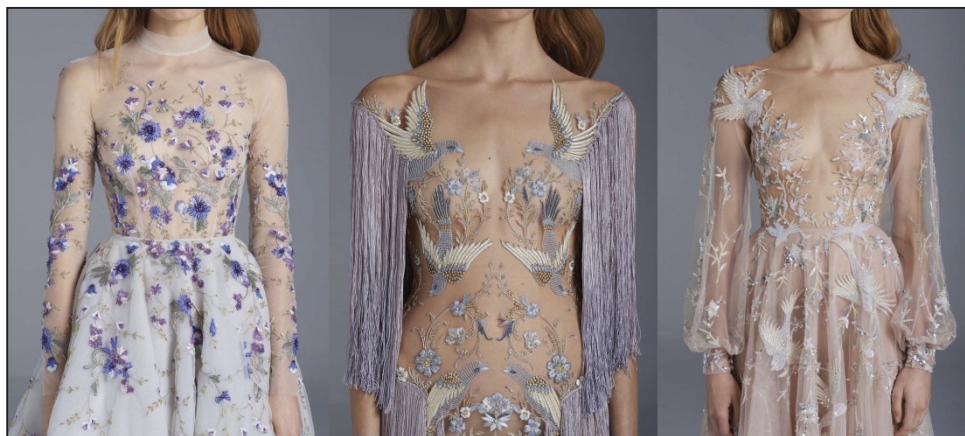


Рис. 1. Моделі суконь з прозорих матеріалів дизайнера Paolo Sebastian

вплив їх властивостей на конструктивно-декоративне та технологічне вирішення даної асортиментної групи одягу.

Для досягнення «невидимості» прозорі матеріали стали ще більш тонкими, структура переплетення – більш рихлою, за сировинним складом такі матеріали виготовляються практично з 100% синтетичних волокон. Основні матеріали з їх технічними даними представлено у таблиці 1.

В останні роки ускладнились варіанти декорування жіночого одягу, зокрема на прозорих матеріалах: декорування вишивкою, паєтками, стразами, бісером, намистинами, аплікацією, штучними об'ємними елементами тощо. Це спонукає до того, що у виробках із прозорих матеріалів число конструктивних елементів (швів, вито-

чок, обшивок) повинно бути зведено до мінімуму. За ступенем прилягання такий одяг переважно прямого або розширеного силуету [8].

На етапі підготовчо-розкрійного виробництва складність обробки прозорих матеріалів проявляється у процесі настилення та викроювання деталей (утворення складок, ковзання шарів у настилі, перекошування тощо), визначення якості текстильних матеріалів (ідентифікація наявності забруднень, механічних пошкоджень у виді затяжок, дірок тощо). Додаткове ускладнення на етапі розкрою виникає у випадку наявності об'ємних декоративних оздоблень: намистин, елементів 3D декору, що поєднанні з матеріалами не текстильного походження.

Важливим є усвідомлення труднощів, які виникають у процесі вибору методів, параметрів,

Таблиця 1

**Технічні дані прозорих текстильних матеріалів для декорування сучасних жіночих суконь**

| Найменування матеріалу                  | Органза                | Шифон | Фатін | Платтяна сітка | Євросітка |
|-----------------------------------------|------------------------|-------|-------|----------------|-----------|
| Показники                               |                        |       |       |                |           |
| Художньо-кolorостичне оформлення        | Гладкофарбовані        |       |       |                |           |
| Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>  | 29                     | 74    | 26    | 33             | 20        |
| Ширина, см                              | 180                    | 150   | 300   | 150            | 300       |
| Товщина, мм                             | 0,1                    | 0,2   | 0,3   | 0,2            | 0,2       |
| Зсідання по горизонталі та вертикалі, % | 2/1                    | 1/1   | 0/0   | 0/0            | 0/1       |
| Сировинний склад                        | Поліефір (100% лавсан) |       |       |                |           |

режимів ниткового з'єднання та волого-теплової обробки (ВТО). При пошиві виробів з прозорих матеріалів особливу складність викликає обробка всіх швів, строчок, оскільки вони видимі з лицевого боку. Крім того, дуже часто виникає технологічний дефект – розрив тканини у ділянці шва, тому доцільно застосовувати для з'єднання деталей подвійний шов, який є більш міцний, ніж зшивний, крім того забезпечує мінімізацію осипання зрізів, що є характерним для даної структури матеріалів.

Асортимент оздоблення, яке використовують при виготовленні сучасного жіночого одягу, досить різноманітний. Для оздоблення одягу використовують як традиційні, давно відомі види, так і нові, нетрадиційні, пов'язані з властивостями матеріалів і з появою нових технологій виготовлення оздоблення [8].

У процесі виготовлення одягу з використанням сучасного декорування, виникає ряд проблем, які впливають на якість продукції:

1. Невідповідність оздоблення призначенню одягу за естетичними та ваговими характеристиками;
2. Перевантаження моделі однорідним або різним за призначенням видом оздоблення, яке може призвести до порушення композиції одягу;
3. Не враховані особливості матеріалів, з яких виготовляється одяг на етапах швейного виробництва, що може призвести до погіршення якості продукції.

У ході проведених попередніх досліджень, аналізу вагових характеристик прозорих матеріалів і їх структури, та, беручи до уваги можливі методи кріплення декору, вдалося систематизувати сучасні можливості використання оздоблень у виробках жіночого асортименту. Унаочнює дані результати таблиця 2, яка слугує рекомендаційною базою для актуалізації різного асортименту жіночого одягу з прозорих видів матеріалів із

сучасним декоруванням. Представлена систематизація унаочнює характерні роботи багатьох зарубіжних дизайнерів, які вдаються до креативного та оригінального тематичного оздоблення досліджуваного нами асортименту.

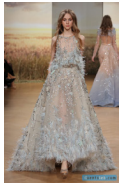
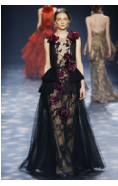
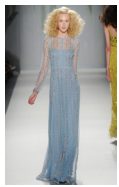
Представлені у таблиці 2 сукні жіночі світових дизайнерів та брендів дозволили узагальнити сучасний декор та актуалізувати його у жіночому одязі.

Здійснені дослідження із проблематики виготовлення жіночих суконь щодо застосування різних прийомів, технік та видів декорування визначають силует, матеріали, конструктивно-декоративні елементи. При цьому, правильність вибору технологічних прийомів, режимів, методів обробки виробів з певним декором спонукує до врахування особливостей вагових характеристик основних матеріалів та декору з метою забезпечення високого рівня якості виготовлення та надійності досліджуваного асортименту жіночих виробів з декоруванням в експлуатації.

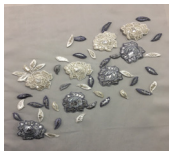
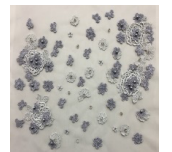
Таким чином, поєднання аналітичних досліджень матеріалів з сучасним декоруванням та пов'язаних з ним проблем, на основі врахування таких показників вагових характеристик як вага декору, вага матеріалів, які оздоблюються, а також природи походження самого декору, дозволили розробити та запропонувати сучасне декорування прозорих матеріалів та визначити їх технічні дані, які представляються таблицею 3.

У таблиці 3 авторами запропоновані оздоблення, для яких використані гладкофарбовані матеріали комірчатої структури високого ступеня прозорості, які вдало поєднуються з сучасним об'ємним декоруванням. Пропозиції декору авторські, і враховують вагові характеристики матеріалів для суконь жіночих, які за отриманими значеннями поверхневої щільності пропонованих пакетів матеріалів цілком відповідають основному призначенню.

## Види декорування та його використання у сучасних виробках

| Асортимент                                                                            | Блузи, сорочки, спідниці, сукні, функціональні вироби/елементи декору (пояси, шалі, кишені тощо) |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Найменування тканини<br>Вид декору                                                    | Органза                                                                                          | Шифон                                                                               | Фатін                                                                               | Платтяна сітка                                                                        | Євросітка                                                                             |
| <b>Вишивка</b><br>– органза<br>– євросітка                                            |                 | ← Dolce & Gabbana<br><br>Naem Khan →                                                |                                                                                     |                                                                                       |    |
| <b>Вишивка бісером</b><br>– фатін<br>– платтяна сітка                                 | Jenny Packham →                                                                                  |                                                                                     |    |    | ← Zuhair Murad                                                                        |
| <b>Аплікація</b><br>– фатін<br>– платтяна сітка                                       | Zuhair Murad →                                                                                   |                                                                                     |   |   | ← Christian Dior                                                                      |
| <b>Стрази</b><br>– шифон                                                              | Ziad Nakad →                                                                                     |  |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
| <b>3D декор</b><br>– органза<br>– шифон<br>– фатін<br>– євросітка<br>– платтяна сітка | Paolo Sebastian                                                                                  | Elie Saab                                                                           | Naem Khan                                                                           | Ziad Nakad                                                                            | Marchesa                                                                              |
|                                                                                       |               |  |  |  |  |
| <b>Пастки</b><br>– органза<br>– євросітка                                             |               | ← Inbal Dror<br><br>Valentin Yudashkin →                                            |                                                                                     |                                                                                       |  |
| <b>Намистини</b><br>– фатін<br>– платтяна сітка                                       | Elie Saab →                                                                                      |                                                                                     |  |  | ← Jenny Packham                                                                       |

## Технічні дані оздоблених матеріалів сучасним декором

| Зовнішній вид матеріалу з декором                                                 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |
| Запропоновані елементи декору у відповідності до матеріалу, який декорується      |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
| Фатін<br>(Поверхнева щільність – 26 г/м <sup>2</sup> )                            |                                                                                   | Євросітка<br>(Поверхнева щільність – 20 г/м <sup>2</sup> )                        |                                                                                   | Фатін<br>(Поверхнева щільність – 26 г/м <sup>2</sup> )                              |                                                                                     |
| Аплікація;<br>намистини                                                           | Мереживо;<br>пастки                                                               | 3D-декор (квіти);<br>намистини                                                    | Мереживо;<br>3D-декор (квіти);<br>намистини                                       | Мереживо; бісер;<br>намистини                                                       | 3D-декор (квіти);<br>намистини                                                      |
| Вага основного матеріалу з декоративними елементами, г/м <sup>2</sup>             |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
| 69                                                                                | 96                                                                                | 98                                                                                | 142                                                                               | 153                                                                                 | 156                                                                                 |
| Вага пропонованих пакетів матеріалу, г/м <sup>2</sup>                             |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
| 194                                                                               | 178                                                                               | 257                                                                               | 246                                                                               | 215                                                                                 | 262                                                                                 |

**Висновки.** Таким чином, складність сучасного декорування жіночих суконь та його різноманіття потребує встановлення взаємозв'язку з основними матеріалами за рядом вагових характеристик. Враховуючи об'ємність та вагу декоративного оздоблення, а також специфіку більшості основних платтяних матеріалів, для яких характерна прозорість та низькі значення поверхневої щіль-

ності і товщини, забезпечення міцності кріплення декору, збереження естетичності в експлуатації та у цілому надійності асортименту визначає основну специфіку технологічних процесів швейного виробництва. Все це дозволило запропонувати сучасний декор суконь жіночих, який за ваговими показниками повністю узгоджується з основним призначенням досліджуваного асортименту.

## Список літератури:

1. Пашкевич К.В., Вець Т.В. Аналіз факторів і закономірностей зміни композиційно-конструктивних параметрів жіночого одягу. Київський національний університет технологій та дизайну Україна. 2016. № 10. С. 144–155. URL: <http://er.knuid.edu.ua/handle/123456789/2017> (дата звернення 15.09.2018).
2. Бохонько О.П., Ярошук О.В., Вінтоняк Л.В. Дослідження оздоблення в сучасному жіночому одязі. Новітні технології, матеріали та дизайн у легкій промисловості та сервісі: наук.-практ. конф. Хмельницький національний університет. 2011. С. 95–97. URL: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/1289/1/ткшв2011.pdf> (дата звернення 15.09.2018).
3. Тютюнник І.С. Особливості оздоблення вітчизняного ексклюзивного вбрання другої половини ХХ століття. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені В. Гнатюка. 2012. № 2. С. 219–222. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUm\\_2012\\_2\\_37](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPUm_2012_2_37) (дата звернення 25.10.2018).
4. Білей-Рубан Н.В., Кулл О.О. Декорування пальтових виробів на основі елементів етно-стилістики. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (26–29 квітня 2016 р.). Чернівці: ЧНТУ, 2016. С. 207–208. URL: <http://dSPACE.msu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/536> (дата звернення 25.10.2018).
5. Горбатюк І.І., Ніколаєва Т.І., Кудрявцева Н.І. Вдосконалення тектонічної структури та колориту костюма на основі вивчення симбіозу архітектурних та садово-паркових форм, крізь призму робіт Лукаса Кранаха старшого. Київ: КНУТД, 2015. № 4 (88). URL: [https://er.knuid.edu.ua/bitstream/123456789/571/1/V88\\_P203-210.pdf](https://er.knuid.edu.ua/bitstream/123456789/571/1/V88_P203-210.pdf) (дата звернення 6.10.2018).
6. Петрусь Л.М., Білей-Рубан Н.В., Седоухова Є.В. Особливості формування гуцульського жіночого та чоловічого весільного. Наукові розробки молоді на сучасному етапі: всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів, присвяченої 80-річчю КНУТД (22–23 квітня 2010 р.). Київ: КНУТД, 2010. С. 242–243. URL: <http://dSPACE.msu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/504> (дата звернення 6.07.2018).
7. Мода. Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мода> (дата звернення 6.09.2018).
8. Технологія виготовлення виробів різного асортименту. Особливості обробки виробів з новітніх матеріалів. Хмельницький державний університет. URL: [http://dn.khnu.km.ua/dn/k\\_default.aspx?M=k1163&T=07&lng=1&st=0](http://dn.khnu.km.ua/dn/k_default.aspx?M=k1163&T=07&lng=1&st=0) (дата звернення 6.10.2018).

## ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖЕНСКИХ ПЛАТЬЕВ С ДЕКОРОМ

*В статье рассматриваются определяющие свойства современных платьевых материалов с точки зрения возможностей их декорирования. Установлена их взаимосвязь с современным оформлением для получения новых конструктивно-декоративных и технологических решений исследуемой ассортиментной группы одежды. Визуально-аналитический метод для исследования современного декорирования женских платьев законодателями моды позволил систематизировать весомые технические данные основных материалов и декора. Предложенный в работе современный декор платьев женских на основе экспериментальных исследований весовых показателей полностью согласуется с основным назначением исследуемого ассортимента.*

**Ключевые слова:** прозрачные материалы, декоративные элементы, отделка, весовые характеристики, технология.

## DETERMINATIVE PROPERTIES OF MODERN MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF WOMEN'S DRESSES WITH DECORATION

*The article deals with the determining properties of modern dress materials in terms of their decorating possibilities. Their interrelation with modern decoration has been established for obtaining new constructive-decorative and technological solutions of the assortment of garments under study. The visual-analytical method used to study modern dresses of women's dresses by legislators of fashion has allowed to systematize significant technical data of both basic materials and decor. The modern décor of women's dresses developed on the basis of experimental studies of weight indices is fully consistent with the main purpose of the assortment under study.*

**Key words:** transparent materials, decorative elements, decoration, weight characteristics, technology.

## ТРАНСПОРТ

УДК 621.336: 621.331

**Босий Д.О.**

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

**Антонов А.В.**

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

**Косарєв Є.М.**

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

**Михайлов В.С.**

ПАТ «Українська залізниця»

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНИХ ПІДВІСОК НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СТРУМОЗНІМАННЯ

*Метою роботи є визначення рівня впливу параметрів контактних підвісок на показники якості струмознімання. Заради досягнення поставленої мети та вирішення задач у роботі використовувались теоретичні та експериментальні методи досліджень.*

*У роботі розглянуто наявні підходи дослідження та оцінки взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачем, представлені результати натурних експериментальних досліджень, що лягли в основу для побудови математичних моделей. На розроблених моделях взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачами проведено моделювання та визначені основні напрями удосконалення конструкції контактної підвіски, для відповідності умовам впровадження швидкісного електрорухомого складу, досліджено розподіл струму в проводах контактної мережі та визначено вплив кількості струмоведучих струн у прольоті на струморозподіл. На основі отриманих результатів моделювання запропоновано шляхи удосконалення конструктивних параметрів контактної підвіски з метою покращення показників якості струмознімання.*

*Вперше встановлено залежності механічних характеристик швидкісних контактних підвісок від сили натиску струмоприймача, які дають змогу більш точно визначати параметри якості струмознімання, а саме еластичність контактного проводу та його відтискання по довжині прогону. Отримав подальший розвиток метод розрахунку взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем в усталеному режимі, який направлений на визначення відтискання та еластичності контактного проводу з урахуванням конструктивних особливостей контактних підвісок та їх електричних параметрів. Отримані в роботі результати дають змогу більш точно визначати показники якості струмознімання для швидкісних контактних підвісок електрифікованих залізниць з урахуванням їх конструктивних особливостей. Визначені основні параметри контактних підвісок, що погіршують показники якості струмознімання та запропоновані напрями їх нівелювання. Вказане дає змогу досягти мінімізації пошкоджень елементів контактної мережі та струмоприймачів під час впровадження швидкісного руху на електрифікованих залізницях України.*

**Ключові слова:** швидкісний рух, електротранспорт, контактна підвіска, струмоприймач, якість струмознімання, моделювання.

**Постановка проблеми.** Якість струмознімання охарактеризується цілою сукупністю показників, серед яких необхідно виділити відтискання контактного проводу та його еластичність вздовж прогону. Під час впровадження швидкісного руху, оновлення електрорухомого складу та інфра-

структури набуває важливості питання комплексного дослідження роботи контактних підвісок із метою визначення їх раціональних конструктивних параметрів. А оскільки спорудження контактної мережі на електрифікованих залізницях є довгостроковим фінансовим вкладенням, від

якого залежить якість надання послуг із транспортування вантажів та пасажирів, обґрунтування вибору конструктиву контактної мережі з метою впровадження швидкісного руху на електрифікованих залізницях є пріоритетним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз останніх публікацій [1–4] показує, що головною передумовою впровадження швидкісного руху на електрифікованих залізницях України є визначення найбільш раціональних параметрів контактних підвісок, які б давали змогу експлуатувати електрорухомий склад із відповідним швидкісним режимом та забезпеченням необхідного рівня потужності, що отримується з контактної мережі.

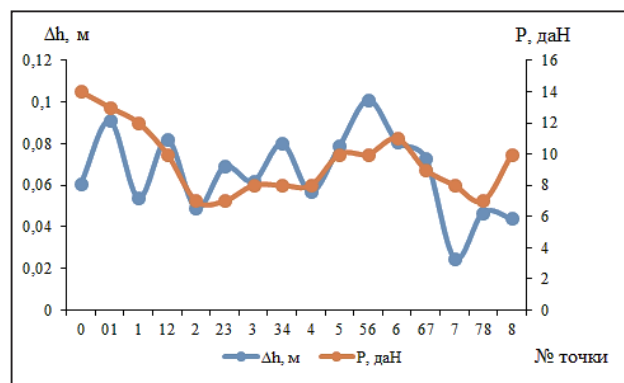
Питання забезпечення відповідної швидкісному режиму якості струмознімання комплексне і під час його розгляду необхідно враховувати як механічні параметри контактних підвісок, так і їхню здатність передавати необхідну потужність до електрорухомого складу. Наявні дослідження [5–8] розглядають питання підвищення якості струмознімання тільки в окремих напрямках і не враховують можливого впливу зміни конструктиву контактної мережі на її навантажувальну здатність і навпаки. Відсутність комплексного погляду на питання підвищення якості струмознімання може призвести до нераціонального використання технічного ресурсу обладнання та зайвих матеріальних витрат на експлуатацію електрифікованих ділянок залізниць.

**Постановка завдання.** Заради досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку задач: провести натурні експериментальні дослідження взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачами; визначити невідповідності наявних контактних підвісок швидкісному руху; запропонувати напрями удосконалення конструктиву контактних підвісок та обґрунтувати їх. Щоб вирішити задачу, у роботі необхідно використовувати теоретичні та емпіричні методи досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою визначення впливу конструктивних особливостей контактних підвісок на показники якості струмознімання були проведені натурні дослідження їх взаємодії зі струмоприймачами електрорухомого складу.

Натурні дослідження проводились із метою компенсованої ланцюгової контактної підвіски змінного струму ПБСМ-95+МФ-100 із ресорною струною в опорному вузлі за умови натягу несучого тросу  $T = 1800 \text{ даН}$  та контактного проводу  $K = 1000 \text{ даН}$  і використання струмоприймача

типу ТЛ-13У. Результати проведених досліджень наведені на рис. 1.



**Рис. 1. Результати натурних досліджень взаємодії контактної підвіски ПБСМ-95+МФ-100 зі струмоприймачем ТЛ-13У**

Проведені дослідження при динамічній взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем (рис. 1) показали задовільні результати (відтискання контактного проводу не перевищує 150 мм), що, власне, відповідає вимогам, які висуваються для контактної підвіски ПБСМ-95+МФ-100. Отримані результати співзвучні з результатами, які приводяться у відомих роботах [6; 9]. Але такі контактні підвіски морально застаріли і не дають змоги реалізовувати швидкості понад 120 км/год.

Досвід експлуатації високошвидкісних магістралей за кордоном показав, що забезпечення надійної взаємодії рухомого струмоприймача і контактної підвіски є більш складним технічним завданням, ніж забезпечення надійної взаємодії рухомого екіпажу з рейками [1; 2].

На теренах країн Європейської Співдружності давно експлуатуються швидкісні та високошвидкісні контактні підвіски [10; 11], які адаптовані для руху певного типу електрорухомого складу (окремо вантажні та пасажирські поїзди). В Україні на одних ділянках колії курсує електрорухомий склад різних типів і контактна мережа має задовольняти цілій сукупності вимог із метою забезпечення надійного струмознімання при різних швидкісних режимах.

Надійність і необхідна якість струмознімання визначаються швидкістю руху електрорухомого складу і конструктивними параметрами контактної підвіски і струмоприймача, а їх взаємодія являє собою складний коливальний процес, при цьому процес взаємодії контактної підвіски та струмоприймача ускладнюється ще й передачею через ковзний контакт електричної енергії. Вказане зумовлює необхідність забезпечення стійкої роботи контактної мережі з урахуванням потужності, яка через неї передається.

Науковцями розроблений проект контактної мережі для забезпечення швидкості руху електро-рухомого складу до 200 км/год, але в роботі та типовому проекті відсутня інформація про врахування електричних навантажень, які сприймаються запропонованою контактною підвіскою [12].

У цій роботі було вирішено провести моделювання статичної взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачем із метою визначення основних нормованих показників якості струмознімання, за умови використання методу розрахунку взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем в усталеному режимі [9], який доповнений врахуванням електричних параметрів контактних підвісок.

Як контактні підвіски з метою моделювання їх взаємодії зі струмоприймачем використовувались такі: ПБСМ-95+МФ-100 з ресорною струною в опорному вузлі, з натягами несучого тросу  $T = 1800 \text{ даН}$  та контактного проводу  $K = 1000 \text{ даН}$ ; М-120+БрФ-120 з мірними струмопровідними струнами, за умови натягів несучого тросу  $T = 1800 \text{ даН}$  та контактного проводу  $K = 2000 \text{ даН}$ ; М-120+БрФ-120 із простими струнами та полегшеними фіксаторами, натягів несучого тросу  $T = 1800 \text{ даН}$  та контактного проводу  $K = 2000 \text{ даН}$ . Як арматура контактної мережі використовувались затискачі широкого поширення, які експлуатуються на залізницях України.

Зрівняльні результати відтискання контактного проводу для трьох типів контактних підвісок наведені на рис. 2, за умови натиску струмоприймача в 8 даН.

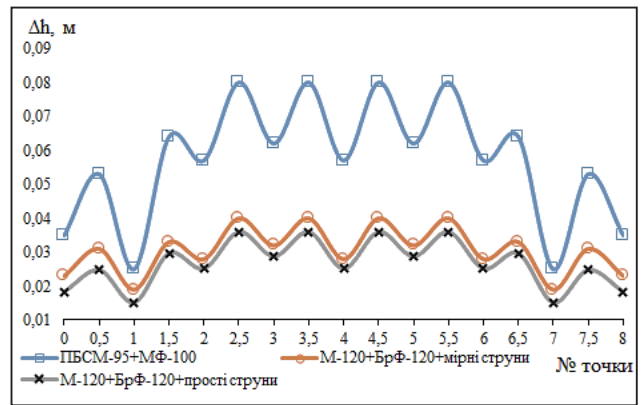
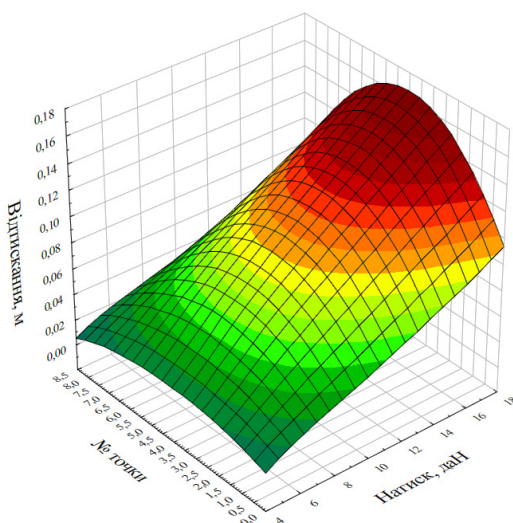


Рис. 2. Зрівняльні результати відтискання контактного проводу при  $P = 8 \text{ даН}$

З наведених результатів розрахунку відтискання контактного проводу по довжині прогону (рис. 2) видно, що наявна контактна підвіска ПБСМ 95+МФ-100 ділянок електрифікованих залізниць змінного струму володіє чітко вираженою нерівномірністю відтискання контактного проводу та еластичністю по довжині прогону. Кращі результати показують контактні підвіски для швидкісного руху. Необхідно зазначити, що запропонована полегшена контактна підвіска М-120+БрФ-120 має кращі показники якості струмознімання, ніж запропонована в роботі В.В. Божко, О.О. Краснова і С.В. Демченко [12].

Більш детально з'ясувати характер зміни відтискання контактного проводу та зміну еластичності по довжині прогону у разі змінного натиску струмоприймача можна з наведених на рис. 3, 4 тривимірних графіків.

а) М-120+БрФ-120 із мірними струнами



б) М-120+БрФ-120 із простими струнами

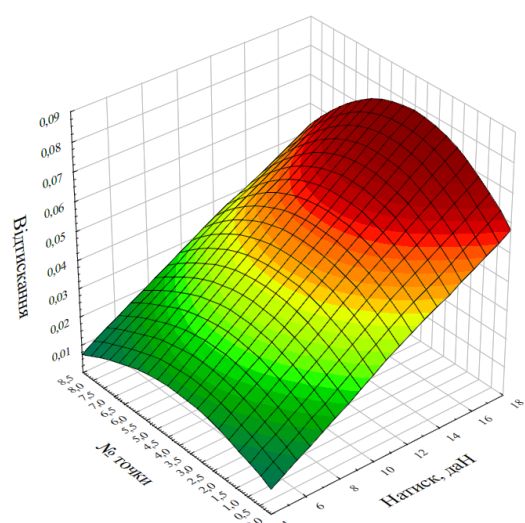


Рис. 3. Відтискання контактного проводу вздовж прогону за умови змінного натиску струмоприймача

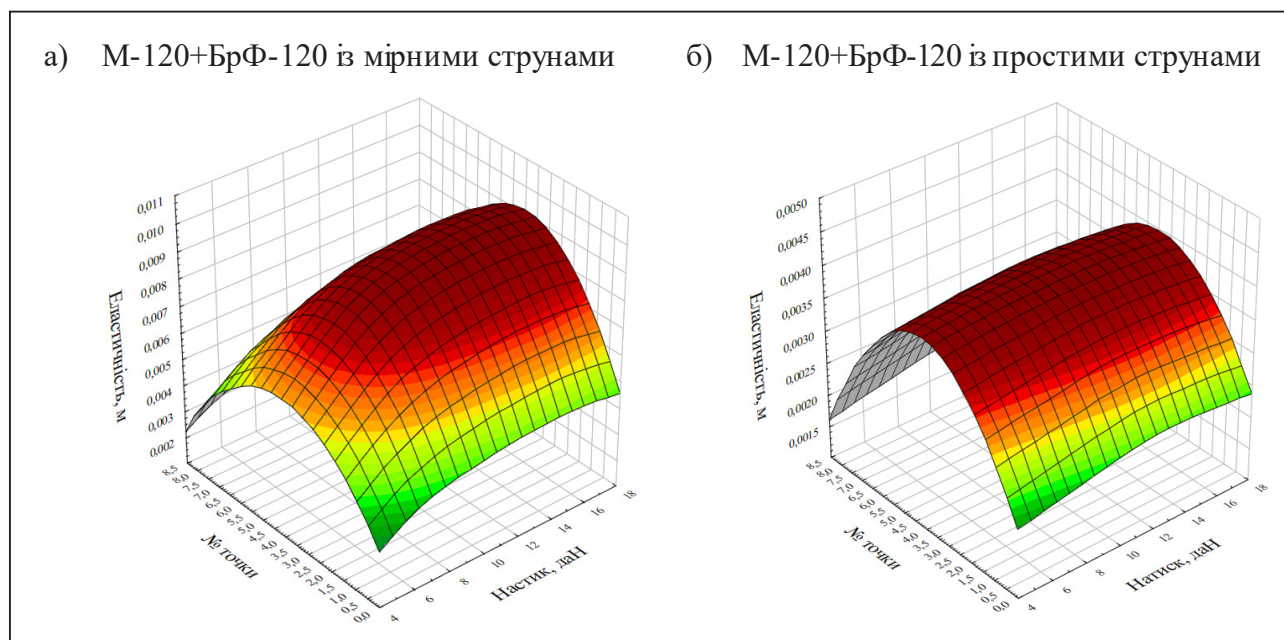


Рис. 4. Еластичність контактної проводи вздовж прогону за умови змінного натиску струмоприймача

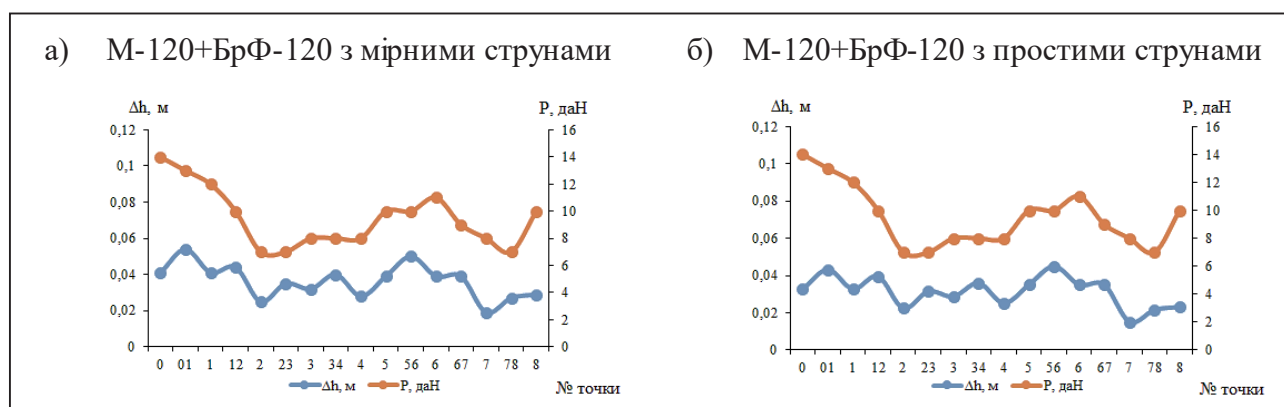


Рис. 5. Результати моделювання взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачем ТЛ-13У

Отримані результати (рис. 3, 4) свідчать, що такі показники, як відтискання та еластичність при одному й тому ж значенні натиску, для різних конструкцій контактних підвісок мають різне значення.

Із використанням кривої натиску струмоприймача по довжині прогону (рис. 1) було проведено моделювання динамічної взаємодії контактних підвісок зі струмоприймачем (рис. 5), з якого видно, що полегшена контактна підвіска М-120+БрФ-120 з простими струнами та полегшеними фіксаторами володіє кращими показниками якості струмознімання, ніж аналогічна контактна підвіска з мірними струнами.

З метою підтвердження отриманих результатів і можливості їх використання були проведені додаткові дослідження струморозподілу в контактній підвісці. Дослідження проводилось на математичній моделі з використанням методу вузлових

потенціалів [13; 14]. У процесі моделювання прогін контактної підвіски (рис. 6) замінювався електричною схемою з відповідними параметрами віток (проводів контактної мережі), що визначались за допомогою виразів Ф. Поллячека і Дж. Карсона (1), параметрами генеруючих джерел та навантаження.

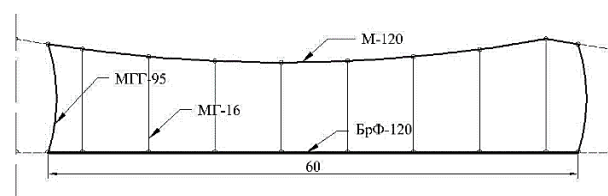


Рис. 6. Типовий прогін контактної підвіски

Повний власний опір проводів контактної мережі:

$$\underline{z} = r_k + j\omega \left( L - \frac{\mu}{2} \cdot 10^{-4} \right), \quad (1)$$

де  $r_k$  – активний опір проводу, Ом/км (у разі застосування мідних чи алюмінієвих проводів дорівнює опорі проводу постійному струму);

$\omega$  – кутова частота, с<sup>-1</sup>;

$\mu$  – магнітна проникність проводу (для мідних чи алюмінієвих  $\mu = 1$ );

$L$  – індуктивність проводу, Гн/км.

Розрахунковий вираз потенціалів у вузлах схеми в матричній формі:

$$\underline{V} = \underline{K}^{-1} \cdot \underline{E}, \quad (2)$$

де  $\underline{K}^{-1}$  – матриця провідностей віток схеми, (провідності проводів контактної підвіски), См.

$\underline{E}$  – вектор задаючих струмів (струми фідерів тягових підстанцій та споживаний струм електроорухомого складу), А.

Таким чином, з огляду на знання потенціалу у вузлах схеми та опори віток були отримані залежності зміни струморозподілу в проводах контактної мережі (рис. 7).

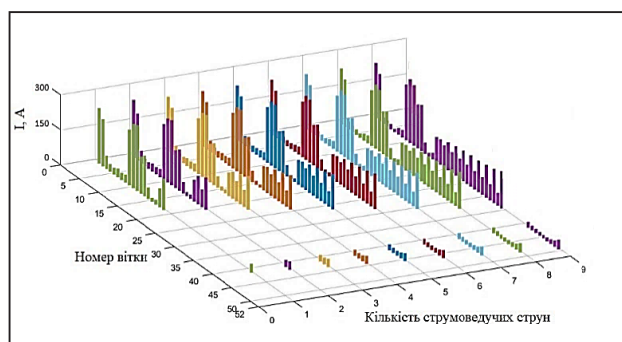


Рис. 7. Графічне зображення зміни струморозподілу у проводах контактної підвіски (вітки з 42-ї до 50-ї відображають мірні струни)

Отримані результати (рис. 7) свідчать, що наявність струмопровідних струн у прольоті не здійснює суттєвого впливу на перерозподіл струмів між проводами, що підтверджує змогу використовувати полегшену контактну підвіску М-120+БрФ-120 із простими струнами та полегшеними фіксаторами.

### Висновки.

1. Проведені натурні експериментальні дослідження взаємодії ланцюгової контактної підвіски змінного струму зі струмоприймачем дали змогу визначити нерівномірність натиску струмоприймача по довжині прогону і, відповідно, нерівномірність відтискання та еластичності.

2. Моделювання зміни струморозподілу в прогоні контактної підвіски показало незначний вплив наявності струмопровідних струн на перерозподіл струмів між проводами, що визначило відсутність необхідності використання для швидкісних ланцюгових контактних підвісок змінного струму мірні електропровідні струни.

3. Отримані результати моделювання взаємодії швидкісних ланцюгових контактних підвісок зі струмоприймачем ТЛ-13У на розроблених математичних моделях дало змогу визначити основні напрями удосконалення конструкції контактної підвіски з метою відповідності впровадження швидкісного електроорухомого складу.

4. Вперше встановлено залежності механічних характеристик швидкісних контактних підвісок від сили натиску струмоприймача, які дають змогу більш точно визначати показники якості струмознімання.

5. Отримав подальший розвиток метод розрахунку взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем в усталеному режимі, який спрямований на визначення відтискання та еластичності контактного проводу з урахуванням конструктивних особливостей контактних підвісок та їх електричних параметрів.

### Список літератури:

1. Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Schneider E. Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance. Second Edition. Wiley, John & Sons, 2009. 994 p.
2. Zhou N., Zhang W. Investigation on dynamic performance and parameter optimization design of pantograph and catenary system. Finite Elements in Analysis and Design. 2011. № 47. P. 288–295.
3. Lee J.H., Park T.W. Development and Verification of a Dynamic Analysis Model for the Current-Collection Performance of High-Speed Trains Using the Absolute Nodal Coordinate Formulation. Trans. Of the KSME. 2012. № 36(3). P. 339–346.
4. Тюрнин П.Г., Миронос Н.В. Обеспечение качественного токосъёма [Текст]. Токосъём и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / Под ред. Н.В. Мироноса, П.Г. Тюрнина. М.: Интекст, 2010. С. 15–19.
5. Купцов Ю.Е. Беседы о токосъёме и его надёжности, экономичности и о путях совершенствования. Москва: Модерн-А, 2001. 256 с.
6. Вологин В.А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети [Текст]. М.: Интекст, 2006. 256 с.
7. Павличенко М.Е. Совершенствование конструкции верхнего узла токоприемника. Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. 2008. № 24. С. 78–79.

8. Antonov A.V., Sychenko V.G. Resource Evaluation of Friction Pair “Contact Wire – Contact Strip”. Archives of Transport. 2017. Vol. 44. Issue 4. P. 7–14.
9. Фрайфельд А.В. Проектирование контактной сети [Текст] / А.В. Фрайфельд, Б.Г. Брод. М.: Транспорт, 1991. 355 с.
10. Яндович В.Н. Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токосъема / В.Н. Яндович, В.Г. Сыченко, А.В. Антонов. Електрифікація транспорту. 2014. № 7. С. 67–77.
11. Дьяков В.О. Контактна мережа електрифікованих залізниць. Улаштування контактної мережі / В.О. Дьяков, Д.О. Босий, А.В. Антонов. Дніпро: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2017.
12. Божко В.В., Краснов О.О., Демченко С.В. Особенности конструкции контактной сети переменного тока для скоростного движения 160–200 км/год для железных дорог Украины. Електрифікація транспорту. 2015. № 9. С. 8–14.
13. Костін М.О., Шейкіна О.Г. Теоретичні основи електротехніки. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2006.
14. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. Москва, Россия: Энергия, 1975.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ТОКОСЪЕМА

*Целью работы является определение степени влияния параметров контактных подвесок на показатели качества токосъема. Для достижения поставленной цели и решения задач в работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследований.*

*В работе рассмотрены существующие подходы исследования и оценки взаимодействия контактных подвесок с токоприемниками, представлены результаты натурных экспериментальных исследований, которые легли в основу построения математических моделей. На разработанных моделях взаимодействия контактных подвесок с токоприемниками проведено моделирование и определены основные направления совершенствования конструкции контактной подвески для соответствия условиям внедрения скоростного электроподвижного состава, исследовано распределение тока в проводах контактной сети и определено влияние количества токоведущих струн в пролете на токораспределение. На основе полученных результатов моделирования предложены пути совершенствования конструктивных параметров контактной подвески для улучшения показателей качества токосъема.*

*Впервые установлены зависимости механических характеристик скоростных контактных подвесок от силы нажатия токоприемника, которые позволяют более точно определять параметры качества токосъема, а именно эластичность контактного провода и его отжатие по длине пролета. Получил дальнейшее развитие метод расчета взаимодействия контактной подвески с токоприемником в установившемся режиме, который направлен на определение отжатия и эластичности контактного провода с учетом конструктивных особенностей контактных подвесок и их электрических параметров. Полученные в работе результаты позволяют более точно определять показатели качества токосъема для скоростных контактных подвесок электрифицированных железных дорог с учетом их конструктивных особенностей. Определены основные параметры контактных подвесок, ухудшающие показатели качества токосъема и предложены направления их нивелирования. Указанное позволяет достичь минимизации повреждений элементов контактной сети и токоприемников при внедрении скоростного движения на электрифицированных железных дорогах Украины.*

**Ключевые слова:** скоростное движение, электротранспорт, контактная подвеска, токоприемник, качество токосъема, моделирование.

### INVESTIGATION OF CONTACT DETERMINATION PARAMETERS INFLUENCE ON THE QUALITY INDICATORS OF STRUCTURE

*The purpose of the work is to determine the level of influence of the contact pendants parameters on the quality indicators of the screw-picking. The theoretical and experimental methods of research were used to achieve the set goal and to solve the problems in the work.*

*The paper considers existing approaches of studying and assessing the contact pendants interaction with current collectors and presents the results of field experiments, which formed the basis for constructing mathematical models.*

*On the developed models of contact pendants interaction with current collectors, simulation was carried out. The main directions of improvement of the contact suspension design for the conformity to the conditions of introduction the high-speed electric-engine composition were determined. The current distribution in the*

wires of the contact network is investigated and the influence of the number of current-carrying strings in the span on the current distribution is determined.

On the basis of the obtained modeling results, ways of improving the design parameters of the contact suspension are proposed for improving the quality of the screw capability. For the first time, the dependencies of the mechanical characteristics of high-speed contact suspensions on the pressure of the current collector were determined, which allow more accurately determine the quality parameters of the snap-in, namely the elasticity of the contact wire and its pressing over the length of the run. The method for calculating the interaction of the contact suspension with the current collector in the steady state, which is aimed at determining the pressure and elasticity of the contact wire, taking into account the structural features of the contact pendants and their electrical parameters, has been further developed. The results obtained in the work allow to more accurately determine the quality of screw-picking quality for high-speed contact pins of electrified railways, taking into account their design features. The basic parameters of contact pendants are determined which deteriorate quality of screw quality and suggested directions of their leveling. The specified allows to achieve minimization of damage to the elements of the contact network and current collectors when introducing high-speed traffic on the electrified railways of Ukraine.

**Key words:** high-speed movement, electric transport, contact pendant, current collector, quality of a snap, modeling.

УДК 658.286.2:625

**Воропай В.С.**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

**Черкасова В.В.**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

**Ягмурджи А.А.**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

## **СИНХРОНІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ЦЕНТРУ ЗЕРНОВИХ ТА МАСЛЯНИСТИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ НЕЧІТКОГО ТА НЕСТАБІЛЬНОГО ФІНАНСУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ УКРАЇНИ**

*У статті розглянуто питання підвищення ефективності функціонування транспортної системи промислового району припортового логістичного ланцюга. Розроблено методику управління процесом стійкої взаємодії транспортних систем промислового району шляхом «вбудовування» органу-координатора – логістичного розподільного центру (ЛРЦ). Вироблено моделювання процесу стійкої взаємодії припортових транспортних систем, що обслуговують діяльність ЛРЦ. Відновлена гармонія сполучення між складовими ланками, які оброблюють потоки зернових, призводить до стійкості усього логістичного ланцюга.*

**Ключові слова:** синхронізація, логістичний розподільний центр, транспортні системи, промисловий регіон, мереживна модель Петрі.

**Постановка проблеми.** Основною проблемою становлення економіки ЛРЦ є складність процесу управління потоками зернових та маслянистих культур (ЗіМК), що входять і виходять із нього. Нині великі західноєвропейські компанії для вирішення такої проблеми управління вантажопотоками застосовують комп'ютеризовані системи: управління ланками ланцюга постачання, система планування поставок [1].

Застосування цих систем, враховуючи економічний стан більшості українських сільгосппідприємств, неможливо через необхідність додаткових фінансових постачань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачі синхронізації транспортних потоків приділено чимало уваги в науково-практичних роботах. Огляди і докладні класифікації можна знайти в оглядових публікаціях В.М. Мандріца, Л.А. Бронштейна, Я.М. Ройтмана, З.І. Аксьонової, А.І. Малишева, С.Л. Голованенко, Л.А. Александрова, Р.К. Козлова. Але на етапі ринкової трансформації економіки України на транспорті виникли досить складні проблеми, пов'язані з переходом галузевої структури, що радикально змінюється, до ринку, з розвитком методів управління та організації функціонування транспортних систем, а також із гострою необхідністю під-

вищити економічну ефективність господарської діяльності.

**Постановка завдання.** У роботі розглядається вирішення цієї проблеми у найбільш прийнятний спосіб розробкою моделі, яка дає змогу синхронізувати рух потоків ЗіМК вхідних і вихідних із ЛРЦ. Складність проблеми синхронізації потоків ЗіМК полягає в хаотичності величини їх обсягів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Із теорії хаотичної синхронізації слідує, що узгоджену роботу окремих частин складної системи може забезпечувати один з її елементів, далі іменований як елемент управління. У нашому випадку під складною системою розуміється промислово-транспортна система, що забезпечує обслуговування вантажопотоків ЗіМК. Ланкою, що керує діяльністю цієї системи, є ЛРЦ ЗіМК. Центр, будучи пов'язаним одностороннім чином з усіма ланками промислово-транспортної системи, «керує» їх діяльністю, нав'язуючи свій ритм. Якщо при цьому домогтися того, щоб між окремими припортовими ланками системи був відсутній зв'язок і була присутньою тільки ЛРЦ ЗіМК, отримаємо випадок граничної централізованої системи.

Вирішення проблеми синхронізації роботи ЛРЦ ЗіМК розпочинаємо з припущення того, що

аналізований Донецький регіон – регіон-постачальник. І в ньому функціонують  $i \dots i+1$  постачальників ЗіМК. У міру збору ЗіМК  $i$ -ий постачальник робить транспортування вантажу в ЛРЦ ЗіМК. Цей центр має кілька транспортних підходів: залізничний, автотранспортний, морський.

Синхронізація роботи ЛРЦ ЗіМК можлива шляхом розробки моделі, яка дала б змогу синхронізувати незалежні дії постачальників і не допускала взаємного блокування, коли усі постачальники нададуть вантаж у ЛРЦ ЗіМК [2]. Кожен із них займе певний транспортний підхід до центру, і ніхто не зможе здійснити відвантаження ЗіМК, тим самим блокуючи роботу центру.

Представимо набір дій усіх постачальників матрицею РН розмірністю  $n \times 6$ , в якій  $i$ -ий рядок РН  $[i, m]$  відповідає діям  $i$ -го постачальника. Кожен із постачальників виконує 6 дій: РН  $[i, 1]$  – транспортний засіб  $i$ -го постачальника займає транспортний підхід до ЛРЦ – оформлення документації на вантаж; РН  $[i, 2]$  – транспортний засіб  $i$ -го постачальника займає ваги в ЛРЦ; РН  $[i, 3]$  – транспортний засіб  $i$ -го постачальника займає розвантажувальний механізм; РН  $[i, 4]$  – іде розвантаження транспортного засобу  $i$ -го постачальника; РН  $[i, 5]$  – транспортний засіб  $i$ -го постачальника звільняє розвантажувальний механізм; РН  $[i, 6]$  –  $i$ -й постачальник звільняє транспортний підхід до ЛРЦ – оформлення документації.

Математично матриця дій постачальника записується таким чином:

$$PH = \begin{bmatrix} i, 1 \\ i, 2 \\ i, 3 \\ i, 4 \\ i, 5 \\ i, 6 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Варто зазначити, що у процесі складання набору дій постачальника залізничний і автомобільний транспорт приймався як транспорт, експлуатований постачальником, а морський транспорт – споживачем.

Поведінку  $i$ -го постачальника того, що використовує різні транспортні підходи (залізничний і автомобільний) до ЛРЦ ЗіМК, можна змоделювати мережею Петрі [3] (рисунк 1).

Кожній дії  $i$ -го постачальника ставиться у відповідність перехід у мереживну модель, який має той самий номер, що і рядок у матриці дій. Робиться припущення, що вантажні операції, що виконуються постачальниками, можуть здійснюватися незалежно й одночасно. У моделі факт паралельності дій постачальниками, що викорис-

товують різні транспортні системи, відображається паралельними гілками мережі (переходи з номерами  $(i, 2)$  і  $(i, 3)$ , а також можуть спрацювати незалежно й одночасно).

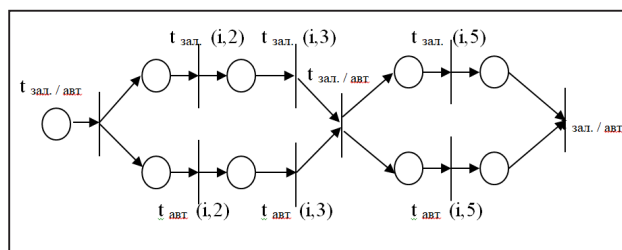


Рис. 1. Мереживна модель дії постачальника того, що використовує залізничний (зал.) і автомобільний (авт.) транспортні підходи:  $t$  – час тривалості переходу;  $(i, 1)$  – номер переходу

Із досить високою періодичністю виникає ситуація, коли постачальники, поставляючи вантаж у ЛРЦ ЗіМК, використовують один транспортний підхід, що викликає низку незручностей, у тому числі і чергу. Для того щоб синхронізувати незалежні дії  $n$ -ої кількості постачальників, що використовують один транспортний підхід, необхідно ввести в модель елементи, що регламентують використання навантажувально-розвантажувальних пристроїв (НРП) одночасно двома постачальниками. Як такі елементи можна використати додаткові місця, що мають одиничне маркування.

Вочевидь, вирішенням проблеми забезпечення відсутності блокувань може стати заборона на одночасну присутність у ЛРЦ ЗіМК такої кількості постачальників, яка не може бути обслугована з огляду на недостатню технічну оснащеність НР комплексу. У моделі це рішення забезпечується введенням ще одного додаткового місця, кількість маркерів в якому дорівнює кількості постачальників, які можуть бути обслуговувані наявними НР потужностями. Це місце пов'язане вхідними дугами з першим переходом моделі дій кожної з  $n$ -ої кількості постачальників.

Вирішення питання простоїв може бути отримане у разі використання теорії вірогідності. Процес вантаження (розвантаження) можна розглядати як систему масового обслуговування, що складається з певного числа обслуговуючих пристроїв (НРП), потоку вимог (автомобілі), характеристики «поведінки» вимоги (автомобіля) під час обслуговування (вантаження-вивантаження) і потоку (авто і зал., які виходять із пункту) як тих, що виходять, так і тих, що входять.

Варто враховувати той факт, що процес вступу і обробки потоків транспортних засобів із ЗіМК – явище, що супроводжується великою кіль-

кістю випадкових подій, підкоряється певним закономірностям і може бути математично описане за допомогою законів розподілу випадкових величин.

Враховуючи той факт, що потік автомобілів, що входить, необмежено великий, остаточні вирази для розрахунку характеристик діяльності ЛРЦ ЗіМК можуть НР пости вільні, може бути виражена таким чином [3]:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda'}{\nu}\right)^k + \frac{\nu}{(n-1)!(n-\nu)} \cdot \left(\frac{\lambda'}{\nu}\right)^n}, \quad (2)$$

– вірогідність того, що усі НР пости зайняті, може бути зображена вираженням:

$$P = \frac{\nu P_0}{(n-1)!(n-\nu)} \left(\frac{\lambda'}{\nu}\right)^n \approx k \frac{\lambda'}{n\nu}, \quad (3)$$

де  $\nu$  – параметр показового розподілу (середній час завантаження вивантаження одного автомобіля);

$\lambda'$  – параметр простого потоку (середнє число автомобілів, що поступають на пункт);

$n$  – число навантажувально-розвантажувальних механізмів;  $k$  – число автомобілів у навантажувально-розвантажувальному пункті.

Із метою оцінки ефективності інвестування діяльності припортових транспортних ланок логістичного ланцюга постачання зернових застосований метод рентабельності інвестицій, що дає змогу визначити індекс рентабельності. Індекс рентабельності є відношенням дисконтованих грошових потоків до наведених інвестиційних витрат. Розрахунок індексу ведеться з обліку разового вкладення в діяльність логістичного ланцюга постачання зернових у Приазовському регіоні [2]:

$$PI = \frac{1}{I_0 \left( \sum_{t=1}^{\infty} \frac{CF_t}{(1+k)^t} \right)}, \quad (4)$$

де  $CF_t$  – грошовий потік від інвестиційної діяльності грн/рік;

$k$  – норма дисконту, що є необхідною нормою прибутку, виражається у відсотках на рік ( $k=0,15$ );

$t$  – крок інвестування – кількість етапів інвестування, од. (у цьому разі  $t=1$ );

$I_0$  – разові (початкові) інвестиційні витрати, грн.

Із метою визначення величини грошового потоку від інвестиційної діяльності скористаємося вираженням:

$$CF_i = \frac{\sum M_{i(n)}}{\sum K L_{i(n)}}, \quad (5)$$

де  $M_i(n)$  – економічний ефект, отриманий від впровадження логістичних заходів в  $i$ -й ланці логістичного ланцюга;

$n$  – кількість ланок, виділених в досліджуваному логістичному ланцюзі, од.;

$K L_i(n)$  – середня за період величина капіталу, інвестованого в логістику, в  $i$ -й ланці логістичного ланцюга.

Як економічний ефект від здійснення логістичних методів управління вантажопотоками зернових у промислово-транспортній системі може розглядатися частина виручки від реалізації, отримана шляхом підвищення якості зернових і, відповідно, надбавки в ціні товару; ефектом також може бути приріст виручки шляхом підвищення конкурентоспроможності зернових і розширення завдяки цьому ринків збуту; результатом може бути економія поточних витрат шляхом скорочення тривалості логістичного циклу, зменшення простоїв, зниження складських і транспортних витрат. Таким чином, економічний ефект у промислово-транспортній системі складається, по-перше, завдяки приросту прибутку внаслідок зростання виручки від реалізації; по-друге, шляхом скорочення витрат на проведення логістичних операцій:

$$M_i = \Pi_i + D\Pi_i + D\Pi_i, \quad (6)$$

де  $\Pi_i$  – прибуток від реалізації, що отримується за базисних умов реалізації для  $i$ -ї ланки промислово-транспортної системи, грн.;

$D\Pi_i$  – приріст прибутку від реалізації, отриманий внаслідок зростання виручки від реалізації шляхом застосування методів логістики в  $i$ -й ланці промислово-транспортної системи, грн.;

$D\Pi_i$  – скорочення логістичних витрат в  $i$ -й ланці промислово-транспортної системи шляхом зменшення часу очікування транспортних засобів завантажувально-розвантажувальних операцій, грн.

Середню величину капіталу, інвестованого в логістику, можна визначити як середньохронологічну вартість запасів зернових, що перебувають у межах системи, і середню за період вартість частини коштів, використовуваних для здійснення логістичної операції:

$$K L_i = C_s + O L_i, \quad (7)$$

де  $C_s$  – середньохронологічна вартість матеріальних запасів в  $i$ -й ланці промислово-транспортної системи, грн.;

$O L_i$  – середня за період вартість основних засобів, використовуваних для логістичних операцій в  $i$ -й ланці промислово-транспортній системі, грн.

Звідси виходить:

$$CF_i = \frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_i + D\Pi_i + D\Pi_i)}{\sum_{t=1}^n (C_s + O L_i)}, \quad (8)$$

Ця величина є економічним ефектом  $M_{i(n)}$ , отриманим від впровадження логістичних заходів в  $i$ -й ланці (транспортні системи) логістичного ланцюга.

Із метою визначення повних логістичних витрат у промислово-транспортній системі припустимо, що одноразовий об'єм інвестування спрямований на координацію процесу взаємодії ланок промислово-транспортної системи оброблювальної потоки зернових становитиме 10 000 грн.

Скористаємося формулою:

$$CF_i = \frac{\sum M_{i(n)}}{\sum K L_{i(n)}}, \quad (9)$$

де  $M_{i(n)}$  – економічний ефект, отриманий від впровадження логістичних заходів в  $i$ -й ланці логістичного ланцюга ( $M_i(n) = 38\,190$  грн./рік.);

$n$  – кількість ланок, виділених у досліджуваному логістичному ланцюзі ( $n = 4$  од.);

$K L_{i(n)}$  – середня за період величина капіталу, інвестованого в логістику, в  $i$ -й ланці логістич-

ного ланцюга – разова ( $K L_i(n) = 10\,000$  грн).  $CF_i = 5\,499,36$  грн./рік [1].

Отримана кількісна характеристика потоків від інвестиційної діяльності в промислово-транспортній системі дає змогу зробити планування логістичних операцій постачань зернових, що протікають у ланцюзі. Згідно з формулою (9)  $PI < 1$ , що говорить про необхідність пошуку додаткових інвестицій у розвиток становлення логістичного розподільного центру на базі наявного промислового підприємства ТОВ «СРЗ» м. Маріуполь.

**Висновки.** Наведене математичне описання дій постачальника у ЛРЦ ЗіМК дає змогу проводити обґрунтований вибір оптимальних рішень синхронізації транспортних потоків у цьому ланцюзі поставок. Також наведені в статті матеріали можуть бути використанні фахівцями в галузі розробки транспортних систем логістичних центрів.

#### Список літератури:

1. Лямзин А.А. Моніторинг ефективності роботи логістичного розподільного центру зернових і олійних культур: вісник / за ред. В.К. Губенко. Маріуполь: ПДТУ, 2005. С. 195–199.
2. Кузнецов А.П. Методологічні основи управління вантажними перевезеннями в транспортних системах: монографія / за ред. В.К. Губенко. Маріуполь: ВІНІТІ РАН, 2014. 276 с.
3. Губенко В.К. Оптимізація оперативного-календарного плану доставки багатонаменклатурних мелкапартійних вантажів на промислових підприємствах / за ред. М.А. Литвинова, Маріуполь: ПДТУ, 2001. С. 273–276.

### СИНХРОНИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ЗЕРНОВЫХ И МАСЛЯНИСТЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОГО И НЕСТАБИЛЬНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА УКРАИНЫ

*В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности функционирования транспортной системы промышленного района припортовой логистической цепи. Разработана методика управления процессом стойкого взаимодействия транспортных систем промышленного района путем «встраивания» органа-координатора – логистического распределительного центра (ЛРЦ). Выработано моделирование процесса стойкого взаимодействия припортовых транспортных систем, обслуживающих деятельность ЛРЦ. Возобновленная гармония соединения между составными звеньями, которые обрабатывают потоки зерновых, приводит к стойкости всей логистической цепи.*

**Ключевые слова:** синхронизация, логистический распределительный центр, транспортные системы, промышленный регион, кружневая модель Петри.

### SYNCHRONIZATION OF LOGISTIC PORT OF CENTER OF GRAIN AND OILY CROPS IN THE CONDITIONS OF UNCLEAR AND UNSTABLE FINANCING OF INDUSTRIAL DISTRICT OF UKRAINE

*The question of increase of efficiency of functioning of a transport system of industrial district of port logistic chain is considered in the article. Methodology of process control of proof cooperation of transport systems of industrial district is worked out by “building” of organ-co-ordinator – logistic distributive center (LDC). The design of process of proof cooperation of port transport systems of attendant is mine-out activity of LDC. The renewed harmony is connections between component links, that process the streams of grain-growing, and results in firmness of all logistic chain.*

**Key words:** synchronization, logistic distributive center, transport systems, industrial region, lace model of Petry.

УДК 621.431.74

**Литвиненко В.П.**

Азовский морской институт Национального университета «Одесская морская академия»

**Вагнер М.А.**

Азовский морской институт Национального университета «Одесская морская академия»

**Спиридонов В.В.**

Азовский морской институт Национального университета «Одесская морская академия»

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ЦИКЛЕ РАБОТЫ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*В статье рассмотрены вопросы оценки протекания цикла работы судового дизельного двигателя. В ходе исследования используются объемные показатели, поскольку объемные процессы в наибольшей степени согласуются с физико-химическими преобразованиями в топливно-воздушной смеси при ее сгорания и, таким образом, могут рассматриваться в виде газодинамического результирующего эффекта работы дизеля. В качестве критерия такой оценки используется объемная скорость, определяемая использованием полученных на практике значений мощности и среднего эффективного давления. Результаты расчета значений объемной скорости внутрицилиндрового процесса позволяют определить показатели степени предварительного расширения газов в цикле.*

**Ключевые слова:** объемная скорость потока газов, скорость поршня, степень предварительного расширения, термодинамические параметры, объем камеры сжатия, мощность, среднее эффективное давление.

**Постановка проблемы.** В современных условиях оценка эффективной работы дизеля осуществляется использованием показателей мощности, давления сгорания, давления сжатия, температуры выхлопных газов, давления продувочного воздуха, удельного расхода топлива и других, которые в определенной мере отображают эффективность тепловых внутрицилиндровых процессов и определяются посредством прямых измерений. По сути такие параметры косвенно отображают газодинамические особенности объемного сгорания топливовоздушной смеси в цилиндрах дизелей и образование движущей поршень силы, которые, однако, еще в недостаточной степени изучены и не могут быть представлены использованием однозначного параметра для конкретной модели судовых дизелей, тем более на различных режимах его работы.

Процессы сгорания в цилиндрах двигателя, несмотря на их первичность, формализованы в виде сложных функций, решение которых осуществляется за счет привнесения эмпирических коэффициентов. Формализация таких процессов в известных исследованиях и методиках оказалась сложной и до конца не определенной. По этой причине в эксплуатационной практике и при проектировании двигателей учитываются инте-

грированные параметры и широко используются эвристические подходы. Примером реализации таких подходов является решение вопросов по использованию тяжелого топлива в конструкции среднеоборотных двигателей фирмами Катерпилар, Вяртсиля и МАН [1].

В настоящее время ведущими фирмами принимаются решения по совершенствованию процессов сгорания за счет изменения количественного соотношения подаваемого топлива и времени его впрыска, изменения температуры надувочного воздуха в зависимости от режимов нагрузки дизеля. Что, по сути, является фактом, подтверждающим изменения известных взглядов на свойство дизельного топлива к саморегуляции. Эти схемы организации процесса сгорания свидетельствуют о концептуальных изменениях в подходах оценки условий сгорания топливных смесей с позиций учета объемных внутрицилиндровых процессов, в отличие от сложившихся детерминированных взглядов [2–4]. В большинстве случаев исследователи исходят из условия описания процессов за счет рассмотрения теоретических моделей, не в полной мере учитывая возможность применения наблюдаемых результатов на реальных двигателях, или в лучшем случае эти результаты применяются для подтверждения выдвигаемых

гипотез. Объемные процессы рассматриваются через посредство понятий скорости сгорания топливоздушной смеси таких как массовые, линейные и нормальные скорости сгорания, которые в последующем применяются для получения параметров давления сгорания и увязываются с эффективной работой двигателя. Однако в связи со сложностью и неопределенностью расчета таких скоростей их использование в теории и на практике оказалось ограниченным. В тоже время наблюдается необходимость в согласованном рассмотрении теоретических допущений со значениями, наблюдаемыми при эксплуатации судовых дизелей.

**Цель исследования** – определение функциональной зависимости между объемной скоростью процесса распространения расширяющихся газов, образуемых вследствие сгорания топливоздушной смеси под воздействием избыточного давления и скоростью высвобождения объема цилиндра движущимся поршнем, в зависимости от угла поворота коленчатого вала дизеля.

**Изложение основного материала.** В ходе выполненного исследования обращено внимание, что наиболее характерными параметрами, отображающими эффективность работы дизеля, являются эффективная мощность –  $N_e$  и среднее эффективное давление –  $P_e$ . Они оказываются базовыми в оценке работы дизеля и широко используются как в эксплуатации, так и в период выполнения проектных разработок. Замечено, что в случае индивидуального использования параметров информативность каждого из них в некотором смысле ограничивается. По этой причине рассматривалось отношение –  $N_e / P_e$ , которое определялось как объемная скорость газодинамического процесса образования движущей поршень силы в цилиндре двигателя. С учетом коэффициента пропорциональности эта скорость представлена соотношением:

$$V_{\omega} = k \cdot N_e / P_e, \quad (1)$$

где,  $V_{\omega}$  – объемная скорость,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $N_e$  – эффективная цилиндровая мощность дизеля, кВт;  $P_e$  – среднее эффективное давление, бар;  $k$  – коэффициент пропорциональности.

С учетом известного соотношения, определяющего мощность двигателя, обозначенная скорость примет вид:

$$V_{\omega} = U_h \cdot n \cdot i \cdot m, \quad (2)$$

где  $U_h$  – рабочий объем цилиндра;  $i$  – количество цилиндров;  $n$  – число оборотов двигателя;  $m$  – коэффициент тактности.

Рассматривая процесс для одного цилиндра двухтактного двигателя, заметим, что в этом случае  $m = 1, i = 1$ , тогда выражение (3) примет вид:

$$V_{\omega} = U_h \cdot n = S \cdot H_t \cdot n, \quad (4)$$

где  $S$  – площадь поршня;  $H_t$  – текущее значение хода поршня, на протяжении которого наблюдается изменение объемной скорости.

В полученном соотношении (4) можно заметить, что значение объемной скорости изменяется в зависимости от числа оборотов дизеля и обуславливается положением поршня в цилиндре в текущий момент времени, что предопределяет скорости потока газов в цилиндре двигателя, которые по своему значению близки к скорости звука. В этой связи отметим зависимость:

$$H_t = \frac{V_{\omega}}{S \cdot n} = \frac{4 \cdot V_{\omega}}{\pi \cdot D^2 \cdot n} = 1,274 \cdot \frac{V_{\omega}}{D^2 \cdot n}. \quad (5)$$

В зависимости (5) можно отметить динамику изменения эксплуатационных характеристик работы дизеля от скорости потока газов в объеме цилиндров. Такая динамика объясняется условиями воздействия расширяющихся газов на поршень в зависимости от скорости его перемещения, которая обеспечивает высвобождение объема цилиндра вследствие вращения коленчатого вала. В этой связи эффективность развития процесса образования мощности дизеля может быть выражена в виде импульса силы, определяемого из соотношения:

$$N_x = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} (V_{\omega} - V_u) P_x d\alpha, \quad (6)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – угол поворота коленчатого вала под воздействием расширяющихся газов;  $V_u$  – объем цилиндра, высвобождаемый в результате перемещения поршня;  $P_x$  – давление в цилиндре при текущем значении угла поворота коленчатого вала.

В общем виде в работе ставилась задача отыскания такой функциональной зависимости, благодаря которой удалось бы определить взаимосвязь между объемной скоростью процесса образования движущей силы и скоростью высвобождения объема цилиндра вследствие вращения коленчатого вала двигателя. При таком подходе отмечалось, что импульс движущей силы эффективно влияет на работу дизеля при условии, когда объемная скорость процесса будет больше или равна скорости высвобождаемого объема цилиндра движущимся поршнем. Так, условие оптимальности можно выразить соотношением:  $V_{\omega} \geq V_u$ , или, перейдя к ускорению, можно записать

$$\frac{dV_u}{dt} \leq \frac{dV_{\omega}}{dt}.$$

Отмечаемое условие характерно при условии движения поршня в такте расширения (рабочего хода) в момент, когда выпускные и впускные органы цилиндра закрыты. В этом случае наряду с избыточным давлением газов перемещение поршня от верхней мертвой точки к нижней мертвой точке приводит к проявлению насосного эффекта, вследствие которого происходит понижение избыточного давления в цилиндре. В таких условиях поршень выступает в роли своеобразного вакуумного поршневого насоса. За счет воздействия на поток газов в цилиндре двигателя могут наблюдаться условия, при которых скорости могут динамично изменяться в зависимости от положения поршня и скорости его перемещения.

Рассматриваемое соотношение потоков газа в цилиндре хорошо согласуется с условиями образования изобарного процесса, который характеризуется показателем предварительного расширения. Этот показатель или как его называют в теории степень предварительного расширения широко используется в теории расчета двигателей и методике расчета, которая относительно сложна и в недостаточной степени проработана. По меньшей мере его оценка на действующих двигателях оказывается относительной, поскольку производится использованием графических методов посредством рассмотрения индикаторных диаграмм.

В целях проверки выдвинутых положений определялась скорость высвобождения объема по ходу движения поршня в такте расширения использованием известного соотношения, определяющего линейное перемещение поршня [2].

$$V_n = R \cdot \omega (\sin \alpha + 0,5 \lambda \sin 2\alpha), \quad (7)$$

где  $R$  – радиус кривошипа;  $\omega$  – угловая скорость коленчатого вала;  $\alpha$  – угол поворота коленчатого вала;  $\lambda$  – постоянная кривошипно-шатунного механизма,  $\lambda = R/L$ , где  $L$  – длина шатуна.

Принимая во внимания принятые ранее обозначения, выражение (7) преобразовывалось к удобному для расчетов виду, с этой целью параметры  $R$ ,  $\lambda$ , и  $\alpha$  заменялись соответствующими выражениями:  $R = H/2$ ,  $\lambda = H/2L$  и  $\omega = \pi n/30$ . Тогда с учетом допущений выражение (7) преобразовывалось к виду, удобному для выполнения расчетов скорости высвобождаемого объема в результате перемещения поршня

$$V_n = 0,041 \cdot D^2 \cdot n \cdot \left( H \sin \alpha + 0,25 \frac{H^2}{L} \sin 2\alpha \right), \quad (8)$$

где  $n$  – число оборотов коленчатого вала двигателя.

Для получения практических значений рассмотрению подвергнуты судовые двигатели MANB&W, модификация которых показана в табл. 1, 2.

Скорость поршня в обозначенных двигателях определялась при его движении в такте расширения от ВМТ к НМТ на интервале поворота коленчатого вала от 0 до 85 градусов из соображений наблюдения динамики.

Результаты расчетов сведены в таблицу 1. В таблице выделены значения угла поворота коленчатого вала (п.к.в.) –  $\alpha$ , при котором соблюдается неравенство  $V_{\omega} \geq V_n$ , а также значение  $\alpha$ , при котором достигается наибольшая скорость высвобождения объема цилиндра, выраженная в м<sup>3</sup>/с. Расчеты производились при условии, что вращение коленчатого вала соответствовало номинальным значениям, представленным в табл. 2. В этой же таблице выполнен расчет значений объемной скорости цилиндрических процессов, которые в последующем сопоставлялись со значениями скорости изменения объема цилиндра в ходе линейного перемещения поршня.

**Выводы.** Допущения об оценке работы дизеля по объемной скорости процесса образования движущей силы в известной степени согласуются с эмпирическими параметрами работы дизеля, что позволяет предположить о целесообразности ее использования в дальнейших исследованиях. Полученное расчетом соотношение  $V_{\omega} \geq V_n$  по сути отображает возможность определения степени предварительного расширения по фактическим эксплуатационным и конструктивным параметрам, без применения сложных графоаналитических расчетов. Применение объемной скорости как параметра обеспечивает возможность определения перспектив развития внутрицилиндровых процессов с позиций оценки эффективности их протекания на основании анализа ряда статистических значений, характеризующих работу действующих дизелей. Такое условие в том числе относится к определению объемной скорости развития внутрицилиндровых процессов при оптимальном положении коленчатого вала, когда достигается возможность получения наибольшего вращающего момента на выходном валу дизеля.

Таблица 1

Расчетные значения скорости высвобождаемого объема  $V_u$  (м<sup>3</sup>/с) при линейном перемещении поршня дизеля в зависимости от угла поворота коленчатого вала —  $\alpha$

| Модель<br>ДВС | Угол поворота коленчатого вала в градусах |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        | $V_{06} \geq V_{ц}$ | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|               |                                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |                     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| K98MC         | 1,211                                     | 2,405 | 3,565 | 4,674 | 5,719 | 6,683 | 7,558 | 8,331 | 8,995 | 9,545 | 9,976 | 10,287 | 10,481 | 10,559 | 10,527 | 10,392 | 10,161 | 13 <sup>0</sup> 9   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблиця 2

Ранжированные параметры двигателей по условию  $V_{об} \geq V_{ц}$ 

| № п/п | Модель двигателя | Цилиндровая мощность, $N_{ц}$ , кВт | Среднее эффективное давление, $P_{еф}$ , бар | Номинальное число оборотов, $n$ , $мин^{-1}$ | Диаметр цилиндра, $D$ , мм | Ход поршня, $H$ , мм | Объемная скорость процесса, $V_{об}$ , $м^3/с$ | $V_{об} \geq V_{ц}$ |
|-------|------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------------------------|---------------------|
| 1     | K98MC            | 5720                                | 18,2                                         | 94                                           | 980                        | 2660                 | 3,143                                          | $13^{09}$           |
| 2     | L35MC            | 650                                 | 18,4                                         | 210                                          | 350                        | 1050                 | 0,353                                          | $13^{07}$           |
| 3     | K90MC-C          | 4560                                | 18                                           | 104                                          | 900                        | 2300                 | 2,533                                          | $13^{37}$           |
| 4     | K80MC-C          | 3610                                | 18                                           | 104                                          | 800                        | 2300                 | 2,006                                          | $13^{29}$           |
| 5     | K98MC-C          | 5710                                | 18,2                                         | 104                                          | 980                        | 2400                 | 3,137                                          | $13^{24}$           |
| 6     | S50MC            | 1430                                | 18                                           | 127                                          | 500                        | 1910                 | 0,794                                          | $12^{57}$           |
| 7     | S70MC            | 2810                                | 18                                           | 91                                           | 700                        | 2674                 | 1,561                                          | $12^{57}$           |
| 8     | S42MC            | 1080                                | 19,5                                         | 136                                          | 420                        | 1764                 | 0,554                                          | $12^{57}$           |
| 9     | S80MC            | 3840                                | 19                                           | 79                                           | 800                        | 3056                 | 2,021                                          | $12^{56}$           |
| 10    | S60MC            | 2040                                | 18                                           | 105                                          | 600                        | 2292                 | 1,133                                          | $12^{56}$           |
| 11    | S26MC            | 400                                 | 18,5                                         | 250                                          | 250                        | 980                  | 0,216                                          | $12^{55}$           |
| 12    | S46MC-C          | 1310                                | 19                                           | 129                                          | 460                        | 1932                 | 0,689                                          | $12^{36}$           |
| 13    | S80MC-C          | 3880                                | 19                                           | 76                                           | 800                        | 3200                 | 2,042                                          | $12^{31}$           |
| 14    | S90MC-C          | 4890                                | 19                                           | 76                                           | 900                        | 3188                 | 2,574                                          | $12^{31}$           |
| 15    | S70MC-C          | 3105                                | 19                                           | 91                                           | 700                        | 2800                 | 1,634                                          | $12^{30}$           |
| 16    | S50MC-C          | 1580                                | 19                                           | 127                                          | 500                        | 2000                 | 0,832                                          | $12^{30}$           |
| 17    | S60MC-C          | 2255                                | 19                                           | 105                                          | 600                        | 2400                 | 1,187                                          | $12^{29}$           |
| 18    | S35MC            | 740                                 | 19,1                                         | 183                                          | 350                        | 1400                 | 0,387                                          | $12^{10}$           |

## Список литературы:

1. Возницкий И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели. С-Пб.: КСИ, 2005. 147 с.
2. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен / пер. с англ. Р.Н. Гизатулина и В.И. Ягодкина; под ред. В.Е. Дорошенко. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
3. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателя. Свердловск: Уральский рабочий, 1962. 270 с.
4. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 270с.
5. Истомин П.А. Динамика судовых двигателей внутреннего сгорания. Л.: Судостроение, 1964. 287 с.
6. Литвиненко В.П. Неравновесность термомеханических процессов в цикле судовых дизелей: монография. Одесса: Феникс, 2017. 176с.

## ГАЗОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ В ЦИКЛІ РОБОТИ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

*У статті розглянуті питання оцінки протікання циклу роботи суднового дизельного двигуна. Під час дослідження використовуються об'ємні показники, оскільки об'ємні процеси найбільшою мірою узгоджуються з фізико-хімічними перетвореннями в паливно-повітряній суміші у разі її згоряння і таким чином можуть розглядатися у вигляді газодинамічного результуючого ефекту роботи дизеля. Критерієм такої оцінки використовується об'ємна швидкість, зумовлена використанням отриманих на практиці значень потужності та середнього ефективного тиску. Результати розрахунку значень об'ємної швидкості внутрішньоциліндрового процесу дають змогу визначити показники ступеня попереднього розширення газів у циклі.*

**Ключові слова:** об'ємна швидкість потоку газів, швидкість поршня, ступінь попереднього розширення, термодинамічні параметри, обсяг камери стиснення, потужність, середній ефективний тиск.

## PECULIARITIES OF GAS DYNAMIC PROCESS IN A CYCLE OF A SHIP DIESEL ENGINE

*The article deals with the issues of assessing of a cycle of the ship diesel engine, using volumetric indicators. In our description we use the volumetric data as they are most suitable in discussion of the physico-chemical transformations of the fuel-air mixture in its combustion and thus they can be viewed as the gas-dynamic effect of the diesel engine. As a criterion for the assessment, the space velocity is used, which is determined by the values of power obtained in practice and the average effective pressure. The results of calculating the values of the volumetric rate of the in-cylinder process allow us to determine the indicators of the degree of preliminary expansion of gases in the cycle. As a criterion for such an assessment, the space velocity is used. It is determined by using the values of power and the average effective pressure obtained in practical experiments. The worked out results of the values in the volumetric rate of the in-cylinder process allow determining the indicators of the degree of preliminary expansion of gases in the cycle.*

**Key words:** volume rate of gas flow, piston speed, degree of preliminary expansion, thermodynamic parameters, compression volume, power, average effective pressure.

**Славін В.В.**

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**Томаш В.В.**

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

## ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ АВТОМОБІЛІВ НА ОТОЧУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ

*У статті представлено вплив діяльності автомобільного транспорту на довкілля та здоров'я населення. Представлено характеристику основних забруднюючих та шкідливих речовин, які разом з відпрацьованими газами забруднюють довкілля. Перераховано чинники, що погіршують екологічну ситуацію в Україні через діяльність автотранспорту. Названо заходи, які введені для обмеження шкідливих викидів двигунами внутрішнього згоряння автотранспорту. Зазначено роботи, які здійснені в Україні для зниження шкідливого впливу автотранспорту.*

**Ключові слова:** автомобільний транспорт, двигун внутрішнього згоряння, екологічні норми, шкідливі речовини, забруднюючі речовини, відпрацьовані гази.

**Постановка проблеми.** Автомобільна промисловість є невіддільною складовою економіки будь-якої країни, яка постійно розвивається. Автотранспорт обслуговує практично всі галузі господарства і верстви населення, сприяє розвитку внутрішнього ринку й торговельних маршрутів із низкою країн. У цілому автотранспорт сприяє стійким зовнішньоекономічним зв'язкам, зростанню автомобілізації громадян [1, с. 125 – 127].

Нині процес автомобілізації має глобальний характер як у світі, так і в Україні. Про ріст автомобілізації свідчить кількість автомобілів на 1000 жителів, яка в Україні знаходиться у межах 202 од. Цей показник з поміж країн ЄС на тисячу жителів є вкрай низьким, більш-менш нормальним вважається рівень автомобілізації від 400 до 500 автомобілів на тисячу жителів [2, с. 118–126].

Попри те, що рівень автомобілізації в Україні значно нижчий, ніж в Європі, забруднення навколишнього середовища транспортними засобами є доволі гострою проблемою. Криза 2008 року спричинила суттєвий спад продажів нових автомобілів, що призвело до старіння рухомого складу. На початок 2012 року 60% автомобілів, зареєстрованих в Україні, мали термін експлуатації понад 10 років, а 27% автомобілів – понад 15 років. Крім того, за останні десять років парк автомобілів в Україні зазнав значних якісних змін, внаслідок чого малолітражні екологічно привабливіші автомобілі були витіснені з ринку великогабаритними авто, які завдають більше шкідливих впливів на довкілля, насамперед через значні об'єми викидів шкідливих речовин в атмосферу [3, с. 3].

Виконуючи своє призначення, автотранспорт, як правило, завдає негативного впливу навколишньому середовищу, викидаючи в атмосферу велику кількість забруднюючих речовин (далі – ЗР). Як відомо, значна концентрація цих речовин спостерігається у місцях великого скупчення транспорту, що властиво для великих промислових міст країни. До того ж забруднення навколишнього середовища автомобільним транспортом є найбільшим серед наявної групи штучних джерел, які завдають шкоди атмосфері [4, с. 9].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведені дослідження та практичні розрахунки свідчать, що найбільший внесок у забруднення атмосфери автотранспортом серед інших видів транспорту складають колісні засоби з двигунами внутрішнього згоряння.

В абсолютних величинах, за даними [5, с. 66–71], із використанням 1000 кг бензину двигун із застарілою механічною системою подачі палива викидає в атмосферу з відпрацьованими та картерними газами близько 300 кг монооксиду вуглецю (CO), 60 кг вуглеводнів ( $C_mH_n$ ), 25 кг оксидів азоту ( $NO_x$ ), 1 кг сажі і 1 кг сірчистих сполук.

Навіть сучасні автомобілі із пристроями зниження токсичності відпрацьованих газів (ВГ) викидають у повітря велику кількість ЗР, які негативно впливають на загальний стан навколишнього середовища. Вплив відсутності та умов робочого стану трикомпонентного каталітичного нейтралізатора на викиди основних ЗР у ВГ наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Кількість ЗР у ВГ, яка утворюється  
під час згоряння 1000 кг палива  
у циліндрах бензинового двигуна**

| Умови дослідження                                       | Компоненти ВГ, кг |     |                               |                 |
|---------------------------------------------------------|-------------------|-----|-------------------------------|-----------------|
|                                                         | CO <sub>2</sub>   | CO  | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | NO <sub>x</sub> |
| Бензиновий двигун<br>(без нейтралізатора)               | 2500              | 300 | 60                            | 25              |
| Бензиновий двигун<br>(з непрогрітим<br>нейтралізатором) | 2800              | 150 | 30                            | 8               |
| Бензиновий двигун<br>(з гарячим<br>нейтралізатором)     | 3000              | 60  | 12                            | 4               |

**Постановка завдання.** Автомобільний транспорт є основним джерелом викидів токсичних, зокрема канцерогенних, речовин у місцях найбільшого скупчення людей (до 90%). ВГ автомобільних двигунів містять складну суміш, що налічує понад 280 сполук [6, с. 20–23] (інертні гази, метали, речовини, що входять до складу палив, хімічні властивості яких не змінюються у процесі згоряння, продукти дегідрування палива – тверді частки).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Негативний екологічний вплив автотранспорту є надзвичайно великим у населених пунктах, а також уздовж автомагістралей, де концентрація ЗР перевищує гранично допустимі рівні у декілька разів. Окрім нанесення шкоди здоров'ю населення, відбувається зменшення врожайності сільськогосподарських культур внаслідок агресивності компонентів ВГ автомобільних двигунів, зазнають сильних пошкоджень навіть будівлі у містах тощо. Загальні втрати від забруднення довкілля оцінити важко, але за деякими оцінками на ліквідацію наслідків забруднення повітря витрачають щорічно: Україна – близько 10,1 млрд. гривень [6, с. 21], Великобританія 100 млн. ф. ст., Франція 240 млн. фр., США 1,5 млрд. дол., Японія 700 млрд. єн. За даними ВООЗ (Всесвітня організація охорони здоров'я), близько 80% зазначених збитків безпосередньо пов'язані зі здоров'ям людей, хворобами та втратою працездатності [6, с. 21].

Чинниками, що погіршують ситуацію в Україні, є: збільшення загальної кількості колісних транспортних засобів (далі – КТЗ); старіння парку КТЗ у зв'язку з відсутністю інвестицій у його відновлення; масове ввезення екологічно небезпечних КТЗ застарілої конструкції, що перебували в експлуатації в інших країнах (екологічний рівень 90-х років минулого століття); затримка з уведенням

сучасних екологічних вимог до КТЗ і використовуваних палив; відсутність заходів державного регулювання, спрямованих на економічне заохочення впровадження техніки та технологій, які забезпечують підвищені показники щодо екологічної безпеки та енергозбереження, наприклад, спрямованих на зменшення питомих викидів КТЗ на одиницю транспортної роботи чи пробігу; відсутність ефективного контролю за технічним станом КТЗ, що перебувають в експлуатації [1, с. 126].

За досвідом багатьох країн світу, автомобільний транспорт є одним з основних джерел викидів в атмосферне повітря не лише ЗР, але й парникових газів.

Згідно з Кіотським протоколом щодо обмеження викидів парникових газів в атмосферу та зниження темпів зміни клімату, необхідно здійснити суттєве скорочення рівня викидів CO<sub>2</sub> автомобільним транспортом. Саме тому в усьому світі ініціюють, розробляють та впроваджують відповідні ініціативи на міжнародному, національному та локальному рівнях [3, с. 3].

Наприклад, в ЄС викиди автомобільного транспорту становлять 35% від загальних викидів діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) та близько 20% від загальних викидів парникових газів, у США транспорт продукує близько 30% від загальних емісій парникових газів. Викиди парникових газів автомобільним транспортом України мають становити щонайменше 8...12% від загальних обсягів [7, с. 76].

Статистичні дослідження прогнозують, що до 2025 року світовий сумарний викид CO<sub>2</sub> двигунами внутрішнього згоряння має зрости від 25 до 44%. Це спричинить посилення дії парникового ефекту, тобто загальне потепління клімату, а відтак – танення льодовиків і значне підвищення рівня води у Світовому океані, а також порушення нормального функціонування екосистем. Вірогідність цих прогнозів підтверджується даними ООН (Організація Об'єднаних Націй): за останні 10 років відбулося зростання на 9% обсягів викидів в атмосферу шкідливих газів, які створюють парниковий ефект [7, с. 78].

Усвідомлення світовою спільнотою екологічних проблем призвело до того, що на початку ХХІ століття у більшості розвинених країн світу введено жорсткі екологічні вимоги до КТЗ. Нормувати викиди автотранспорту категорій М1 і N1 розпочали у 1970 році після прийняття Директиви 70/220/ЕЕС (20.03.1970) та ідентичних їй Правил ЄЕК ООН № 15 (1970 р.). Згідно з цими документами обмежували викиди CO та C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> КТЗ із бензиновими двигунами.

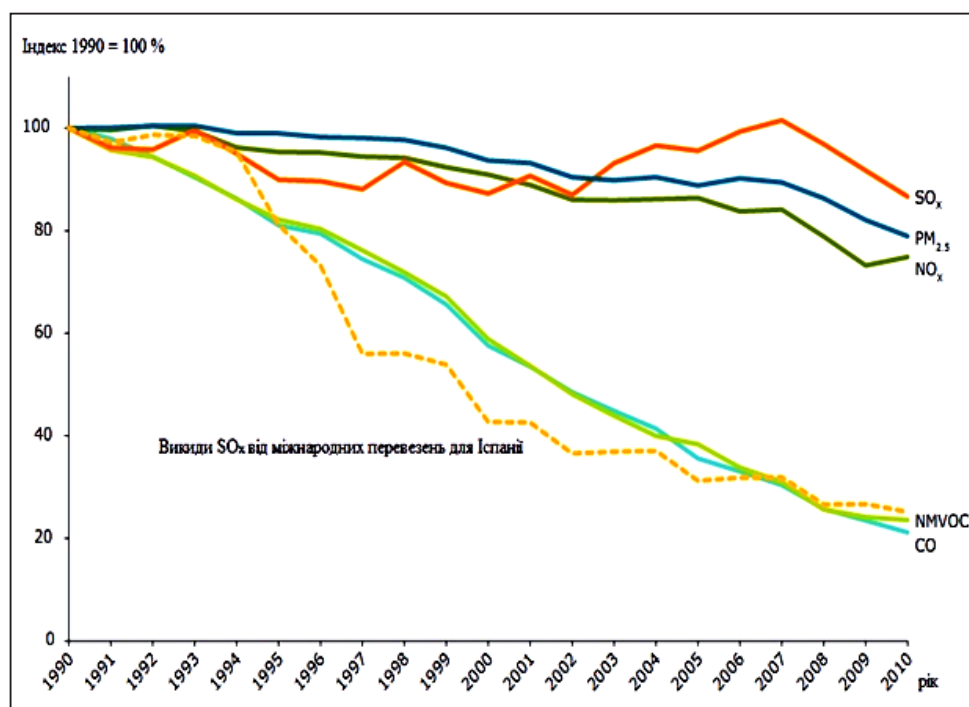


Рис. 1. Динаміка викидів 3Р в атмосферу автотранспортом в ЄС-32

У 1989 році набули чинності нові Правила ЄЕК ООН № 83, норми викидів КТЗ були встановлені залежно від виду палива, на якому працюють КТЗ: етилованого чи неетилованого бензину або дизельного палива. Найбільш важливими змінами Директиви 70/220/ЕЕС і Правил ЄЕК ООН № 83 є введення норм викидів для КТЗ категорії М1 та N1 різних вагових класів, що працюють на бензині [4, с. 36–38]. Їх дотримання можливе лише за умови впровадження спеціальних заходів (обладнання КТЗ системами нейтралізації ВГ, мікропроцесорними системами керування паливоподачею та запалюванням, удосконалення робочого процесу тощо) [1, с. 127]. Завдяки цим заходам країни ЄС, США та Японія за останні роки різко знизили допустимі рівні викидів 3Р автомобільними двигунами. Наприклад, в ЄС забруднення атмосфери від автомобільного транспорту продовжує знижуватися, як показав нещодавній звіт, основним джерелом забруднення атмосфери залишаються NO<sub>x</sub> і тверді часточки (PM – particulate matter) (рис. 1) [8, с. 98].

Як видно з рис. 1, викиди CO, неметанові леткі органічні з'єднання (NMVOC – non-methane volatile organic compounds), NO<sub>x</sub>, твердих часточок PM знижуються завдяки впровадженню міжнародних екологічних вимог до КТЗ, між тим, лише викиди оксидів сірки SO<sub>x</sub> мають незначне періодичне зростання, через ріст міжнародних перевезень автотранспортом в окремі роки. Ріст

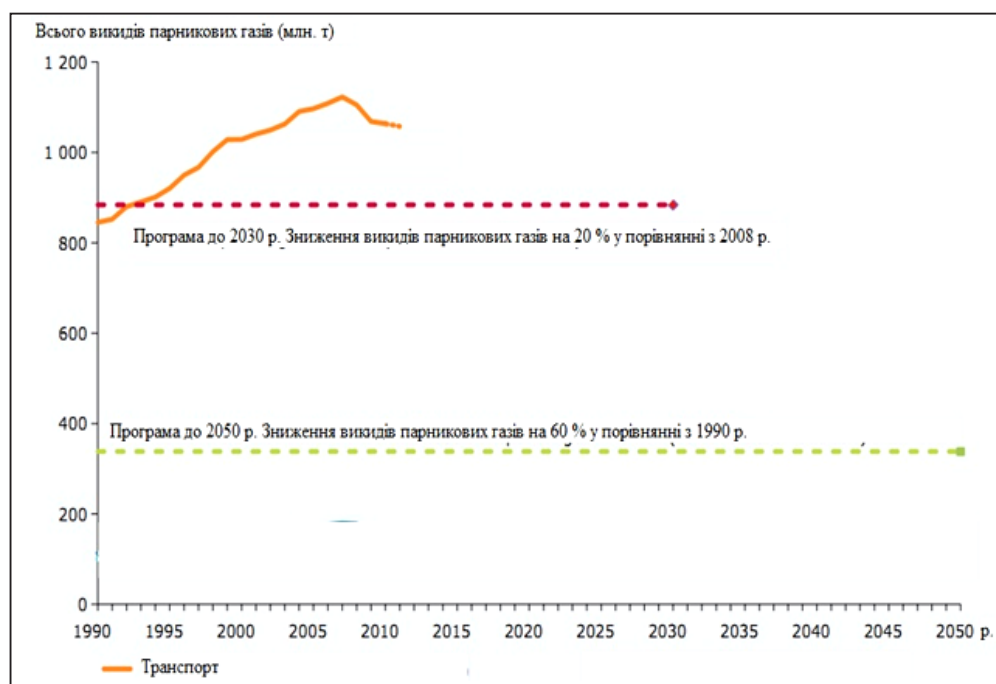
перевезень вантажними автомобілями пояснює збільшення оксидів азоту NO<sub>x</sub> у 2010 році [8, с. 100].

В ЄС активно працюють у плані зниження викидів парникових газів транспортом. Результатом таких зусиль є стратегічна програма «Європа-20», згідно з якою до 2050 року викиди парникових газів (CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) автотранспортом мають зменшитися на 60% (у порівнянні з рівнем у 1990 році), рис. 2.

Також передбачається замінити транспортні перевезення вантажними автомобілями іншими видами транспорту – залізничним та морським. Суть таких заходів полягає у тому, що понад 30% дорожніх перевезень із відстанню більш ніж 300 км, повинні до 2030 року перейти на інший спосіб транспортування вантажів (більше ніж на 50% до 2050 року).

Крім посилення норм викидів, постійно розвиваються і самі процедури їх визначення (випробування), які комплексно охоплюють всі аспекти функціонування автомобіля. Запроваджено обов'язкові вимоги щодо комп'ютерних систем бортової діагностики і передбачений відповідний комплекс заходів щодо підтримки високого екологічного рівня систем КТЗ протягом усього терміну експлуатації [1, с. 118].

На виконання зобов'язань за Женевською угодою 1958 року [1] зусиллям Мінтрансв'язку України, ДП «ДержавтотрансНДІпроект» і Тех-



**Рис. 2. Стан та прогноз зниження викидів парникових газів транспортом в ЄС до 2050 року**

нічного комітету стандартизації ТК 80 «Дорожній транспорт» в Україні впроваджено вже 94 Правила ЄЕК ООН, частина яких регламентує екологічну безпеку КТЗ. З 2006 року діють два нових стандарти щодо сертифікації та контролю екологічних показників КТЗ на рівні експлуатації – ДСТУ 4276:2004 та ДСТУ 4277:2004.

В Україні від 6 липня 2005 року затверджено Закон «Про деякі питання ввезення на митну територію України транспортних засобів» № 2739-IV, згідно з яким вже з 1 січня 2006 року здійснення першої реєстрації (у тому числі тимчасової) як легкових, так і вантажних автомобілів, а також автобусів проводиться за умов їхньої відповідності стандартам «Євро-2».

Після внесення змін Верховною Радою України від 6 липня 2012 року, передбачається поступове впровадження жорсткіших екологічних вимог до КТЗ.

Проте у даний час значну частину автомобільного парку нашої країни складають легкові автомобілі зі значним пробігом, що відповідають екологічному класу Євро-0, і є основним джерелом викидів ЗР.

Станом на 01.08.2006 р. в Україні було зареєстровано 5603,6 тис. легкових автомобілів (причому автомобілі з терміном експлуатації понад 10 років складали 73%), з них – 4246,5 тис. од., які експлуатуються з карбюраторними системами живлення (СЖ) [9, с. 2–7]. Легкові автомобілі з

карбюраторними СЖ на даний час не відповідають жодним європейським екологічним нормам. Токсичність ВГ таких автомобілів нормується нормами, які були актуальними на час їх випуску. Тому, навіть при наявності можливостей зміни робочих параметрів систем, які відповідають за паливо-економічні та екологічні показники, двигуни з карбюраторними СЖ, так і не досягли бажаної досконалості.

Завдяки використанню системи впорскування з електронним керуванням паливоподачі, досягнуто поліпшення паливної економічності, екологічних та енергетичних показників легкового автомобіля.

Нині, відповідно до практики європейських держав, відбувається поступове впровадження екологічних норм, що встановлюють рівень викидів ЗР в атмосферу, який мають забезпечувати автомобільні двигуни. Це передбачає встановлення на автомобілях пристрою зниження токсичності трьох основних ЗР (монооксиду вуглецю – CO, вуглеводнів –  $C_mH_n$ , оксидів азоту –  $NO_x$ ), трикомпонентного каталітичного нейтралізатора. Висока ефективність останнього залежить від складу суміші, який повинен бути стехіометричним. Такі умови забезпечує система впорскування, яка підтримує зворотний зв'язок по складу ВГ.

Шкідливий вплив автотранспорту на навколишнє середовище проявляється також у безпосередньому використанні продуктів перероблення

нафти, супутніх та природних газоподібних палив, що завдає збитків енергоресурсам та викликає руйнування природного балансу Землі.

Серед усіх видів транспорту автомобільний є найбільшим споживачем палив нафтового походження. Для стимулювання виробників у досягненні високої паливної економічності і мінімальної безпеки КТЗ державні органи застосовують економічні, юридичні і адміністративні заходи.

**Висновки.** Таким чином, автотранспорт, виконуючи загальнодержавні та індивідуальні функції, є штучним пересувним джерелом забруднення навколишнього середовища та споживачем невід-

новлюваних природних ресурсів. Це призводить до значних збитків держави, пов'язаних із відновленням здоров'я населення та екологічного балансу країни. В Україні значну частку автомобільного парку складають легкові автомобілі зі значним терміном експлуатації та застарілими СЖ. Ефективним заходом щодо покращення показників цих автомобілів є використання спеціальних заходів, що мають задовольняти сучасним екологічним нормам. Це сприятиме зниженню викидів ЗР в атмосферу автомобілями, що дозволить поліпшити екологічну ситуацію у населених пунктах.

#### Список літератури:

1. Редзюк А.М. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку. Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний ін-т. 2005. С. 208.
2. Гулько А.В., Славін, І.В., Манько В.В. Шляхи зниження шкідливих викидів легковими автомобілями в умовах експлуатації. «Вісник Національного транспортного університету». 2011. № 22. С. 118 – 126.
3. Токмиленко О. Фіскальні методи регулювання викидів CO<sub>2</sub> автотранспортом в Україні. Національний екологічний центр України. 2014. С. 20. URL: [http://necu.org.ua/wp-content/uploads/Transport-UA\\_web\\_v2.pdf](http://necu.org.ua/wp-content/uploads/Transport-UA_web_v2.pdf) (дата звернення: 12.11.2018).
4. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.10; 05.04.02. Киев, 1985. 533 с.
5. Гутаревич Ю.Ф., Матейчик В.П., Мержиевська Л.П. Характеристика автомобільного транспорту як штучного джерела забруднення атмосфери України. Вісник НТУ, ТAU, 2000. №4. С. 66 – 71.
6. Мержиевська В.В. Забруднення атмосфери викидами транспортних засобів, основні спокуси. Вплив каталітичних нейтралізаторів. Автошляховик України. 2006. № 3. С. 20 – 23.
7. The contribution of transport to air quality TERM 2012: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. EEA Report, Copenhagen, 2012. № 10. С. 96. URL: <http://www.eea.europa.eu/publications>
8. Martin J., Henrichs T. European Environment Agency Environmental indicator report 2012. Ecosystem resilience and resource efficiency in a green economy in Europe 2012. EEA, Copenhagen. 2012. С. 156. URL: <http://www.eea.europa.eu/publications> (дата звернення: 12.11.2018).
9. Редзюк А.М., Устименко В.С., Клименко О.А. Уведення екологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками. Автошляховик України, 2011. № 4. С. 2–7.

#### СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*В статье представлено влияние деятельности автомобильного транспорта на окружающую среду и здоровье населения. Представлена характеристика основных загрязняющих и вредных веществ, которые вместе с отработавшими газами загрязняют окружающую среду. Перечислены факторы, ухудшающие экологическую ситуацию в Украине из-за деятельности автотранспорта. Названы меры, которые введены для ограничения вредных выбросов двигателями внутреннего сгорания автотранспорта. Указаны работы, которые осуществлены в Украине для снижения вредного воздействия автотранспорта.*

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, двигатель внутреннего сгорания, экологические нормы, вредные вещества, загрязняющие вещества, отработанные газы.

#### THE REDUCING OF HARMFUL EFFECTS OF AUTOMOBILE ON ENVIRONMENT

*The article presents the impact of road transport on the environment and public health. The characteristic of the main pollutants and harmful substances, which together with the exhaust gases pollute the environment. The lists factors that worsen the ecological situation in Ukraine due to the activities of vehicles. The named measures that are introduced to limit harmful emissions from internal combustion engines of vehicles. The specified work, which carried out in Ukraine to reduce the harmful effects of vehicles.*

**Key words:** vehicles, internal combustion engines, Eco standard, harmful substance, pollution agent, exhaust gas.

УДК 656.13.731

**Шелудченко Л.С.**

Подільський державний аграрно-технічний університет

**Поліщук Д.В.**

ТД ВО «Машинобудівний завод»

**Комарницький С.П.**

Подільський державний аграрно-технічний університет

**Носко В.Л.**Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут»**Кобринська Л.В.**

Подільський державний аграрно-технічний університет

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ШЛЯХОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

*Автомобільні дороги підлягають швидкому руйнуванню дорожнього покриття, які виникають у результаті складного напружено-деформованого стану у поперечних профілях конструкції автомобільної дороги внаслідок постійного динамічного навантаження, яке здійснюють автотранспортні засоби. У даній роботі розглянуто питання підвищення технічного ресурсу автомобільних доріг шляхом використання фізичних моделей-імітаторів, які спрямовані на вивчення механізму деформування конструкції автомобільної дороги та її руйнування. Це призведе до пошуку нових конструкційних та будівельних матеріалів та методів обґрунтування прогресивних параметрів конструкцій автомобільних доріг з урахуванням конкретних умов експлуатації.*

**Ключові слова:** автомобільна дорога, дорожнє покриття, напружено-деформований стан, експлуатаційна надійність доріг, модель-імітатор.

**Постановка проблеми.** Як свідчить практика, проблеми, які виникають при експлуатації автомобільних доріг, у більшості випадків пов'язані зі швидким руйнуванням дорожнього покриття та полягають у порушенні основних вимог, які закладаються на етапі проектування: порушення технології будівництва; нехтування впливу факторів навколишнього середовища, а зокрема погодно-кліматичних умов; неврахування складного напружено-деформованого стану у поперечних профілях конструкції автомобільної дороги, який виникає у результаті постійного динамічного навантаження, спричиненого автотранспортними засобами тощо. У зв'язку з цим, основною задачею вивчення механізму контактного руйнування покриття автомобільних доріг має бути наукове обґрунтування експлуатаційної міцності різних конструкцій автомобільних доріг, механізмів утворення пошкоджень у вигляді сітки тріщин та вибоїн, їх динаміки та розростання у просторі для

подальшого розроблення критеріїв несучої здатності доріг і напрацювання методів підвищення їх експлуатаційної надійності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За результатами аналізу встановлено, що в Україні руйнування дорожнього покриття автомобільних доріг починається задовго до їх закладеного проектного ресурсу, який становить лише чотири роки [1]. Для прикладу слід навести автомобільні дороги США, проектування та будівництво яких доведено до максимального рівня забезпечення безпеки руху транспортних засобів та визначаються високою експлуатаційною надійністю, а саме 20-25 років до першого капітального ремонту. Загалом, до основних конструкційно-технологічних особливостей автомобільних доріг США, які надають їм високої оцінки, можна віднести: використання бетону лише високих марок для будівництва найбільш значущих доріг, що відносяться до груп *Interstate Highways (I)* та *US*

*Highways (US)*; застосування розчину  $\text{CaCl}_2$  для підвищення експлуатаційних властивостей автодоріг на 80-85% (у порівнянні з трамбуванням кожного шару) для зменшення величини просідання багатошарової конструкції автодороги під впливом варіювання вологості; укладання 5-7 см шару асфальту для гідроізоляції та для забезпечення рівності поверхні бетону; застосування арматури (сталевго прутка з межею міцності не менше 415 МПа), яка підвищує міцність полотна автодороги при згині та запобігає утворенню вибоїн; заливка бетонного полотна та заробляння температурних швів за допомогою асфальту [2].

У Німеччині значна частина автомобільних доріг була побудована на початку XX століття і призначалася для руху важкої військової техніки. Саме тому ці дороги до теперішнього часу витримують інтенсивний трафік великовагових транспортних засобів. Конструкція профілю автомобільних доріг у Німеччині принципово не відрізняється від доріг США, хоча для будівництва дорожнього одягу використовують і асфальт у тому числі. Необхідно також зазначити відсутність у ряді європейських країн технології ямкового ремонту автомобільних доріг, яка притаманні для України.

У таких країнах, як Великобританія, Фінляндія, Швеція, ОАЕ та Австралія при будівництві автомобільних доріг значна увага приділяється безпосередньо кліматичним особливостям регіону, відповідно до яких відбувається коригування конструкції та технології будівництва шляхів сполучення [2].

Значний досвід у проектуванні автомобільних доріг набуто і у Франції, Канаді, Японії, Китаї та ряді інших країн. Впровадження у будівництво сучасних технологій у Китаї дозволило забезпечити швидкісне будівництво, а саме 750 метрів за годину, при цьому досягнуто високих транспортно-експлуатаційних показників автодороги [2].

Концепцією реформування системи державного управління автомобільними дорогами України загального користування визначено, що «... забезпечення розвитку мережі автомобільних доріг та поліпшення їх транспортно-експлуатаційного стану є необхідною умовою для подальшого соціально-економічного розвитку держави і суспільства. Середньорічне підвищення рівня інтенсивності дорожнього руху на основних магістральних автомобільних дорогах <...> досягає 20%. У складі транспортних потоків зростає частка великовагових та великогабаритних транспортних засобів, що призводить до швидкого

руйнування автомобільних доріг <...> Таким чином, транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг не сприяє створенню необхідних умов для подальшого соціально-економічного розвитку...» [3], що підтверджує актуальність досліджень.

**Постановка завдання.** Метою досліджень є підвищення технічного ресурсу автомобільних доріг, що потребує нових аналітичних та експериментальних підходів, шляхом використання фізичних моделей-імітаторів, застосування яких має бути спрямоване на вивчення специфіки від моменту деформування конструкції автомобільної дороги до подальшого її руйнування під дією навантаження автотранспортних засобів. Це призведе до пошуку нових конструкційних (будівельних) матеріалів та методів обґрунтування прогресивних методів будівництва автомобільних доріг з урахуванням конкретних транспортно-технічних, погоднo-кліматичних, еколого-безпечних, економічних умов їх експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Реологія вивчає закони деформування різних матеріалів і втрату ними міцності, де фундаментальними властивостями тіл (конструкційних матеріалів) є: пружність, пластичність, в'язкість. Механічні властивості реальних конструкційних матеріалів є складним сполученням перерахованих вище фундаментальних властивостей. Основними явищами, які становлять об'єкт вивчення реології, є: релаксація, повзучість, довготривала міцність.

Під релаксацією розуміють процес поступового переходу при тривалих діях зовнішніх впливів «пружної» частки формозміни у незворотну залишкову деформацію. Явище релаксації пов'язане із перебудовою композиції структури під дією зовнішніх впливів. У реології для наочного представлення релаксаційних властивостей матеріалів широко застосовують прості механічні моделі-імітатори, які отримали назву відповідних реологічних тіл. Загалом, реологічна поведінка кожного матеріалу характеризуються двома реологічними рівняннями, які описують швидкість об'ємного деформування та його формозміни. Розглянемо моделі-імітатори основних реологічних тіл, які можна застосовувати при вивченні причин руйнування дорожнього покриття [4; 6].

*Пружне тіло Гука (H).* Властивості пружності умовно визначають моделлю-імітатором у вигляді пружини (рис. 1-а). Графік залежності між інтенсивністю зовнішніх сил  $P$  і деформацією  $\epsilon$  (формозміною) є прямолінійним, при цьому гра-

фіки навантаження і розвантаження моделі-імітатора збігаються (рис. 1-б). Робота, яка витрачена на деформування моделі накопичується у пружині у вигляді потенційної енергії деформування і повністю повертається після припинення дії зовнішньої сили.

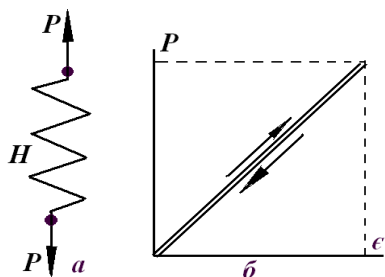


Рис. 1. Модель-імітатор пружного тіла (реологічне тіло Гука)

Пластичне тіло Сен-Венана (*StV*). Ідеально-пластичним (жорстко-пластичним) називають тіло, яке не відчуває жодних деформацій до тих пір, поки інтенсивність зовнішньої сили не перевищить певної межі пластичності ( $P_{пл}$ ), після якої відбувається незворотна формозміна матеріалу поверхні (рис. 2). Поміж елементами моделі діє сухе (кулонове) тертя, яке залишається постійним при постійному значенні нормального тиску  $F$  повзуна на поверхню.

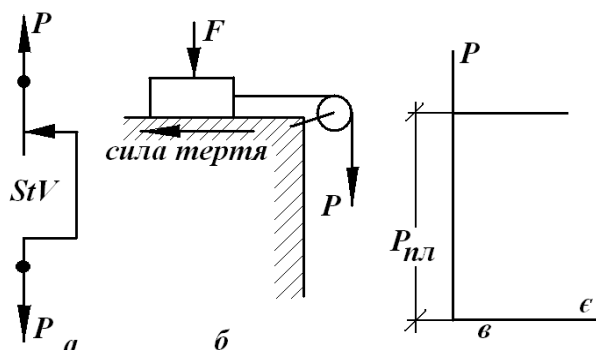


Рис. 2. Модель-імітатор ідеально-пластичного тіла (реологічне тіло Сен-Венана)

У дійсності процес незворотної формозміни матеріалу відбувається дещо складніше. Як тільки починається формозміна, початковий опір матеріалу зменшується і його перебудова відбувається при значенні  $P$ , меншому за  $P_{пл}$ . Значення зовнішньої сили  $P$ , за якого процес формозміни стабілізується (залишається усталеним), називається усталеною межею пластичності  $P_{пл.уст}$  (рис. 3). Таке зменшення опору формозміни реальних матеріалів пов'язане із безперервними композиційними змінами у ході самого процесу формозмінювання. Характерною особливістю реологічного

тіла Сен-Венана є незалежність формозміни матеріалу від швидкості прикладення зовнішніх впливів. Витрачена при цьому робота на незворотну формозміну, йде на подолання внутрішнього тертя структури і повністю розсіюється у самому матеріалі.

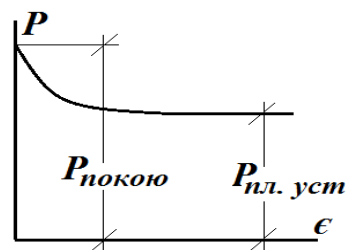


Рис. 3. Зменшення початкового опору матеріалу у процесі пластичного формозмінювання її композиції

Для ряду конструкційних матеріалів у процесі їх пластичної формозміни спостерігається поступове збільшення опору, тобто зміцнення. Це явище може бути змодельоване серією моделей Сен-Венана, які з'єднано від початкового повзуна вільними від натягнення нитями так, щоб кожний повзун моделі послідовно вмикався у роботу у міру їх послідовного зсуву, як це зображено на рис. 4.

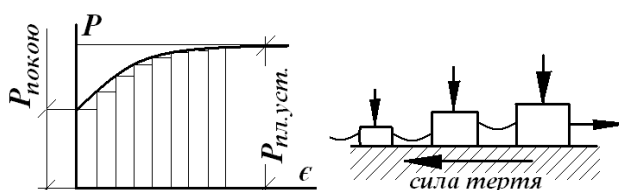


Рис. 4. Модель-імітатор пластичної формозміни матеріалу зі зміцненням структури

В'язке тіло Ньютона (*N*). В'язка рідина, яка підпорядкована закону в'язкості Ньютона, називається реологічним тілом Ньютона і визначена моделлю-імітатором у вигляді поршня з отворами малого діаметра, який рухається у заповненому рідиною циліндрі (рис. 5-а, б). У цьому випадку швидкість переміщення поршня пропорційна прикладеній силі  $P$ , що графічно наведено на рис. 5-в.

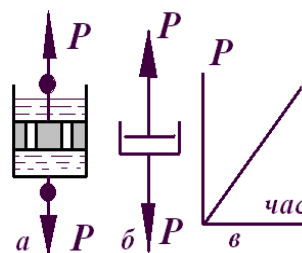


Рис. 5. Модель-імітатор в'язкого тіла (реологічне тіло Ньютона)

**Складні реологічні тіла.** Складними реологічними тілами називають моделі, які сполучають різні фундаментальні властивості і, таким чином, більш точно (хоча все ще дуже наближено) описують поведінку реальних конструкційних матеріалів. Складні реологічні тіла складаються шляхом послідовного та паралельного з'єднання декількох фундаментальних моделей.

Як приклад складного реологічного тіла розглянемо *в'язко-пружне тіло Фойгта*. Модель, яке одночасно містить безперервний пружину та в'язку в'язь ( $H/N$ ) (рис. 6) [6].

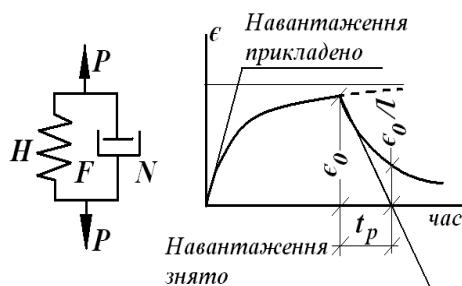


Рис. 6. Модель-імітатор в'язко-пружного тіла (реологічне тіло Фойгта)

Конструкційна анізотропія реологічних властивостей автомобільної дороги (рис. 7) зумовлена її пошаровою будовою [5]: дрібнозернистий асфальтобетон; крупнозернистий асфальтобетон; щебінь, оброблений органічним в'язучим; цементобетон; морозостійкий шар гравію; підстилаючий ущільнений шар ґрунту. Така будова автомобільної дороги передбачає можливість дослідження реологічних властивостей її конструкції лише за допомогою моделей складних реологічних тіл, наприклад, тіла Бізара-Кауера, приклад якого наведено на рис. 8. Така модель-імітатор не враховує можливість «миттєвого» залишкового пошкодження (руйнування) поверхневих шарів дорожнього одягу автомобільної дороги у вигляді окремих вибоїн, які викликані контактними напруженнями. Реакція конструкцій на такі «миттєві» залишкові впливи можуть бути змодельовані у складних реологічних тілах зміщенням люфтових елементів (рис. 9), який вдосконалено фіксатором «миттєвого» залишкового пошкодження у вигляді пружинної защіпки та запобігає зворотній «формозміні» складного реологічного тіла.

При цьому, пружинна защіпка люфтового елемента спрацьовує при його стисканні. Застосування люфтового елемента з фіксацією «миттєвих» залишкових деформацій поверхневих шарів дорожнього одягу автомобільних шарів дозволяє доопрацювати модель реологічного тіла Бізара-

Кауера для дослідження реологічних властивостей багатшарових конструкцій автодорог за умови утворення вибоїн на їх поверхні. На рис. 11 наведено принципову схему моделі-імітатора для дослідження реологічних властивостей автомобільної дороги, конструкцію якої подано на рис. 7.

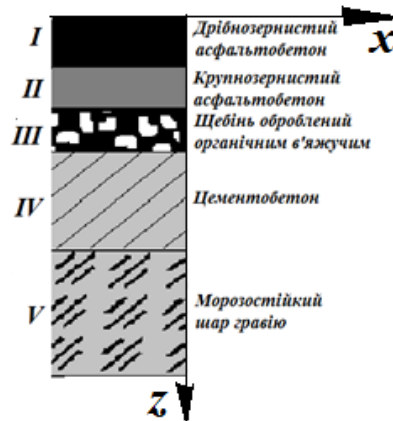


Рис. 7. Пошарова анізотропія реологічних властивостей конструкції автомобільної дороги у вертикальному напрямку

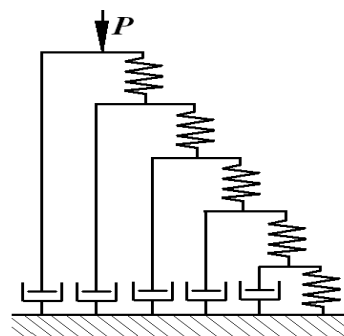


Рис. 8. «Сходиноква» модель-імітатор в'язко-пружного реологічного тіла Бізара-Кауера

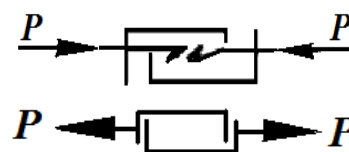


Рис. 9. Люфтовий елемент з фіксацією і без фіксації

Отже, доопрацьована модель реологічного тіла Бізара-Кауера (рис. 11) визначає реологічні властивості конструкції автомобільної дороги з анізотропними вертикально розташованими шарами конструкційних матеріалів. При цьому імітується можливість крихкого утворення вибоїни на поверхні автодороги від дії контактних напружень у небезпечних зонах покриття під рушіями транспортних засобів у залежності від різних рівнів зовнішніх навантажень  $P_1$  та  $P_2$ , як це наведено на рис. 12, які мають певну специфіку своїх негативних проявів [3; 7]. Особливо небезпечними

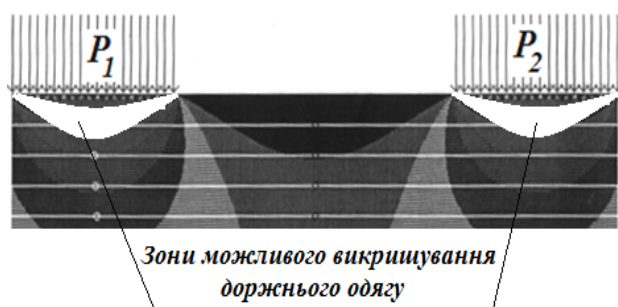


Рис. 12. Зони можливого крихкого утворення каверн на поверхні автомобільної дороги під дією рушіїв транспортних засобів

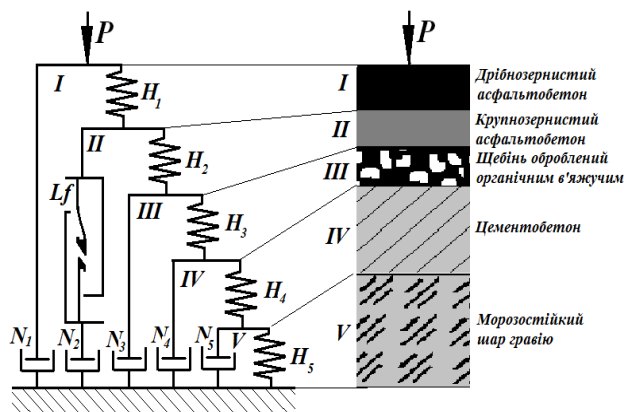


Рис. 11. Модель-імітатор реологічних властивостей багатшарової конструкції автомобільної дороги з вертикальною анізотропією

випадками є моменти, коли максимальні значення виникають на границі двох шарів дорожнього покриття з різними реологічними властивостями.

**Висновок.** Отже, під дією рушіїв транспортних засобів у зонах концентрації контактних напружень, а саме поверхневих шарах дорожнього покриття відбувається утворення вибоїн, які суттєво погіршують експлуатаційні показники

автомобільних доріг, призводять до швидкого зношування транспортних засобів та негативно впливають на довкілля. Саме тому покращення експлуатаційних, еколого-безпечних та економічно-доцільних показників автодоріг повинні базуватися на попередньому вивченні специфіки руйнування шляхом застосування вище перерахованих моделей-імітаторів.

#### Список літератури:

1. Державні будівельні норми України ДБН В.2.3-4.2015 «Автомобільні дороги. Споруди транспорту. Частина I. Частина II». URL: <http://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-197>
2. Інтернет ресурс: Как в США строят дороги, которые стоят 100 лет без ремонта и ям. URL: <https://censor.net.ua/r257965>.
3. Концепція реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування в Україні: Розпорядження №432-р Кабінету Міністрів України від 31.03.2015 р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/248144997>.
4. Арсеньєва Н.О. Аналіз напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу під час моделювання його конструкції. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Том 29 (68) № 4, Київ, 2018. С. 167-171.
5. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. М.: Стройиздат, 1966. 318 с.
6. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология. М.: Высшая школа, 2001. 296 с.
7. URL: [http://femto.com.ua/articles/part\\_2/3431.html](http://femto.com.ua/articles/part_2/3431.html). Энциклопедия физики и техники.
8. Шелудченко Л.С. Динаміка емісії пилових аерозолів внаслідок трибологічного зношування дорожнього покриття автомобільної дороги рушієм автотранспортних засобів. Науковий журнал «Екологічна безпека», випуск 1/2018 (25). Кременчук, 2018. С. 69-74.

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПУТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Автомобильные дороги подлежат быстрому разрушению их дорожнего покрытия, которые возникают в результате сложного напряженно-деформированного состояния в вертикальном профиле конструкции автомобильной дороги при постоянном динамическом нагружении, осуществляемое автотранспортными средствами. В данной работе рассмотрены вопросы повышения технического ресурса автомобильных дорог путем использования физических моделей-имитаторов, которые направлены на изучение механизма деформирования конструкции автомобильной дороги и ее разрушения. Результаты исследований приведут к поиску и использованию новых конструкционных решений и строительных материалов с учетом конкретных условий эксплуатации дороги.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, дорожное покрытие, напряженно-деформированное состояние, эксплуатационная надежность дорог, модель-имитатор.

**PROVIDING THE OPERATING RELIABILITY OF THE CONSTRUCTION OF THE  
AUTOMOTIVE ROAD BY THE INVESTIGATION OF ITS RHEOLOGICAL PROPERTIES**

*Roads are subject to the rapid destruction of the road surface, which arise as a result of the complex stress-strain state in the transverse sections of the construction of the highway as a result of the constant dynamic load caused by motor vehicles. In this paper, the issues of increasing the technical resource of highways by using physical models-simulators, which are aimed at studying the mechanism of deformation of the design of the highway and its destruction, are considered. This will lead to the search for new structural and building materials and methods for justifying the progressive parameters of road constructions, taking into account specific operating conditions.*

**Key words:** *automotive road, road surface, stress-strain state, operational reliability of roads, model-simulator.*

## БУДІВНИЦТВО

УДК 624.012.454

**Валовой О.І.**

Криворізький національний університет

**Єрмоменко О.Ю.**

Криворізький національний університет

**Валовой М.О.**

Криворізький національний університет

**Афанасьєв В.В.**

Криворізький національний університет

**Герб П.І.**

Криворізький національний університет

### НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ БАЛОК ІЗ СУМІСНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬНОПЛАСТИКОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

Наведено програму та результати експериментальних випробувань дослідних зразків балок, армованих металевою арматурою, базальтопластиковою (BFRP) арматурою, з гібридним армуванням металевою та базальтопластиковою (BFRP) арматурою одночасно. Зразки балок виготовлялися з використанням звичайного бетону, з кварцевим піском як дрібним заповнювачем та з бетону, в якому кварцовий пісок замінено дрібними фракційованими відходами гірничо-збагачувального комплексу (ГЗК). Короткочасні випробування балок монотонним статичним навантаженнями до руйнування дали змогу з'ясувати, що міцність балок, армованих базальтопластиковою (BFRP) арматурою, зросла на 37–44% порівняно з балками, армованими металевою арматурою. Зменшення вмісту BFRP арматури при гібридному армуванні не вплинуло на зниження показників міцності, і приріст міцності порівняно з балками, армованими металевою арматурою, становив 38–41%. У балках, армованих BFRP арматурою, завдяки відсутності пластичних деформацій у цієї арматури були відсутні залишкові деформації після припинення дії навантаження, незважаючи на значні ушкодження та руйнування бетону. Зразки балок, виготовлених із бетону на дрібних фракційованих відходах ГЗК, показали на 1–8% більші показники міцності порівняно з аналогічними балками, виготовленими на бетоні із кварцевим піском як дрібним заповнювачем.

**Ключові слова:** змішане армування, гібридне армування, базальтопластикові арматура, міцність, балка, дрібні відходи ГЗК, деформативність.

**Постановка проблеми.** Використання базальтопластикової арматури в будівництві зростає по всьому світі, як і притаманні цьому виду арматури висока питома міцність на розтяг, інертність до впливу агресивного середовища, немагнітність, низька теплопровідність тощо. Світовий досвід використання базальтопластикової арматури свідчить про те, що на теперішній час виготовлення конструкцій з армуванням виключно цією арматурою є не завжди виправданим із точки зору їх експлуатаційних характеристик за другою групою

граничних станів. На цьому етапі технології виготовлення як базальтопластикової арматури, так і конструкцій, нею армованих, доцільно використовувати її разом із традиційною, металевою арматурою. Такий підхід дасть змогу значно покращити показники міцності та жорсткості будівельних конструкцій, підвищити їх надійність та довговічність. Обмеженість нормативної бази і практичних рекомендацій із розрахунку та виготовлення будівельних конструкцій із гібридним армуванням металевою і базальтопластиковою арматурою

викликає потребу в дослідженні їх напружено-деформованого стану.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Базальтопластикова (BFRP) арматура є перспективним матеріалом для армування конструкцій із бетону. До її переваг, порівняно з металевою арматурою, належать висока міцність на розтяг, інертність до впливу агресивного середовища та висока корозійна стійкість [1; 2].

Відомо, що композитна арматура має високу міцність на розтяг, але знижений модуль пружності порівняно зі сталлю [2; 3]. Останній фактор може стати причиною розвитку надмірних деформацій конструкцій, армованих композитною арматурою. Так, науковцями було досліджено напружено-деформований стан конструкцій, що згинаються, армованих BFRP арматурою [2–8]. З'ясовано, що дослідні зразки показували значний приріст показників міцності, на 25–90% порівняно зі зразками, армованими металевою арматурою. При цьому завдяки низькому модулю пружності деформативність зразків, армованих BFRP арматурою, була вищою. Так, у роботі

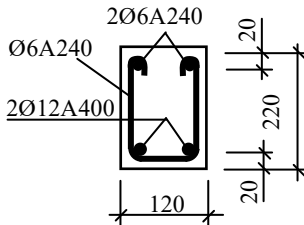
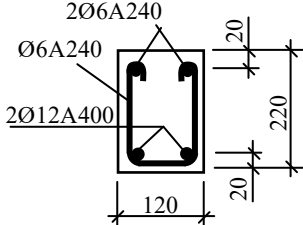
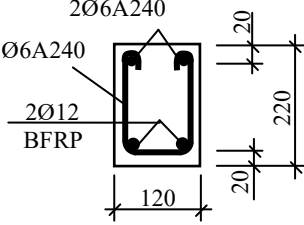
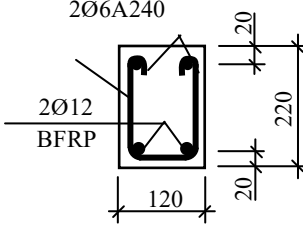
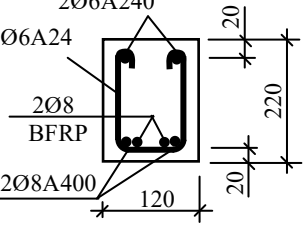
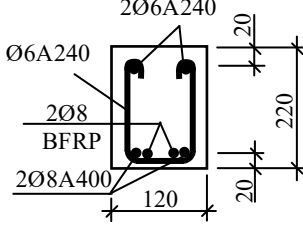
науковців [8] наведені відомості, що прогини та ширина розкриття тріщин зразків, що працюють на згин, армованих композитною арматурою, були на 60% вищими, ніж у балках, армованих металевою арматурою, при рівні напружень 70% від руйнівних. Схожі результати були отримані в інших роботах [2–7; 11].

Варто зазначити, що підвищена деформативність конструкцій характерна як для використання базальтопластикової (BFRP) арматури, так і для використання склопластикової (GFRP) арматури [9; 10].

Одним зі шляхів зменшення деформативності конструкцій, що згинаються, армованих BFRP арматурою, є використання змішаного (гібридного) армування, за якого в розтягнутій зоні розміщують як BFRP арматуру, так і металеву одночасно. При цьому металева арматура має забезпечити необхідний рівень прогинів та тріщиностійкості, а BFRP арматура – підвищити міцність перерізу та зменшити руйнівний вплив агресивного середовища на загальну несучу здатність конструкції.

Таблиця 1

Схема армування поперечних перерізів балок за серіями

| № серії | Маркування балок        | Поперечний переріз балок                                                            | № серії | Маркування балок           | Поперечний переріз балок                                                              |
|---------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | БМ-1<br>БМ-2<br>БМ-3    |  | 4       | БМД-1<br>БМБ-2<br>БМД-3    |  |
| 2       | ББ-1<br>ББ-2<br>ББ-3    |  | 5       | ББД-1<br>ББД-2<br>ББД-3    |  |
| 3       | БМБ-1<br>БМБ-2<br>БМБ-3 |  | 6       | БМБД-1<br>БМБД-2<br>БМБД-3 |  |

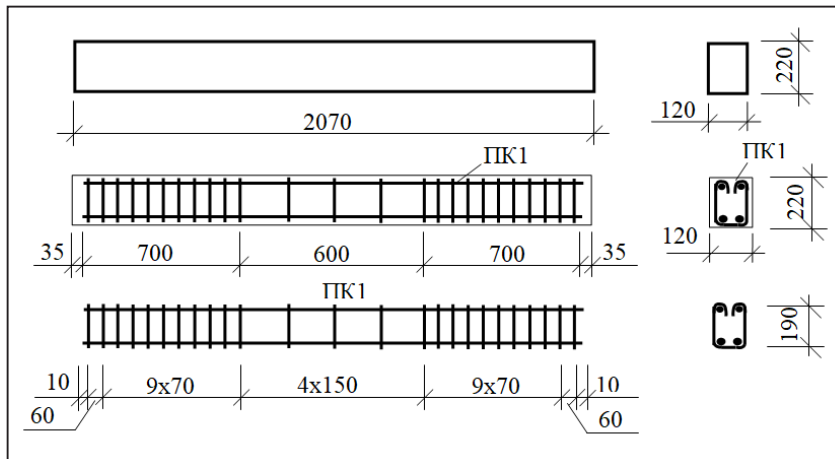


Рис. 1. Опалубочне та арматурне креслення балок серії БМ

**Постановка завдання.** Нині існує обмежена база експериментальних відомостей про роботу гібридноармованих конструкцій, що працюють на згин, із використанням металевої та базальтопластикової арматури. Зокрема, в наявних дослідженнях не з'ясовано питання, як впливає зменшення відсотку BFRP арматури при гібридному армуванні на міцнісні показники дослідних зразків. З огляду на сказане було запроєктовано, виготовлено та випробувано дослідні зразки балок із гібридним армуванням металевою та базальтопластиковою арматурою з метою дослідження їх напружено-деформованого стану.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Програмою експериментальних випробувань було передбачено виготовлення 6 серій дослідних зразків бетонних армованих балок, по три балки в кожній серії. Зразки за серіями відрізнялися за такими ознаками:

- серія БМ – балки армовані металевою арматурою (контрольна серія);
- серія ББ – балки армовані BFRP арматурою;
- серія БМБ – балки з гібридним армуванням металевою та BFRP арматурою;
- серія БМД – балки, армовані металевою арматурою з бетоном на дрібних відходах гірничо-збагачувального комплексу (ГЗК);
- серія ББД – балки, армовані BFRP арматурою з бетоном на дрібних відходах (ГЗК);
- серія БМБ – балки з гібридним армуванням металевою та BFRP арматурою з бетоном на дрібних відходах (ГЗК).

Армування поперечних перерізів балок всіх серій наведено в таблиці 1.

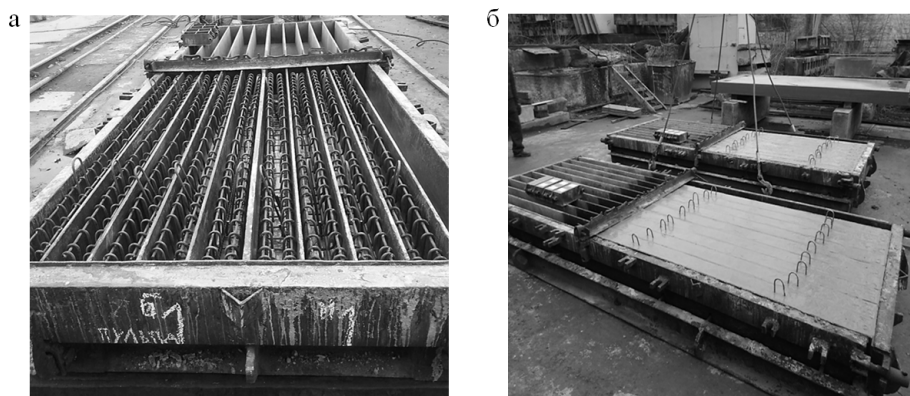
Для можливості коректного порівняння результатів випробувань балок різних серій розміри перерізів балок та відсоток їх армування передбачався незмінним для зразків всіх серій.

Схему армування зразків балок наведено на рис. 1.

Виготовлення арматурних каркасів, бетонної суміші та бетонування дослідних зразків балок відбувалося в заводських умовах на потужностях ПрАТ «Криворіжіндустрбуд». Бетонування експериментальних зразків балок, кубів проводили в металевих формах (рис. 2). Перед бетонуванням поверхню форм змащували тонким шаром гідрофобної змазки. В форми встановлювалися в'язані просторові каркаси. Проектне положення каркасів із метою забезпечення утворення захисного шару бетону здійснювалося за допомогою бетонних прокладок. Приготування бетонної суміші виконувалося на бетонно-розчинному вузлі. Укладання суміші в опалубку здійснювалося за допомогою бадді з подальшим ущільненням на вібростолі. Після формування зразки поміщали в камеру для прогріву. Розпалубка відбувалася через 28 діб після бетонування.

Із метою армування зразків було використано металеву та BFRP арматуру відповідно до схем армування, наведених в табл. 1. Базальтопластикову (BFRP) арматуру було надано виробником композитної арматури ТОВ «Технобазальт-Інвест». Механічні характеристики BFRP арматури такі: модуль пружності –  $45 \cdot 10^3$  МПа; тимчасовий опір розриву – 800 МПа; порівняне видовження після розриву – 1.78%.

Під час бетонування використовувався бетон класу C25/30. Раніше було зазначено, що для бетонування балок серій БМ, ББ, БМБ використовувався бетон із кварцовим піском як дрібним заповнювачем, а в балках серій БМД, ББД, БМБД – бетон на дрібних відходах ГЗК. Останні представляють собою фракційовану кварцово-залізисту мінеральну суміш щільністю 1500–1600 кг/м<sup>3</sup>.



**Рис. 2. Виготовлення дослідних зразків балок:**  
**а) Інвентарна металева опалубка з арматурними каркасами;**  
**б) Загальний вигляд забетонуваних зразків балок**



**Рис. 3. Стенд для випробування балок**

Використання відходів ГЗК як дрібного заповнювача бетонної суміші виправдано, з огляду на економічні показники (відходи ГЗК коштують у 8–10 разів менше, ніж кварцовий пісок), і дає змогу частково вирішувати питання утилізації промислових відходів. Проведені протягом минулих десятиліть численні дослідження [12] вказують на можливість рівноцінної заміни кварцового піску фракційованими дрібними відходами ГЗК під час виготовлення широкої номенклатури залізобетонних виробів.

Із метою визначення міцнісних та деформативних характеристик використаних видів бетону одночасно з бетонуванням балок виконували бетонування зразків кубів із ребром 100 мм кожного виду бетону. Випробування зразків бетону виконували у віці 28 діб із моменту їх виготовлення і у віці 151 діб, безпосередньо перед випробуваннями зразків балок. У віці 28 діб міцність обох видів бетону на стиск відповідала прийнятому проектному класу бетону (C25/30), а у віці 151 діб становила 46.16 МПа для бетону на квар-

цовому піску та 51.72 МПа для бетону на дрібних відходах ГЗК.

Випробування дослідних зразків балок виконувалося на гідравлічному пресі П-125 за схемою однопроговою вільнолежачої балки навантаженої двома зосередженими силами в третинах прогону. Під час випробування балок були використані такі прилади: прогиномір Максимова; індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм для визначення деформацій бетону балки та просадки опор балок; мікроскоп МПБ-2 з 24 – кратним збільшенням і ціною поділки 0,05 мм для визначення ширини розкриття нормальних і похилих тріщин. Навантаження дослідних зразків балок здійснювали ступенями по 0,1 від руйнівного навантаження. Стенд для проведення експериментальних зразків балок на згин наведено на рис. 3.

Робота дослідних зразків балок під навантаженням та їх руйнування перебували у прямій залежності від типу арматури, який був використаний для їх армування.

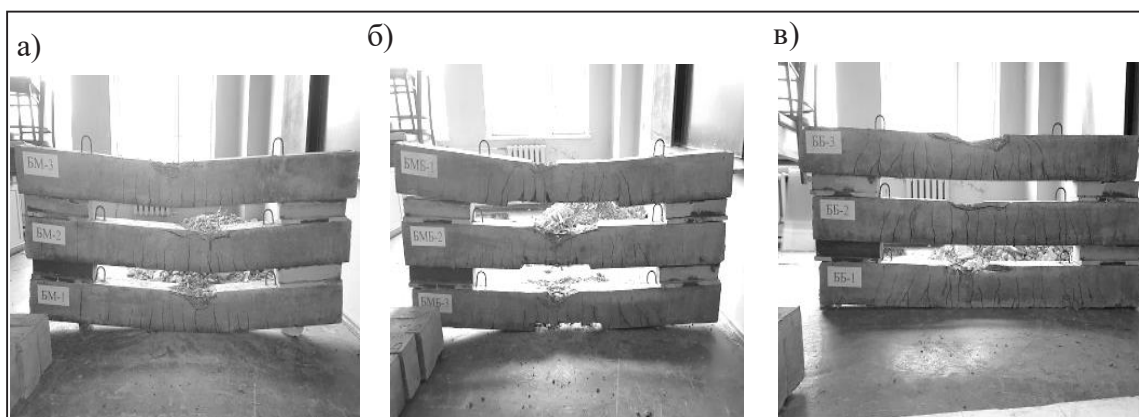


Рис. 5. Загальний вигляд зруйнованих зразків балок: а) серія БМ; б) серія БМБ; в) серія ББ.

Балки серій БМ, БМД показали типовий характер роботи та руйнування балок, армованих металевою арматурою. При навантаженні 0,3–0,4 від руйнівного починали утворюватися перші нормальні тріщини в бетоні в зоні чистого згину. Подальше збільшення навантаження призводило до утворення нових нормальних тріщин та збільшення ширини їх розкриття, наростання прогинів. При навантаженні 0,9 від руйнівного було зафіксовано початок текучості металевої арматури, що стало причиною швидкого збільшення ширини розкриття тріщин, значного збільшення прогинів і руйнування зразків зі зминанням бетону стиснутої зони. За момент руйнування балок було прийнято момент початку текучості металевої арматури.

Балки серій ББ, ББД внаслідок зниженого модуля пружності BFRP арматури виявилися більш деформативними, ніж балки серій БМ, БМД. Появу перших нормальних тріщин було зафіксовано на рівні навантаження 0,1–0,2 від руйнівного. Подальше збільшення навантаження призводило до появи нових нормальних тріщин, а у разі навантаження 0,5–0,6 від руйнівного почали з'являтися похилі тріщини. Характер розташування тріщин вирізнявся рівномірним розподілом за довжиною балки з кроком 100–150 мм. Ширина розкриття тріщин та прогини лінійно збільшувалися зі зростанням навантаження, що є типовим для конструкцій армованих композитною арматурою. Руйнування даних зразків відбувалося внаслідок роздроблення бетону стиснутої зони. Проковзування стержнів BFRP арматури зафіксовано не було.

Роботу під навантаженням балок серій БМБ, БМБД можна поділити на два етапи – до моменту початку текучості металевої арматури та після нього. Перші нормальні тріщини виникли на рівні навантаження 0,2–0,3 від руйнівного. До рівня навантажень 0,4–0,5 від руйнівного балки працю-

вали аналогічно балкам серій БМ, БМД. Останнє пояснюється домінуючим впливом металевої арматури. Подальше збільшення навантаження призводило до появи текучості арматури. На цьому етапі основний опір навантаженню чинить BFRP арматура. Характер роботи балки стає схожим на роботу балок серій ББ, ББД: збільшується кількість та ширина розкриття тріщин, зростають прогини.

Показники міцності дослідних балок за серіями наведено в таблиці 2.

Руйнування зразків відбувалося внаслідок зминання бетону стиснутої зони з одночасним повним або частковим розривом волокон BFRP арматури.

На рис. 4 наведено загальний вид зруйнованого зразка балки серії БМБ та показано частковий розрив розтягнутої BFRP арматури цього зразка.

Таблиця 2

**Середні значення міцності дослідних балок**

| № з/п | Серія балок | Руйнівне зусилля, $F_{ui}$ , кН | Порівняне значення міцності, $F_{ui}/F_u$ |
|-------|-------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 1     | БМ          | 70.22*                          | 1                                         |
| 2     | БМД         | 75.87*                          | 1.08                                      |
| 3     | ББ          | 100.88                          | 1.43                                      |
| 4     | ББД         | 101.17                          | 1.44                                      |
| 5     | БМБ         | 96.1 (45.13*)                   | 1.38                                      |
| 6     | БМБД        | 99.24 (49.7*)                   | 1.41                                      |

Примітки:

1.  $F_u$  – руйнівне зусилля балок серії БМ;

2. \* зусилля, яке відповідає початку текучості металевої арматури

Аналіз даних, наведених у таблиці 2, свідчить про те, що заміна металевої арматури на BFRP арматуру призвело до збільшення несучої здатності зразків балок у середньому на 44%. У балках серій БМБ, БМБД із гібридним армуванням частину BFRP

арматури було замінено на металеву, що не мало впливу на їх несучу здатність. Приріст міцності порівняно з балками серії БМ становив 38–41%. Це свідчить про відсутність застережень у застосуванні гібридного армування конструкцій, що згинаються, з огляду на показники несучої здатності.

Використання дрібного заповнювача ГЗК у процесі виготовлення бетону балок серій БМД, ББД, БМБД неістотно вплинуло на граничні показники міцності. Балки серій БМД, БМБД, ББД показали збільшення несучої здатності на 8%, 1% та 3% відповідно. Останнє пояснюється більшою шорсткістю поверхні зерен відходів ГЗК порівняно із кварцовим піском і свідчить про можливість ефективної заміни кварцового піску дешевшими відходами промисловості.

На рис. 5 наведено загальний вигляд зруйнованих зразків балок. При ретельному огляді можна помітити, що зразки серії БМ (рис. 5а) мають значні залишкові деформації, зразки серії БМБ (рис. 5б) – менші, а в зразках серії ББ вони відсутні (рис. 5в). Текучість металевої арматури призводить до виникнення значних залишкових деформацій конструкції, що робить їх неремонтопридатними. Завдяки пружній роботі BFRP арматури зразки серії ББ не мали залишкових деформацій навіть після руйнування бетону стиснутої зони. Ця властивість BFRP арматури може забезпечити більшу надійність конструкцій при дії понаднормованих навантажень (землетруси, аварії тощо) шляхом відновлення проектного

положення після припинення силових впливів навіть за значних ушкоджень. Останнє твердження потребує додаткового вивчення шляхом проведення відповідних експериментальних випробувань.

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження бетонних балок із різними видами армування дають змогу зробити висновки:

– заміна металевої арматури на BFRP арматуру дала змогу збільшити несучу здатність зразків балок у середньому на 44%;

– використання гібридного армування дало змогу порівняно з армуванням BFRP арматурою покращити деформативні характеристики балок і не викликало зниження їх несучої здатності (приріст міцності становив 38–41%);

– пружна робота BFRP арматури призводить до відсутності залишкових деформацій конструкції після зняття навантаження, незважаючи на значні ушкодження та руйнування бетону;

– дрібні фракційовані відходи ГЗК є ефективною заміною кварцового піску під час виготовлення бетонної суміші.

Наведені результати можуть бути використані у процесі розробки програми додаткових експериментальних випробувань конструкцій, що працюють на згин, із гібридним армуванням металевою та BFRP арматурою для визначення оптимальних співвідношень різних видів арматури, а також у процесі розробки рекомендацій із проектування таких конструкцій.

#### Список літератури:

1. Wang M., Zhang Z., Li Y., Li M., Sun Z. Chemical Durability and Mechanical Properties of Alkali-proof Basalt Fiber and its Reinforced Epoxy Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2008. № 27(4). PP. 393–407.
2. Pouya B. Experimental investigation of the mechanical and creep rupture properties of basalt fiber reinforced polymer (bfrp). PhD thesis, University of Akron, USA, 2011. 216 p.
3. Солдатченко О.С. Міцність, жорсткість та тріщиностійкість згинальних конструкцій зі склопластиковою і базальтопластиковою арматурою: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. Київ, 2012. 196 с.
4. Ovitigala T. and Issa M. Flexural behavior of concrete beams reinforced with basalt fiber reinforcement polymer (BFRP) bars. Paper presented at the 11th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer for Reinforced Concrete Structures. Guimarães, Portugal, 2013.
5. Pawłowski D., & Szumigala M. (). Flexural behaviour of full-scale basalt FRPRC beams—experimental and numerical studies. *Procedia Engineering*. 2015. № 108. PP. 518–525.
6. Kudyakov K.L., Plevkov V.S. and Nevskii A.V. Strength and deformability of concrete beams reinforced by non-metallic fiber and composite rebar. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2015. 71/1/012030 ((12)).
7. Suzan A.A., Mustafa Hilal., Hassan A. Behavior of concrete beams reinforced with hybrid steel and FRP composites. *HBRC Journal, Housing and Building National Research Center*. 2017. URL: <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2017.01.001>
8. Akiel M., El-Maaddawy T., El Refai A. Flexural tests of continuous concrete slabs reinforced with basalt fiber-reinforced polymer bars, *CSCE 2016 Resilient Infrastructure*. London, Ontario (June 1–4, 2016). PP. 1–7.

9. G. Naveen Kumar, Karthik Sundaravadivelu. Experimental Study On Flexural Behaviour Of Beams Reinforced With GFRP Rebars. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. #80. PP. 1–11.
10. Vivekanand S., Sumathi A. Static Behaviour of Concrete Beams Reinforced in Shear with GFRP Bars. International Journal of ChemTech Research. 2015. Vol. 8. No. 2. Pp. 635–642.
11. Mohamed E. Behaviour of continuous concrete slabs reinforced with frp bars. PhD thesis, University of Bradford, UK, 2013. 177 p.
12. Железобетонные конструкции из бетона на отходах горнорудной и металлургической промышленности / Стороженко Л.И., Шевченко Б.Н., Ильенко В.М. и др. Киев: Будівельник, 1982. 72 с.

### НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ БАЛОК С СОВМЕШНЫМ АРМИРОВАНИЕМ БАЗАЛТОПЛАСТИКОВОЙ И МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРОЙ

*Приведены программа и результаты экспериментальных испытаний опытных образцов балок, армированных металлической арматурой, базальтопластиковой (BFRP) арматурой и с гибридным армированием – металлической и базальтопластиковой (BFRP) арматурой одновременно. Образцы балок изготавливались с использованием обычного бетона, с кварцевым песком в качестве мелкого заполнителя, и бетона, в котором кварцевый песок заменен мелкими фракционированными отходами горно-обогатительного комплекса (ГОК). Кратковременные испытания балок монотонным статическим нагрузками до разрушения позволили выяснить, что прочность балок, армированных базальтопластиковой (BFRP) арматурой, выросла на 37–44% по сравнению с балками, армированными металлической арматурой. Уменьшение содержания BFRP арматуры при гибридном армировании не повлияло на снижение показателей прочности и прирост прочности по сравнению с балками, армированными металлической арматурой, составил 38–41%. В балках, армированных BFRP арматурой, за счет отсутствия пластических деформаций в данной арматуре отсутствовали остаточные деформации после прекращения действия нагрузки, несмотря на значительные повреждения и разрушения бетона. Образцы балок, изготовленных из бетона на мелких фракционированных отходах ГОК, показали на 1–8% больше показателей прочности по сравнению с аналогичными балками, изготовленными на бетоне с кварцевым песком в качестве мелкого заполнителя.*

**Ключевые слова:** смешанное армирование, гибридное армирование, базальтопластиковая арматура, прочность, балка, мелкие отходы ГОК, деформативность.

### BEARING ABILITY OF BEAMS WITH COMBINED REINFORCEMENT USING BASALT FIBER REINFORCED POLYMER AND METAL ARMATURE

*The article presents the program and the results of experimental tests of beam samples with metal, basalt fiber reinforced polymer (BFRP) and hybrid (metal and BFRP) reinforcement. The samples were made of standard concrete with quartz sand as the fine aggregate and concrete with fine fraction wastes of a mining and beneficiation complex (MBC) used instead of the sand. Short-run tests of the beams under monotonous static loading until destruction enabled the conclusion that durability of the BFRP reinforced beams increased by 37–44% as compared to the metal reinforced beams. When hybrid reinforcing, reduction of the (BFRP) content did not produce an effect on decrease of durability indices; durability gains compared to the beams reinforced by metal made 38–41%. In the BFRP reinforced beams, due to the absence of plastic deformations in this reinforcement, there were no residual deformations after cessation of loading despite significant damage and deterioration of the concrete. Samples of beams made of concrete on fine fraction wastes of MBC, showed 1–8% higher strengths in comparison with similar beams made of concrete with quartz sand as the fine aggregate.*

**Key words:** combined reinforcement, hybrid reinforcement, basalt fiber reinforced polymer, strength, beam, fine fraction wastes of a mining and beneficiation complex (MBC), deformation.

Левенко Г.М.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА НА ҐРУНТАХ, ЩО НАБРЯКАЮТЬ. МОЖЛИВІСТЬ ЗАКРІПЛЕННЯ НАБРЯКАЮЧИХ ҐРУНТІВ

*Досвід експлуатації багатьох підприємств показав, що внаслідок аварійних замочувань ґрунтів промисловими стоками в основи споруд потрапляють хімічно активні розчини різних концентрацій, під впливом яких ґрунти суттєво змінюють свої властивості. Так, у результаті фізико-хімічних процесів і обмінних реакцій відбувається збільшення об'єму ґрунтів, так зване «хімічне набрякання». Під час проектування або реконструкції будівель і споруд на ґрунтах, що набрякають, необхідно чітко уявляти картину їх поведінки, щоб у подальшому мати можливість прогнозувати поведінку системи «основа – фундамент – споруда». Найбільш дієвим способом стабілізації поведінки основ, що забруднені промисловими стоками, є ін'єкційні методи закріплення, зокрема силікатизація.*

**Ключові слова:** силікатизація, хімічне набрякання, пероцтова кислота, міцність закріпленого ґрунту.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість досліджень, проведених до останнього часу [1–4], було присвячено вивченню закономірностей разового набрякання, тобто набрякання в одному циклі зволоження. Значно меншою мірою вивчені закономірності циклічного набрякання, тобто поведінки ґрунтів у багаторазовому зволоженні і висушуванні. Тим часом ґрунти, що залягають в основі промислових будівель з мокрим циклом виробництва, знаходяться в умовах мінливого режиму зволоження.

Поведінка ґрунтів у цих умовах визначається закономірностями їх циклічного, а не разового набрякання. Згідно з дослідженнями [5; 6] циклічне зволоження і висушування призводить до суттєвого збільшення показників набрякання порівняно з разовим набряканням. При цьому відносне збільшення значень показників набрякання залежить від типу структурних зв'язків і зростає зі збільшенням міцності останніх.

У разі періодичного замочування-висушування вологість набрякання зростає приблизно до вологості на межі текучості, і чим вищий ступінь міцності структурних зв'язків і менша початкова пористість і вологість зразка, тим більше число циклів зволоження-висушування необхідне для досягнення граничної величини набрякання.

У разі попадання води у ґрунти, що набрякають, відбуваються як вертикальні, так і горизонтальні деформації. За випробування такого ґрунту в жорсткому кільці, коли відсутні горизонтальні деформації, виникає горизонтальний тиск, що діє на стінки кільця. Отже, на огорожувальні конструкції (фундаменти, підпірні стінки, тунелі тощо), які влаштовуються в ґрунтах, що набряка-

ють, за їх зволоження діятимуть додаткові тиски, спричинені набряканням ґрунту.

На основі випробувань, проведених у різних приладах, виявлені закономірності розвитку горизонтального тиску під час набрякання ґрунту [7]. Горизонтальний тиск залежить від щільності і вологості ґрунту: зі збільшенням щільності він зростає, а зі збільшенням вологості зменшується. Так, під час випробування зразків Хвалінських глин порушеної структури без зовнішнього навантаження горизонтальний тиск за щільності сухого ґрунту  $p_d = 1,30 \text{ т/м}^3$  дорівнює 40 кПа, а за  $p_d = 1,87 \text{ т/м}^3$  – 220 кПа. За щільності  $p_d = 1,30 \text{ т/м}^3$  горизонтальний тиск для зразків з вологістю 8% становив 170 кПа, а з вологістю 25% – 120 кПа.

**Формулювання цілей статті.** На сучасному етапі будівництва вирішення різних техногенних завдань обов'язкове з урахуванням впливу прийнятих рішень на екологічний стан навколишнього середовища. Це питання є особливо актуальним для районів з великою часткою хімічної і харчової промисловості.

Найбільш дієвим способом стабілізації поведінки ґрунтів основ, забруднених промисловими стоками, є ін'єкційні методи закріплення [8; 9].

Закріплення ґрунтів, що зазнають забруднення промисловими стоками, являє собою комплекс різних заходів, які враховують вирішення питань як технічних, так і екологічних. У проведенні робіт із закріплення ґрунтів, забруднених промисловими стоками, необхідно враховувати певні вимоги [8]:

1. У проведенні робіт із закріплення забруднених масивів ґрунтів необхідно враховувати екологічний стан ділянки, що закріплюється, намагатись мінімізувати внесення хімічних речовин, необхідних для проведення робіт.

Таблиця 1

## Параметри закріплення

| Найменування параметра                                            | Чисельне значення параметрів |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Щільність розчинів силікату натрію, $z / \text{см}^3$             | 1,10; 1,15; 1,20; 1,25       |
| Концентрація розчинів пероцтової кислоти, %                       | 1%, 2%, 3%                   |
| Інтервал об'ємних співвідношень компонентів $\Omega$              | 4,5–16,0                     |
| Тиск нагнітання розчинів, $\text{кгс} / \text{см}^2 (\text{атм})$ | 1,0–2,0                      |
| Висота зразків, см                                                | 6,0                          |
| Діаметр зразків, см                                               | 4,1                          |
| Інтервали гелеутворення                                           | 1–60 хв.                     |

2. Запропонована методика закріплення має забезпечувати стабілізацію деформацій як підстав системи «основа – фундамент – споруда».

3. Після проведення робіт механічні та деформаційні показники закріпленого масиву мають підвищуватися.

4. Обов'язково необхідно забезпечувати суцільність закріплення масиву забрудненого ґрунту по всьому його об'єму.

Умовою вибору тієї чи іншої технології закріплення служить умова *одночасного* виконання всіх перерахованих вимог. Це є максимально оптимальним методом для пошуку і вибору найбільш ефективного способу хімічної стабілізації ґрунтових масивів, забруднених промисловими стоками [7; 8; 9]. Таким чином, під час проектування споруд на ґрунтах, що набрякають, виникає необхідність вибору способу покращення їх будівельних властивостей, а потім у межах обраного варіанту – розробці проекту, тобто визначення конфігурації і розмірів, необхідних для зміцнення деформаційної міцності основи, що, в свою чергу, визначає довжину, крок і кількість армуючих елементів; потужність і частоту розташування специфічного обладнання; концентрацію, розподіл і витрату закріплюючих реагентів тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Останнім часом хімічне закріплення стали застосовувати для стабілізації поведінки ґрунтів основ у разі їх забруднення промисловими стоками.

Сучасні вимоги до підходів щодо вирішення різних техногенних проблем вимагають обов'язкового врахування впливу вживаних заходів на екологічний стан навколишнього середовища. Широко розповсюдженими методами боротьби з хімічним набряканням є методи ін'єкційного закріплення ґрунтів основ.

Були виконані лабораторні роботи з дослідження закріплюваності хімічними розчинами на основі силікату натрію і пероцтової кислоти.

У процесі роботи досліджувалися піщані і пилувато-глинисті ґрунти, закислені пероцтовою кислотою, на закріплюваність розчинами силікату натрію різної щільності.

По черзі здійснювалося закріплення чотирьох груп ґрунтів. Основні розрахункові параметри закріплювальних складів для кожної з чотирьох груп зразків були однаковими ( $t_{\text{г}}$ ,  $\Omega$ ,  $\rho_{\text{с}}$ ,  $\rho_{\text{к}}$ ).

Характеристики міцності і деформаційні характеристики були визначені на стандартних компресійних приладах КПП-1М і приладах одноплощинного зрізу ПГС-2М.

Використані параметри закріплення всіх чотирьох груп ґрунтових зразків вказані в табл. 1.

У табл. 2 представлені механічні характеристики ґрунтів усіх чотирьох дослідних груп до закислення (у природному стані) та після їх закислення.

Зразки ґрунтів закріплювалися за ін'єкційною та бурозмішувальною технологіями. Початок гелеутворення, який планувався за час, що перевищує 5 хвилин.

Зразки силікатизованого ґрунту зберігалися в повітряно-вологодому стані 28 діб, потім випробовувалися на міцність у стисненні за допомогою ручного пресу (рис. 1 б, в).

Таблиця 2

## Деякі механічні характеристики ґрунтів до закислення і після

| Найменування ґрунтів | Деякі механічні характеристики ґрунтів до закислення                                            | Деякі механічні характеристики ґрунтів після закислення                                                                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ґрунт I              | $\phi = 35,3^\circ$<br>$E = 31,5 \text{ МПа}$<br>$C = 3,0 \text{ кПа}$<br>$R = 270 \text{ кПа}$ | $\phi = 33,0^\circ - 35,8^\circ$<br>$E = 21,5 - 22,0 \text{ МПа}$<br>$C = 2,0 - 5,0 \text{ кПа}$<br>$R = 185 \text{ кПа}$   |
| Ґрунт II             | $\phi = 32,1^\circ$<br>$E = 22,5 \text{ МПа}$<br>$C = 5,0 \text{ кПа}$<br>$R = 230 \text{ кПа}$ | $\phi = 27,8^\circ - 31,3^\circ$<br>$E = 19,9 - 21,9 \text{ МПа}$<br>$C = 3,0 - 4,3 \text{ кПа}$<br>$R = 123 \text{ кПа}$   |
| Ґрунт III            | $\phi = 33,2^\circ$<br>$E = 25,7 \text{ МПа}$<br>$C = 3,4 \text{ кПа}$<br>$R = 255 \text{ кПа}$ | $\phi = 25,7^\circ - 29,3^\circ$<br>$E = 15,9 - 24,8 \text{ МПа}$<br>$C = 5,2 - 6,3 \text{ кПа}$<br>$R = 195 \text{ кПа}$   |
| Ґрунт IV             | $\phi = 26,4^\circ$<br>$E = 22,4 \text{ МПа}$<br>$C = 39 \text{ кПа}$<br>$R = 332 \text{ кПа}$  | $\phi = 22,0^\circ - 24,2^\circ$<br>$E = 12,9 - 21,9 \text{ МПа}$<br>$C = 32,0 - 35,3 \text{ кПа}$<br>$R = 215 \text{ кПа}$ |

У табл. 3 представлені механічні характеристики ґрунтів усіх чотирьох дослідних груп після їх закріплення.

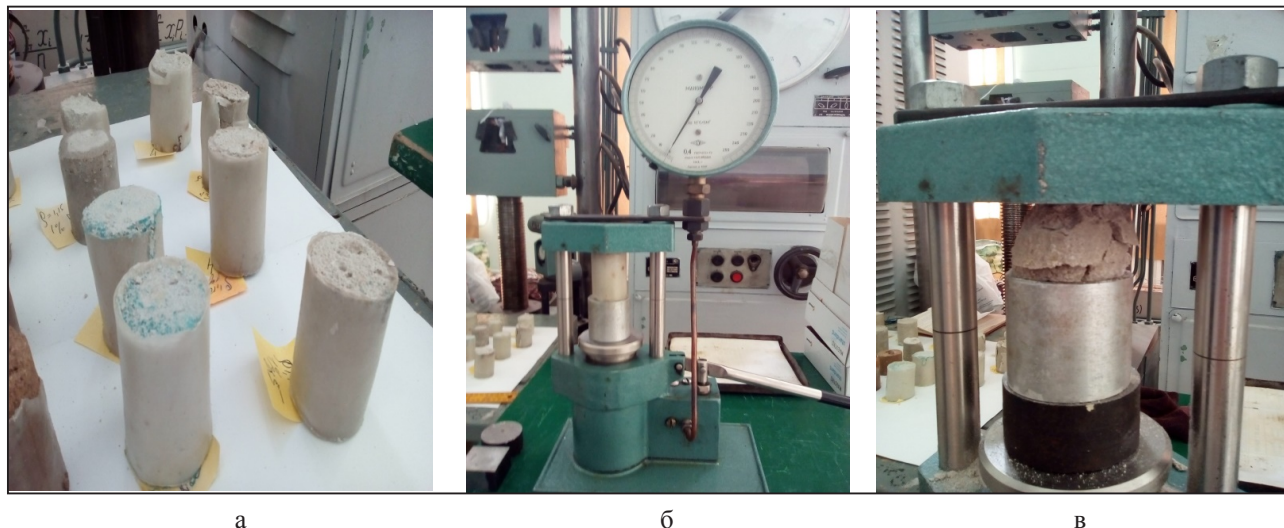


Рис. 1. Випробування ґрунту на стиск.  
а) зразки ґрунту перед випробуванням; б) зразок ґрунту в пресі під час випробування;  
в) зразок ґрунту після проведення випробування

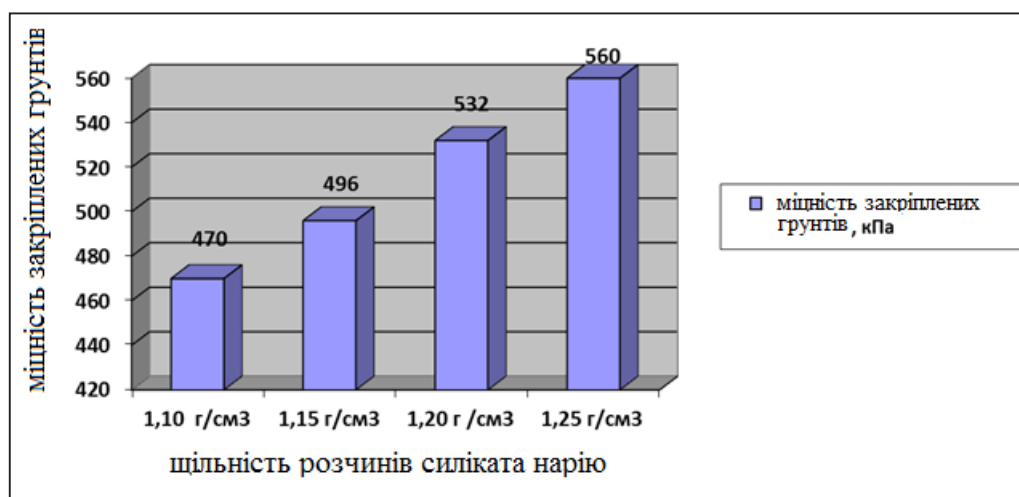


Рис. 2. Залежність міцності закріпленого ґрунту від щільності розчину силікату натрію

Деякі механічні характеристики ґрунтів після закріплення

| Найменування ґрунтів | Механічні характеристики ґрунтів після закріплення |           |                   |                |
|----------------------|----------------------------------------------------|-----------|-------------------|----------------|
|                      | $\varphi$ , град                                   | $E$ , МПа | $\tilde{N}$ , кПа | $R_{ст}$ , кПа |
| Ґрунт I              | 39,8                                               | 38,9      | 8,2               | 351–456        |
| Ґрунт II             | 23,9                                               | 42        | 39,2              | 243–321        |
| Ґрунт III            | 24,3                                               | 38        | 38,9              | 220–370        |
| Ґрунт IV             | 26,3                                               | 37,9      | 39,2              | 470–560        |

Після обробки отриманих результатів були побудовані діаграми залежності міцності закріпленого ґрунту від щільності застосованих розчинів силікату натрію (рис. 2).

Висновки. Після проведення закріплення ґрунтів міцність їх підвищується, механічні характеристики поліпшуються. У деяких випадках механічні характеристики закріпленого ґрунту перевищують їх значення в природному стані. У глини міцність ґрунту  $R_{ст}$  збільшується в 1,81–3,01 раза. Питоме зчеплення  $C$  у супісків збільшується в 9,6 раза, а модуль деформації  $E$  збільшується в 2,48 раза. Кут внутрішнього тертя  $\varphi$  усіх вивчених ґрунтів у середньому збільшується в 1,56 раза.

Запропонована у роботі рецептура може бути використана як самостійний спосіб закріплення ґрунтів, не схильних до хімічної дії.

## Список літератури:

1. Сорочан Е.А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. Москва: Стройиздат, 1989. С. 312.
2. Бронжаев М. Ф., Мишурова Т. В., Гринь В. И. Разрушение строительных конструкций цеха жидкого каустика, вызванное проливами щелочи в грунты основания. Труды научно-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников. Харьков: ХГАГХ «Строительство и экология», 1996. С. 16–17.
3. Хансиварова Н.М., Коробкин В.И., Филь Р.М. Экологические проблемы городов в связи с химическим загрязнением лёссовой геологической среды. Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Сб. докл. Междунар. экологического конгресса. Т. 2. / под ред. Н.И. Иванова. Балт. гос. техн. ун-т, С-Пб., 2000. С. 369–372.
4. Евдокимова Л.А. Изменение химико-минерального состава глинистых грунтов при обработке их кремнефтористоводородной кислотой. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. Москва: Наука, 1982. С. 28–32.
5. Герсеванов Н.М. Основы динамики грунтовой массы. Ред. строит., мат. М.–Л., 1937. С. 242.
6. Нгуен Нгок Бик. Циклическое набухание глинистых грунтов: дисс. канд. геолого-минералог. наук: 05.23.02. Москва, 1984. С. 140.
7. Сорочан Е.А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. Москва: Стройиздат, 1989. С. 312.
8. Преснов О.М., Лобанов В.С., Емельянов А.Н. Проблемы строительства на набухающих глинистых грунтах. Молодежь и наука: сб. материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012.
9. Мишурова Т.В. Закрепление песчаных оснований, загрязненных фосфорнокислыми промстоками, в условиях действующего производства: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.02. Днепропетровск, 2001. С. 171.

## ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА НАБУХАЮЩИХ ГРУНТАХ. ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ

*Опыт эксплуатации многих предприятий показал, что в результате аварийных замачиваний грунтов промышленными стоками в основания сооружений попадают химически активные растворы различных концентраций, под влиянием которых грунты существенно меняют свои свойства. Так, в результате физико-химических процессов и обменных реакций происходит увеличение объема грунтов, так называемое «химическое набухание». При проектировании или реконструкции зданий и сооружений на набухающих грунтах необходимо четко представлять картину их поведения, чтобы в дальнейшем иметь возможность прогнозировать поведение системы «основание – фундамент – сооружение». Наиболее действенным способом стабилизации поведения оснований, загрязненных промышленными стоками, являются инъекционные методы закрепления, в частности силикатизация.*

**Ключевые слова:** силикатизация, химическое набухание, перуксусная кислота, прочность закрепленного грунта.

## FEATURES OF CONSTRUCTION ON SWELLING SOILS. THE POSSIBILITY OF FIXING SWELLING SOILS

*Operating experience of many enterprises has shown that as a result of emergency soaking of soils with industrial effluents chemically active solutions of various concentrations get into the foundations of structures, under the influence of which soils significantly change their properties. So as a result of physical and chemical processes and exchange reactions, an increase in the volume of soils, the so-called "chemical swelling" occurs. When designing or reconstructing buildings and structures on swelling soils, it is necessary to have a clear picture of their behavior in order to be able to predict the behavior of the base – foundation – structure system. The most effective way to stabilize the behavior of bases contaminated with industrial effluents is injection methods of consolidation, in particular, silicatisation.*

**Key words:** silicatisation, chemical swelling, peracetic acid, strength of the fixed soil.

УДК 681.5:693

**Новомлинець О.О.**

Чернігівський національний технологічний університет

**Прибитько І.О.**

Чернігівський національний технологічний університет

**Ющенко С.М.**

Чернігівський національний технологічний університет

**Величко О.О.**

Чернігівський національний технологічний університет

## ОГЛЯД СУЧАСНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ

*Одним із ключових факторів у підвищенні продуктивності будівельних процесів є механізація та автоматизація будівельних робіт. Це дає змогу мінімізувати вплив людського фактора, покращити умови праці на будівельному майданчику та збільшити загальну ефективність виробничого процесу. Зокрема, зведення кам'яних будівель та споруд потребує великої кількості різноманітних та невпорядкованих дій, пов'язаних із підйомом, подачею, переміщенням та укладанням збірних елементів конструкції. Тому кладка (зокрема цегляна) як складний технологічний процес вимагає впровадження автоматизованого виробництва. З цієї точки зору перспективними є будівельні роботи та маніпулятори, які на світовому ринку будівельної техніки набувають все більшого поширення.*

**Ключові слова:** механізація, автоматизація, робот, маніпулятор, кладка, цегла.

**Постановка проблеми.** Механізація – один із провідних факторів у вирішенні завдань підвищення продуктивності праці та загальної ефективності будівельного виробництва. Росту рівня механізації сприяє насичення ринку будівельної техніки високопродуктивними машинами з широким набором технологічних операцій.

Незважаючи на появу нових будівельних матеріалів, широко використовуваною натеper залишається цегла. Однак цегляна кладка до недавніх пір не підлягала автоматизації і продовжує залишатися трудомісткою ручною працею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У низці країн нині проводяться дослідження процесу автоматизації цегляної кладки. Перспективною сферою застосування сучасних технологій є будівельні роботи [1–5]. Поступово зростає різноманітність таких робіт, розвивається тривимірний друк будівель і споруд, з'явилися перші мобільні маніпулятори для зносу конструкцій та укладання цегли [3–5]. Сучасні апарати застосовуються не тільки в стінах заводів і фабрик: їх використовують, зокрема, для сільського господарства, у громадських закладах і комплексах, на складах і в розподільчих центрах [1–3; 5].

Незважаючи на те, що вже сьогодні існують машини, призначені, наприклад, для швидкого

укладання цегли, питання їх широкого впровадження залишається відкритим. Основні труднощі під час зведення будівель і споруд цегляною кладкою викликані великою різноманітністю і невпорядкованістю необхідних для цього дій, які знижують продуктивність праці та суттєво залежать від рівня кваліфікації будівельників-мулярів.

**Постановка завдання.** Мета статті – на основі аналізу світового виробничого досвіду провести огляд сучасних автоматизованих та механізованих систем, що використовуються у процесі кам'яної кладки, визначити необхідні вимоги до них та перспективні напрями їх застосування загалом у будівництві.

**Викладення основного матеріалу.** У сучасному будівництві з метою забезпечення високої продуктивності використовують різноманітні комплекси засобів механізації. Серед них на особливу увагу заслуговують можливості промислового робота “Hadrian” від австралійської компанії Fastbrick Robotics (FBR) (рис. 1 а). Це перший у світі спеціалізований робот-муляр, який здатний викласти стіни замського будинку за два дні. Керуючий комп'ютер розраховує дії руки-маніпулятора, виходячи з наявної CAD-моделі будинку або іншого об'єкта [6].



а



б

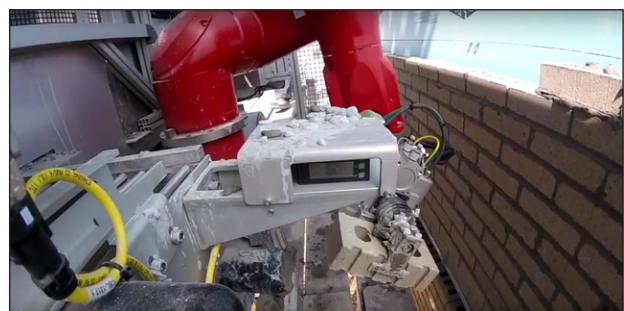
**Рис. 1. Зовнішній вигляд промислових роботів компанії FBR: робот «Hadrian» (а) [6] та робот «Hadrian X» (б) [7]**

У подальшому на основі робота “Hadrian” компанією FBR було удосконалено цю розробку. Модернізований пристрій одержав ім'я “Hadrian X” (рис. 1 б). Робот працює за принципом 3D-принтера, використовуючи не спеціальну суміш для друку, а цеглу. “Hadrian X” накладає цеглу згідно із заданою програмою і здатний укласти тисячі стандартних цеглин за годину, поміщаючи їх на спеціальний, запатентований компанією FBR, клей, який розподіляється по кожній цеглині за допомогою особливого пристрою. Відмінністю від попередньої моделі є те, що робот встановили на базі вантажного автомобіля, оснастивши його 30-метровою стрілою-маніпулятором і зробивши високомобільним. Крім цього, машина вміє ретельно підганяти матеріал кладки один до одного за допомогою його шліфування і різання. Тобто робот робить все те саме, що і людина, проте він здатний замінити собою декілька десятків працівників [7].

Після установки “Hadrian X” здатний працювати 24 години на добу, а швидкість його роботи достатня для того, щоб зводити по одному будинку кожні два дні, тобто близько 150 будинків на рік. Точність укладання робота перебуває в межах десятих часток міліметра [4]. Наприкінці 2017 року стало відомо, що робот “Hadrian X” збираються використовувати для забудови в Саудівській Аравії: до 2022 року за його допомогою планується побудувати мінімум п'ятдесят тисяч нових будинків [8].

Нью-йоркська компанія Construction Robotics створила напіваавтоматичний робот, який здатний

класти до 1200 цеглин у день. Система SAM (Semi-Automated Mason – «напіваавтоматичний муляр») (рис. 2) не замінює повністю працю людини, а працює сумісно з нею [9]. Робот відповідає за механічні дії: підйом цегли, нанесення розчину, установку на конкретне місце. Будівельник виконує більш тонку роботу: кладку в складних місцях на кутах, розшивання швів. Такий робот здатний не тільки повторювати одноманітні дії, але й підлашуватися під умови на майданчику, зіставляючи закладені в програму креслення з реальними даними. Крім того, система може розрізняти відмінні за кольором цеглини, що дає змогу формувати певний малюнок фасаду [10].



**Рис. 2. Напіваавтоматичний робот SAM компанії Construction Robotics [10]**

У програмному забезпеченні системи управління роботом SAM використані інноваційні розробки, зокрема програма «картографування» цегляної кладки, в яку можна в цифровому вигляді завантажити схему розташування стіни і цегли

в ній і прив'язати до координат GPS. Програму можна коригувати залежно від зміни реальних умов на будівельному об'єкті. Коли коригується вся конструкція, відповідно, уточнюється і положення кожної цеглини в кладці. Таким чином, будівельний проект точно відповідає всім реальним розмірам і обмеженням, існуючим на практиці [9].

Ще одним прикладом будівельних роботів є робот In-Situ Fabricator (IF, «Будує тут і зараз») [5; 11], створений групою архітекторів і робото-техніків з Федерального технологічного інституту в Цюриху (ETH Zurich) (рис. 3). Робот має порівняно невелику масу, є мобільним і, найголовніше, володіє «інтелектом». Він оснащений двома комп'ютерами, один з яких відповідає за рухи механічної «руки»-маніпулятора, а інший – за орієнтування. Маніпулятор обладнаний лазерним далекоміром. У разі переміщення маніпулятора далекомір сканує простір навколо робота і будує тривимірну схему навколишнього простору. Ще однією перевагою IF є здатність самостійно пересуватися по будівельному майданчику без допомоги людини. Робот оснащений датчиками і камерами, які дають йому змогу не натикатися на перешкоди і людей під час руху [5].

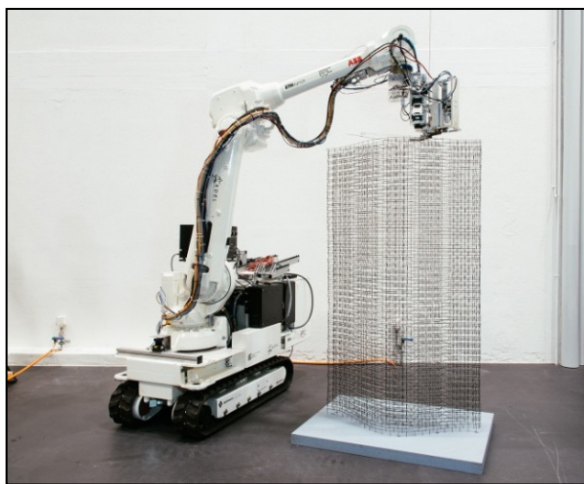


Рис. 3. Робот In-Situ Fabricator інституту ETH Zurich (м. Цюрих) [11]

Головною його перевагою, як вважають розробники, є здатність адаптуватися і вирішувати завдання у раптових нестандартних змінах обстановки на будівельному об'єкті. На їхню думку, це одна з перших машин, яка здатна будувати нестандартні споруди, тобто проект яких може змінюватися й адаптуватися до навколишніх умов безпосередньо в процесі будівництва [9]. Апарат функціонує в напівавтономному режимі, точність

виконуваних операцій становить близько 5 мм. Машина підключається до Інтернету, завдяки чому архітектор може внести зміни в проект у режимі реального часу. IF оснащений декількома камерами, навігаційним процесором та гнучким робо-маніпулятором. Система враховує непередбачувані обставини – нерівності землі й усадку матеріалів [11].

Дослідники з Університету в м. Баффало (США), у свою чергу, сконструювали робота-носія OSCR-3 (рис. 4), який допомагає піднімати і переносити цеглу та будівельні блоки по сходах і поверхах [4].

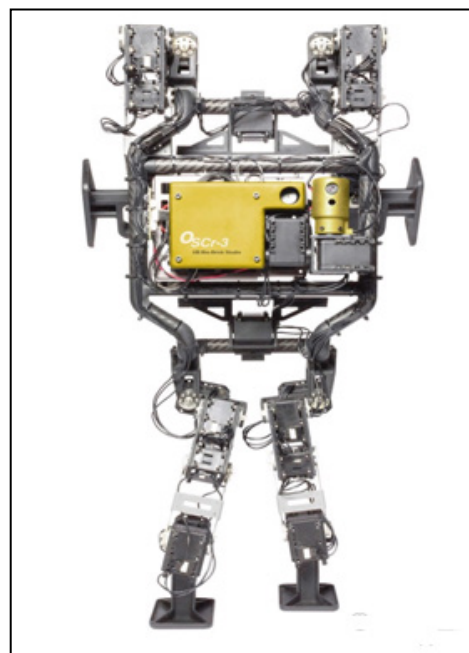


Рис. 4. Робот-носія OSCR-3 [4]

Окремої уваги заслуговує розробка групи вчених у Гарвардській школі техніки та прикладних наук (SEAS) [13], які побудували програму TERMES («терміти») на принципах «стігмергії», або «мурашиного алгоритму» (рис. 5). Згідно з нею роботи будують сходи, піднімаючись по них, щоб продовжувати будівництво, знають, куди потрібно покласти чергову цеглу і як її закріпити. Кожен робот вкладає цеглу на перше ж доступне місце, щоб споруда росла, при цьому не створюючи перешкод для сусідів і ходу будівництва, причому вони можуть навіть відновити будівлю після раптових змін в обстановці та її стані (частину споруди навмисне руйнували). Технічні можливості системи TERMES поки що залишаються обмеженими, але, як стверджують розробники, вже зараз роботизована система може виконувати завдання з укладання загороджень із мішків з піс-



Рис. 5. Роботи, що працюють за програмою TERMES [4]

ком у разі повеней або виконувати нескладні будівельні роботи на Марсі.

На відміну від системи TERMES, робота інших сучасних роботизованих систем управляється центральним блоком управління (контролером) з метою забезпечення погоджених дій кожного робота. Зокрема, «Інститут динамічних систем і управління» (Institute for Dynamic Systems and Control) в Цюриху розробив концепцію «Літаючих роботів» (Flying Machine Arena), які можна використовувати для зведення будівель з цегли або блоків в автономному режимі – без втручання людини в процес будівництва [4; 13]. Система може управляти різними літальними апаратами, але з цією метою було застосовано квадрокоптери (рис. 6) завдяки їх маневреності, простоті механічного пристрою, надійності та міцності. Цегла утримується спеціальним захватом із трьох штифтів із сервоприводом. Дослідження показали, що чим менша швидкість, з якою цегла підлітає до кладки (відповідно, слабкіший удар під час укладання), тим більше впливає на точність траєкторії турбулентність у повітрі і сила тяжіння. Тому бажано укладати цеглу з досить високою швидкістю, без зайвої «обережності».

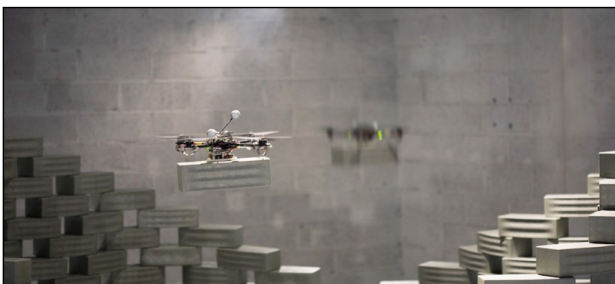


Рис. 6. «Літаючий робот» у процесі роботи [13]

Французькими дослідниками [3] Технологічного університету Лілля розроблено робот для автоматизованого укладання цегли, який складається з руки-маніпулятора, що переміщує будівельний матеріал на спеціальну конвеєрну систему, та голови робота, що подає цеглини з

конвеєра до потрібного місця. Встановлено, що запропонований спосіб має вищу продуктивність праці та нижчу вартість будівництва порівняно з традиційною цегляною кладкою.

Деякі розробники спеціалізуються на створенні програмного забезпечення для управління укладанням цегли. Зокрема, компанією ROB Technologies AG розробляється комплекс FlexBrick – пакет комп'ютерних програм для управління роботизованим укладанням цегли в нестандартному порядку для прикраси фасадів будівель, інтер'єрів тощо, який вже використовувався у будівництві низки будівель у Великобританії, Німеччині та Швейцарії [4].

**Висновки.** Таким чином, огляд сучасних роботизованих комплексів дає змогу зробити висновок, що використання будівельних роботів та маніпуляторів стає ефективним засобом механізації кам'яної кладки зокрема та будівельного виробництва загалом. За допомогою роботизованих пристроїв можливе створення складних конструкцій безпосередньо на будівельному майданчику, з високою точністю, за короткий термін і без недоліків, викликаних людським фактором.

Будь-який будівельний робот чи маніпулятор має відповідати таким вимогам: мати високу швидкість та точність траєкторії руху; мати достатню потужність, щоб піднімати важкі матеріали; бути порівняно легким і компактним, щоб утримуватися на перекриттях, проходити крізь дверні прорізи або інші вузькі отвори.

Перспективними засобами автоматизації можуть стати «літаючі» роботи, завдяки яким можна буде переносити цеглу та інші будівельні матеріали практично без перешкод.

Досвід іноземних розробників дає змогу стверджувати, що актуальним завданням для спеціалістів вітчизняної будівельної галузі є широке впровадження роботизованих технологій кам'яної кладки, які в майбутньому здатні спричинити будівельну революцію.

### Список літератури:

1. Трифонова Е.А., Вечкасова Е.Н. Использование кирпичной кладки в современном дизайне и строительстве. Перспективы использования декоративной кладки. UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. № 4 (49). 2018. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kirpichnoy-kladki-v-sovremennom-dizayne-i-stroitelstve-perspektivy-ispolzovaniya-dekorativnoy-kdadki>
2. Целищев О.В., Мунасыпов Р.А. Автоматизация процесса кирпичной кладки. Современные наукоемкие технологии. № 1. 2014. URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=33631>
3. Dakhli Z., Lafhaj Z. Robotic mechanical design for brick-laying automation. Cogent Engineering. 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/318832729\\_Robotic\\_mechanical\\_design\\_for\\_brick-laying\\_automation/](https://www.researchgate.net/publication/318832729_Robotic_mechanical_design_for_brick-laying_automation/)
4. Роботы-каменщики: автоматизация процесса кирпичной кладки. Основные средства. 2016. URL: <https://os1.ru/event/9411-roboty-kamenshchiki-avtomatizatsiya-protssesa-kirpichnoy-kladki>
5. Robotic fabricator could change the way buildings are constructed. MIT Technology Review. 2017. URL: <https://www.technologyreview.com/s/603429/robotic-fabricator-could-change-the-way-buildings-are-constructed/>
6. Ваннах М. Робот-каменщик с императорским именем. КОМПЬЮТЕРРА. Легендарный журнал о современных технологиях. 2015. URL: <https://www.computerra.ru/181044/robot-kamenshchik-s-imperatorskim-imenem/>
7. Механічний муляр, робот HADRIAN, тепер встановлено на вантажівку. Портал спецтехніки України "ENKI". 2017. URL: <https://enki.ua/news/mehanicheskij-kamenshchik-robot-hadrian-teper-ustanovlen-na-gruzovik-6123>
8. Робот-каменщик «Адриан» отправляется на работу в Саудовскую Аравию. ОЛИМПСТРОЙ: Инновации в строительстве. 2017. URL: <http://sc-os.ru/technologies/2621-robot-kamenschik-adrian-otpravlyaetsya-na-rabotu-v-saudovskuyu-araviyu.html>
9. Бойко А. Робот SAM укладывает кирпичи втрое быстрее человека. Робототехника и летающие беспилотники. Livejournal. 2015. URL: <https://prorobots.livejournal.com/60456.html>
10. Бойко А. SAM (Semi-Automated Mason). Robotrends. 2016. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/sam-semi-automated-mason>
11. In Situ Fabricator. DFAB HOUSE. Innovations. URL: [http://dfabhouse.ch/in\\_situ\\_fabricator/](http://dfabhouse.ch/in_situ_fabricator/)
12. Petersen K., Nagpal R., Werfel J. TERMES: An Autonomous Robotic System for Three-Dimensional Collective Construction. Robotics: Science and Systems. 2011. URL: <http://www.roboticsproceedings.org/rss07/p35.pdf>
13. Flying machine arena. ETH Zurich. Institute for dynamic systems and control. URL: <https://flyingmachinearena.org/>

### ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

Одним из ключевых факторов повышения производительности строительных процессов является механизация и автоматизация строительных работ. Это позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, улучшить условия труда на строительной площадке и увеличить общую эффективность строительного процесса. В частности, возведение каменных зданий и сооружений требует большого количества разнообразных и неупорядоченных действий, связанных с подъемом, подачей, перемещением и укладкой сборных элементов конструкции. Поэтому кладка, в том числе кирпичная, являясь сложным технологическим процессом, требует внедрения автоматизированного производства. С этой точки зрения перспективными являются строительные роботы и манипуляторы, которые на мировом рынке строительной техники приобретают широкое распространение.

**Ключевые слова:** механизация, автоматизация, робот, манипулятор, кладка, кирпич.

### REVIEW OF CURRENT ROBOTIZED TECHNOLOGIES OF MASONRY

Mechanization and automation of construction works are one of key factors of constructional process productivity improvement. It enables to minimize human factor influence, improve labor conditions on the building site and increase effectiveness of constructional process. In particular, construction of buildings and structures requires a big amount of various and irregular operations connected with lifting, feed, movement and laying of factory-made elements. Therefore, masonry, including brick masonry as a complicated technological process requires application of automated production. From this point of view, building robots and manipulators are widespread on the world market.

**Key words:** mechanization, automation, robot, manipulator, masonry, brick.

УДК 624.012.46

**Постернак А.А.**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**Кравченко С.А.**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**Агафонова И.П.**

Бендерский политехнический филиал

Государственного образовательного учреждения

«Приднестровский государственный университет имени Т.Г. Шевченко»

**Иванова С.С.**

Бендерский политехнический филиал

Государственного образовательного учреждения

«Приднестровский государственный университет имени Т.Г. Шевченко»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА МНОГОКОМПОНЕНТНОМ ВЯЖУЩЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ

*Исследование технической возможности и экономической целесообразности использования керамзита, кварцевого песка и многокомпонентного вяжущего для бетона и железобетона является важной народно-хозяйственной задачей. На основании проведенного эксперимента изгибаемых элементов, изготовленных из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем, получены данные по несущей способности, трещиностойкости и деформативности.*

**Ключевые слова:** несущая способность, деформативность, трещиностойкость, легкий бетон.

**Постановка проблемы.** Известно, что одной из актуальнейших задач в деятельности строительного комплекса страны является производство изделий и конструкций для жилых, гражданских и промышленных зданий. Разработка конструкций сниженной материалоемкости и требуемой долговечности с одновременной разработкой ресурсосберегающих технологий их изготовления – это одно из основных направлений успешного решения указанной задачи.

В Одесской государственной академии строительства и архитектуры разработана технология малоцементных бетонов. В ее основе лежит применение четырёхкомпонентного вяжущего, в состав которого, кроме портландцемента и молотой негашёной извести, входят также активная минеральная добавка (зола-унос) и гипс для изготовления и исследования изгибаемых элементов, стеновых блоков [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** За последнее время накопилось много исследований прочности и деформаций легких бетонов и конструкций на их основе, которые приведены в работах М.А. Ахматова, Э.М. Бабича, В.Н. Вырового, Б.С. Комисаренко, Р.Л. Маиляна,

Л.П. Орентлихера, Н.Я. Спивака, В.Г. Суханова, А.Б. Пирадова и других.

На современном уровне значительный вклад в развитие бетонов с использованием шлака и золы внесли Ш.Т. Бабаев, Е.В. Гончикова, С.А. Высоцкий, Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, А.Г. Зоткин, М.Ю. Лещинский, Н.Р. Рузиев, А.В. Каляскин и другие, но в основном вопросы ресурсосбережения за счёт применения промышленных отходов при изготовлении пористых заполнителей и вяжущих рассматриваются для тяжелых бетонов.

**Постановка задачи.** Цель исследования включала разработку и получение конструкций из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем меньшей массы, по сравнению с тяжелыми бетонами, которые должны отвечать требованиям по несущей способности, трещиностойкости и деформативности. При этом задачей исследования было разработать оптимальные составы бетона с последующим проведением испытаний конструкций, пригодных к эксплуатации в современном строительстве.

**Изложение основного материала исследования.** В работах упомянутых ученых [2; 3; 4]

Состав бетона для экспериментальной партии изгибаемых элементов

| Проектная прочность, МПа | Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона |                            |                         |                             |                          |                         |        |         |
|--------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|---------|
|                          | Цемент, кг/м <sup>3</sup>                    | Известь, кг/м <sup>3</sup> | Зола, кг/м <sup>3</sup> | Керамзит, кг/м <sup>3</sup> | Песок, кг/м <sup>3</sup> | Гипс, кг/м <sup>3</sup> | С-3, % | Вода, л |
| 7,5                      | 100                                          | 100                        | 100                     | 460                         | 200                      | 25                      | 0,3    | 170     |

исследованы основные свойства керамзитобетона на карбонатном и кварцевом песках с применением многокомпонентных вяжущих, определены оптимальные составы для изготовления сборных монолитных железобетонных элементов и конструкций.

Состав бетона для экспериментальной партии изгибаемых элементов приведен в Таблице 1.

При подборе составов использовали расчетно-экспериментальный метод в соответствии с Рекомендациями по учету комплекса технологических и эксплуатационных параметров, оптимизирующих свойства конструкционного керамзитобетона на карбонатном песке [2], включающий такие операции:

- выбор заполнителя;
- назначение предварительного расхода вяжущего;
- установление зернового состава и расхода заполнителя;
- определение расхода воды, обеспечивающего удобоукладываемость бетонной смеси;
- установление зависимостей между расходом вяжущего и прочностью бетона;
- корректировка и назначение производственного состава.

Разработанная последовательность приготовления керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем как для обычного керамзитобетона включала такие операции:

- отдозированные на замес компоненты (цемент, зола-унос, известь, гипс) смешивали в бетономешалке. Смесь готовилась в течении 3 мин;
- заполнители перед приготовлением смеси высушили до постоянного веса. Добавку готовили в виде водного раствора принятой концентрации;
- в бетономешалку загружали всё количество вяжущего и песка. Производили перемешивание в течении 2 мин до получения однородной смеси (время перемешивания зависело от ее объёма);
- загружали керамзитовый гравий и 80% воды с добавкой. Производили также перемешивание в течении 2–4 мин до получения однородной смеси;
- в полученную смесь вводили оставшееся количество воды и проводили перемешивание до

получения однородной смеси, затем измеряли ее подвижность.

Окончательно приготовленную смесь укладывали в металлические разъёмные формы и подвергали кратковременному вибрационному воздействию на вибростол. Затем образцы выдерживали 2–4 ч, после чего они проходили тепловлажностную обработку при температуре 80–90°C с длительностью изотермического прогрева 14 ч: 2+10+2 ч. После окончания пропаривания образцы остывали в течение 2 ч. Затем проводили распалубку, взвешивали и маркировали.

Испытание образцов кубов и призм, элементов и конструкций проводили в соответствии с действующими нормами ДСТУ и ДБН [5].

Испытание балок осуществляли с целью выявления их фактической несущей способности, трещиностойкости и деформативности. Результаты исследования балок приведены в Таблице 2. Все балки изготавливались из класса бетона по прочности на сжатие С8/10 (Таблица 1) с различным процентом армирования и разрушились по нормальному сечению в зоне чистого изгиба. Разрушение балок из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем происходило при достижении в растянутой арматуре напряжений, равных пределу текучести, с последующим раздроблением бетона сжатой зоны. Полученные экспериментальные прогибы балок перед разрушением не превышали величину предельно допустимых прогибов:  $f = l/200$ . Перед разрушением в сжатой зоне бетона происходило шелушение поверхности, вертикальные трещины в верхней части разветвлялись, переходя в горизонтальные, наблюдалась тенденция к непрерывному росту деформаций.

Расчётные значения разрушающих моментов  $M_{\text{расч}}$  определялись по формулам ДБН В.2.6 – 98:2009 с введением в расчёт фактической прочности бетона и предела текучести арматуры.

За опытный разрушающий момент  $M_{\text{оп}}$  принимали изгибающий момент от внешней нагрузки, при котором напряжения в растянутой арматуре достигали предела текучести. При этом начиналось разрушение бетона сжатой зоны. Для уточ-

Таблица 2

## Результаты испытания балок

| Серия | Обозначение | $M_a^{exp}$ , Нм | $M_a^{calc}$ , Нм | $\frac{M_a^{exp} - M_a^{calc}}{M_a^{calc}} \times 100, \%$ | $M_{sc}^{exp}$ , Нм | $M_{sc}^{calc}$ , Нм | $\frac{M_{sc}^{exp} - M_{sc}^{calc}}{M_{sc}^{calc}} \times 100, \%$ |
|-------|-------------|------------------|-------------------|------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1     | БК-1-1      | 5930             | 6060              | 2,1                                                        | 2430                | 2594                 | 6,3                                                                 |
|       | БК-1-2      | 6350             |                   | 4,8                                                        | 2710                |                      | 4,4                                                                 |
|       | БК-1-3      | 5980             |                   | 1,3                                                        | 2460                |                      | 5,1                                                                 |
| 2     | БК-2-1      | 8170             | 7790              | 4,9                                                        | 3100                | 2945                 | 5,3                                                                 |
|       | БК-2-2      | 8300             |                   | 6,5                                                        | 3090                |                      | 4,7                                                                 |
|       | БК-2-3      | 8230             |                   | 5,7                                                        | 3120                |                      | 5,8                                                                 |

Таблица 3

## Деформации бетона сжатой грани балок

| Серия | Марка балки | $\varepsilon_{sc}^{exp} \times 10^5$ | $\varepsilon_{sc}^{calc} \times 10^5$ | $\varepsilon_{sc}^{exp} / \varepsilon_{sc}^{calc}$ |
|-------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1     | БК-1-1      | 115                                  | 118                                   | 0,97                                               |
|       | БК-1-2      | 124                                  |                                       | 1,05                                               |
|       | БК-1-3      | 121                                  |                                       | 1,02                                               |
| 2     | БК-2-1      | 161                                  | 156                                   | 1,03                                               |
|       | БК-2-2      | 167                                  |                                       | 1,07                                               |
|       | БК-2-3      | 164                                  |                                       | 1,05                                               |

нения опытного значения разрушающего момента использовали результаты измерения деформаций растянутой арматуры и бетона сжатой зоны, а также прогибов балок. Опыты показали, что при достижении момента разрушения во всех образцах проявлялись большие пластические деформации.

Сопоставление опытных разрушающих моментов  $M_a^{exp}$  с расчётными  $M_a^{calc}$  приведено в Таблице 2. Как видно из таблицы, для всех серий наблюдается достаточно хорошая сходимость опытных и расчётных разрушающих моментов. Опытные разрушающие моменты в балках серии 1 выше расчётных в среднем на 1%, а в балках серии 2 – на 4,1%. Максимальное отклонение  $M_a^{exp}$  и  $M_a^{calc}$  в балках 1 серии наблюдались в балке БК-2 и составило 1,3%, в балках 2 серии максимальное отклонение не наблюдалось.

Деформации бетона сжатой зоны  $\varepsilon_{sc}^{exp}$  определяли по показаниям тензометров с ценой деления 0,01, установленных на верхней грани бетона в зоне чистого изгиба. Замер деформаций производили на всех этапах нагружения балок. Для сравнения опытных значений  $\varepsilon_{sc}^{exp}$  с их теоретическими значениями  $\varepsilon_{sc}^{calc}$  последние вычисляли по действующим нормам ДБН в стадии работы с трещинами.

Опытные деформации сжатой грани бетона и их сравнение с деформациями, вычисленными по ДБН В.2.6-98:2009, приведены в Таблице 3 и на Рис. 1.

Из полученных зависимостей (Рис. 1) видно, что экспериментальное значение укорочения крайнего волокна бетона для балок с процентом армирования  $\mu = 0,013$  заметно меньше их величин, вычисленных по ДБН.

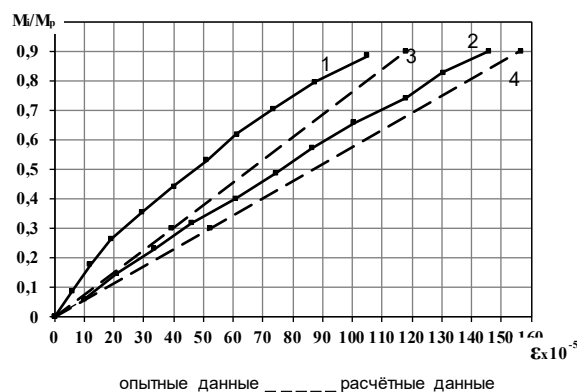


Рис. 1. Зависимость средних деформаций сжатой грани бетона  $\varepsilon_{sc}^{exp}$  от изгибающего момента при различном армировании

Расхождение между величинами имеет место на всём протяжении нагружения конструкции и в некоторых случаях  $\varepsilon_{sc}^{calc}$  превышает  $\varepsilon_{sc}^{exp}$  в 1,02–1,05 раза. Такое положение вещей может иметь место в том случае, если принятая в нормах величина параметра  $\psi_s$  для балок с меньшим процентом армирования превышает его опытное значение. Однако существует общая закономерность, заключающаяся в том, что с повышением армирования разрывы между опытными и тео-

ретическими значениями деформаций бетона сокращаются, что может быть вызвано влиянием повышения армирования на уменьшение неоднородности деформаций бетона сжатой зоны.

Физически указанное приводит к выравниванию средних и пиковых деформаций сжатого бетона и, как следствие этого, к увеличению коэффициента неравномерности сжатия крайнего волокна  $\psi_{\epsilon}$ . Зависимость деформаций арматуры  $\epsilon_{st}^{an}$  от величины изгибающего момента приведена на Рис. 2. Здесь значения  $\epsilon_{st}^{an}$  получены по результатам поэтапного замера удлинений арматуры. Теоретическую величину деформаций  $\epsilon_{st}^{pac}$  вычисляли по формулам ДБН с использованием принятых в нормах параметров деформативности.

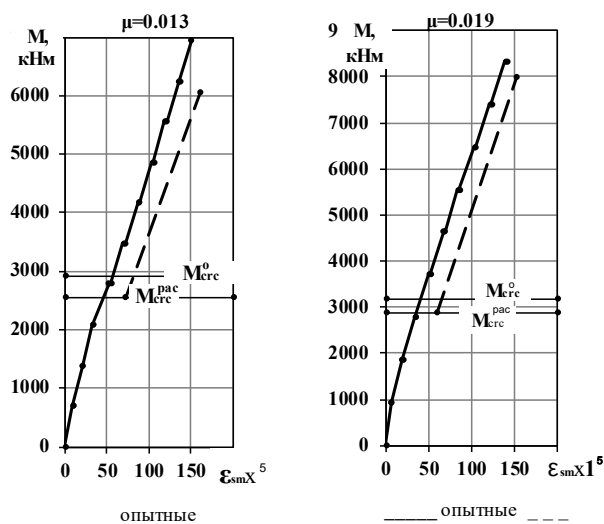


Рис. 2. Зависимость деформаций растянутой арматуры от изгибающего момента

Из приведенного выше графика  $\epsilon_{st} - M$  видно, что опытные значения деформаций арматуры практически на всех этапах загрузки меньше их расчётных значений в среднем на 73% для балок с процентом армирования  $\mu = 0,013$  и на 65% для балок с  $\mu = 0,019$ .

При нагрузке, близкой к моменту образования трещин в растянутой зоне бетона, происходило заметное развитие деформаций. Отмечено, что перед образованием трещин с увеличением нагрузки деформации в растянутой зоне резко возрастали. Первые трещины появились при нагрузках, составляющих для балок 1 серии (0,39–0,44)  $M_{st}^{an}$ , а для 2 серии – (0,56–0,61)  $M_{st}^{an}$ .

Предельные деформации бетона в растянутой зоне составили в среднем  $33 \cdot 10^{-5}$ , что в 1,5 раза превышает максимальное относительное удлинение, принятое в ДБН и равное  $2f_{ct,lim} / E_c$ .

Расчётный момент трещинообразования определяли по ДБН [5]. Анализ опытных и расчётных моментов трещинообразования (Таблица 2) показал, что для половины испытанных балок опытный момент на 3,2–4,8% превышает расчётный, а для другой половины – на 1,3% меньше. Соотношение опытных и расчётных моментов трещинообразования ( $M_{st}^{an} / M_{st}^{pac}$ ) в среднем составляет 1,03.

Ширина раскрытия трещин замерялась на боковых гранях балок на уровне центра тяжести растянутой арматуры. Измерения проводились начиная с нагрузки, при которой образовывалась трещина, и приблизительно до 0,8 от разрушающей. Средняя ширина раскрытия трещин вычислялась по данным 7–9 замеров.

Средняя ширина раскрытия трещин в зоне чистого изгиба балок при эксплуатационной нагрузке находилась в пределах 0,07–0,18 мм, увеличиваясь с уменьшением коэффициента армирования. Наибольшее значение  $a_{wc}$  при этой нагрузке составило 0,24 мм для балок 1 серии.

При анализе опытных значений ширины раскрытия трещин выявлена достаточно высокая изменчивость  $a_{wc}$ . Коэффициент вариации для  $a_{wc}$  составил 0,38, что находится в соответствии с обобщёнными данными экспериментов по лёгким бетонам.

Сравнение опытных значений  $a_{wc}$  с нормативными, вычисленными по формуле ДБН, показало, что нормативные превышают их в 1,2 раза. Это вполне справедливо, так как определяемое нормами значение  $a_{wc}$  является шириной раскрытия трещин с 95% обеспеченностью.

Анализ опытных данных расстояний между трещинами  $l_{wc}$  в зоне чистого изгиба балок показал, что эта величина не постоянна и изменяется в пределах  $\pm 50\%$  при среднем значении  $l_{wc}$  около 6 см.

Опытные прогибы балок 1 и 2 серии при действии эксплуатационных нагрузок составили 15,9–19,2 мм и 22,1–24,8 мм. Расхождение между опытными и расчётными прогибами находилось в пределах от 19,9 до 23,8%. Соотношение опытных и расчётных прогибов в среднем для балок 1 серии  $f^{an} / f^{pac} = 1,06$ , а для балок 2 серии –  $f^{an} / f^{pac} = 1,08$ .

**Выводы.** Для получения бетона хорошего качества рекомендуется использовать методику комплексного подхода, учитывающую технологические и эксплуатационные требования к бетону. Использование золы-уноса и карбонатного песка в легких бетонах является наиболее перспективным способом экономного потребления цемента и производства заполнителей.

Расчёт несущей способности изгибаемых элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем и кварцевом песке рекомендуется проводить по ДБН В.2.6-98:2009.

Расчёт трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем и кварцевом песке рекомендуется проводить по ДБН В.2.6-98:2009,

используя уточнённые значения расчётных параметров  $R_b$ ,  $R_{bt}$ ,  $E_b$ ,  $\tau$ ,  $\xi$ ,  $\varepsilon_{bcr}$ ,  $\varepsilon_{bult}$ .

Применение конструкционного керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем в изгибаемых элементах является перспективным и экономически целесообразным, так как позволяет снизить затраты на транспортирование и монтаж, а также стоимость конструкций.

#### Список литературы:

1. Кравченко С.А., Столевич И.А., Костюк А.И., Столевич А.С. Свойства керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. Вип. 21. Рівне, 2011. С. 32–37.
2. Рекомендации по учету комплекса технологических и эксплуатационных параметров, оптимизирующих свойства конструкционного керамзитобетона на карбонатном песке. Москва: Стройиздат, 1989. 67 с.
3. Кравченко С.А., Постернак А.А., Костюк А.И., Столевич И.А. Свойства керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем и карбонатном песке. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. Вип. 28. Рівне, 2014. С. 54–60.
4. Костюк А.И., Столевич И.А., Кравченко С.А., Столевич О.И. Исследование свойств керамзитобетона на цементно-зольном вяжущем и карбонатном песке. Проблемы сучасного будівництва: матер. Всеукр. Конф. молодих учених та студентів. Полтава, 2013. С. 120–124.
5. ДБН В.2.6 – 98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2011. 71 с.
6. Кравченко С.А., Постернак О.О. Несуча здатність та деформативність керамзитобетонних згинальних елементів. Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. Вип. 61. Одеса, 2016. С. 220–226.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА БАГАТОКОМПОНЕНТНОМУ СПОЛУЧНИКУ ЗА КОРОТКОЧАСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Дослідження технічної можливості та економічної доцільності використання керамзиту, кварцового піску і багатокомпонентного сполучника для бетону і залізобетону є важливим народно-господарським завданням. На підставі проведеного експерименту згинальних елементів, виготовлених із керамзитобетону на багатокомпонентному сполучникові, отримано дано щодо несучої здатності, тріщиностійкості і деформативності.*

**Ключові слова:** несуча здатність, деформативність, тріщиностійкість, легкий бетон.

#### THE STUDY OF FLEXIBLE ELEMENTS OF CONCRETE ON MULTICOMPONENT BINDER UNDER THE ACTION OF SHORT-TERM LOAD

*The study of the technical and economic feasibility of using expanded clay, quartz sand and multicomponent binder for concrete and reinforced concrete is an important national economic task. On the basis of the conducted experiment of the bend elements, made of expanded clay concrete on the multicomponent binder the data on the bearing capacity, crack resistance and deformability are obtained.*

**Key words:** bearing capacity, deformability, crack resistance, lightweight concrete.

**Самченко Р.В.**

Запорізька державна інженерна академія

**Юхименко А.І.**

Запорізька державна інженерна академія

## **ВРАХУВАННЯ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ ОСНОВ ЗА НАСЛІДКАМИ ЇХ ОБТИСНЕННЯ ФУНДАМЕНТАМИ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ УСУНЕННЯ ЇХ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ**

*У процесі довгострокової експлуатації будівель, споруд виникають їх деформації. Також відбувається обтиснення фундаментами ґрунтів зі зміною їхніх характеристик. За наслідками досліджень з уточнення змін характеристик ґрунтів визначено «нову» несучу здатність укріпленої основи фундаментів і зроблено висновок про доцільність підсилення основ після усунення деформованого стану. Зміна властивостей ґрунтів може впливати на технологічний процес усунення деформацій, тому рішення приймаються з урахуванням указаних обставин. Ліквідація крену розглянутої нахиленої будівлі успішно здійснена шляхом регульованої зміни жорсткості основи.*

**Ключові слова:** деформація будівель, укріплення основ, обтиснення ґрунтів, зміна властивостей, врахування зміни характеристик, ліквідація деформованого стану.

**Постановка проблеми.** Деформації будівель, споруд найчастіше відбуваються внаслідок погіршення ґрунтових умов основ фундаментів через вплив техногенних або природних чинників на характеристики ґрунтів. Тому для відновлення експлуатаційної спроможності деформованих об'єктів поряд з усуненням їх деформованого стану слід розглядати питання необхідності підсилення основ. Тут досить важливим є визначення резервів чи дефіциту несучої здатності наявної основи. Оскільки відновлення деформованого стану будівель, споруд нами запропоновано і здійснюється шляхом регулювання зміни жорсткості основи технологічним впливом нерівномірною перфорацією підстильного шару основи фундаменту, то при цьому необхідно враховувати такі обставини: по-перше, після усунення деформованого стану варто визначитись із доцільністю укріплення ґрунтів основ з урахуванням змін їхніх характеристик за довготривалого обтиснення фундаментами у процесі експлуатації; по-друге, зміна властивостей ґрунтів за довготривалого обтиснення може впливати на технологічний процес перфорування підстильного шару основи фундаменту, тому потрібно приймати рішення з урегулювання цієї обставини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оскільки у статті порушується питання, яке складається із двох частин, то, відповідно, розглянемо інформацію стосовно кожної з них.

*Методи ліквідації деформованого стану будівель, споруд.* Найбільш небезпечним видом деформації будівель є крени, особливо це стосується висотних споруд, зокрема димових труб. Найбільше нахилених споруд налічується на територіях із просадковими ґрунтами. Велика кількість будівель із кренами спостерігається також на підроблювальних територіях. Наслідки від кренів будівель, споруд є передусім негативними [1, с. 70].

Методи і технології з вирівнювання нахилених об'єктів можливо поділити на дві групи. До першої групи відносяться методи, які базуються на піднятті менш осілої частини будівель різними технологіями та пристроями. Найбільш дослідженим та впровадженим є метод піддомкращування. Приклад застосування поршневих гідродомкратів описаний [2, с. 54], але останні потребують значних об'ємів ніш для їх монтажу і мають інші недоліки. Більш керованим та ефективним методом піддомкращування для усунення кренів є застосування плоских гідродомкратів [3, с. 95]. Основними недоліками методу піддомкращування є те, що за вирівнювання об'єктів до конструкції коробки докладаються суттєві зосереджені зусилля. Крім того, для підйому будівлі і регулювання її просторового положення необхідно відділити надфундаментну частину від цокольно-фундаментної розрізкою за всіма несучими конструкціями. Це потребує суттєвого під-

силення цокольно-фундаментних конструкцій і влаштування опорних елементів, а також у цілях безпеки на періоди поетапного підйому каркасу будівлі потрібно відселяти мешканців.

Методи ліквідації кренів другої групи базуються, навпаки, на регульованому опусканні частини будівлі, яка у процесі експлуатації менше осіла. Приклад опускання частини будівлі випалюванням термопластичного матеріалу в цоколі фундаменту також описано [4, с. 58]. Інші технології цієї групи базуються на опусканні частини будівлі за рахунок часткового нерівномірного видалення ґрунту з-під фундаментів. У такому разі до коробки будівлі не докладаються зосереджені зусилля, а об'єктом впливу є її основа.

Існують різні технології перфорації основ будівель указаної групи: вибурування ґрунту похилими, горизонтальними свердловинами [5, с. 12]. Недолік таких технологій полягає в недостатньому регулюванні усунення кренів будівель різних конструктивних схем. Для суттєвого підвищення ефективності метод часткового видалення ґрунту з основ під фундаментами запропонований на рівні винаходу (патент України № 65455А) [6], що передбачає буріння системи горизонтальних свердловин змінних параметрів, який досить успішно застосований під час вирівнювання понад 60 нахилених будівель, споруд у різних регіонах України.

*Врахування змін властивостей ґрунту, набутих у процесі експлуатації деформованих будівель або реконструкції об'єктів.* За довгострокового обтиснення ґрунту основ деформованих будівель або об'єктів реконструкції зазнають змін властивостей, які варто враховувати як за необхідності зміцнення основ у процесі відновлення і реконструкції будівель, так і під час технологічних процесів усунення деформованого стану.

Питанням зміни розрахункового опору основ за довгострокового обтиснення ґрунтів фундаментами під час реконструкції займався професор О.П. Коновалов [7, с. 60]. Він запропонував методику з'ясування необхідності підсилення основ у процесі реконструкції після довгострокового обтиснення ґрунтів фундаментами реконструйованих будівель. При цьому слід визначатись із «новим» розрахунковим опором ґрунту з урахуванням зміни фізико-механічних характеристик.

Професор Ю.Л. Виникув зі своїми колегами дослідив і змодельовав напружено-деформований стан тривалого обтиснення замкнутих лесових основ [8, с. 240] та показав, що за умов коефіцієнта водонасичення  $S_r \geq 0,80$  і співвідношення

середнього тиску  $P$  під подошвою фундаменту до розрахункового опору  $R$  природного замкнутого ґрунту  $P/R \geq 0,7$  у процесі проектування реконструкції будівель така умова уможливує збільшення навантаження на наявні фундаменти до 27% без їх підсилення або зміцнення основи.

**Аналіз досліджень і публікацій** свідчить, що питанню врахування набутих властивостей ґрунтів основ фундаментів у процесі експлуатації будівель приділяється відповідна увага під час реконструкції об'єктів. Але ж не менш важливим є врахування зміни фізико-механічних характеристик під час відновлення деформованого стану будівель, споруд. Після усунення останнього виникає питання доцільності підсилення основи для забезпечення подальшої нормальної експлуатації. Його вирішення як у процесі відновлення деформованих будівель, так і під час реконструкції необхідно розглядати з урахуванням зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів основ наявних фундаментів.

**Постановка завдання.** Метою статті є, по-перше, на конкретному прикладі показати ефективну технологію усунення деформованого стану, проілюструвати вплив набутих змін властивостей на технологічний процес усунення такого стану, по-друге, перевірити доцільність підсилення основи будівлі після усунення деформованого стану.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Житловий 9-поверховий великопанельний будинок № 85 по вул. Калініна у м. Орджонікідзе (сьогодні м. Покров) Дніпропетровської області за період експлуатації (32 роки) зазнав поперечного крену з перевищенням допустимих норм у 3,2 разу. Фундаменти будинку стрічкові, залізобетонні, основою яких є природні лесоподібні суглинки I типу просадковості. Внаслідок суттєвого крену будинку було зупинено роботу ліфта через заклинювання кабіни в перекошеній шахті. Окрім того, були викривлені підлога, меблі, не відчинялись та не зачинялись вікна і двері в перекошених проїмах. Почались деформації стінових панелей у вигляді тріщиноутворення. Відтак було виділено кошти і прийнято рішення про вирівнювання будинку. За проведенням тендером був прийнятий проект з усунення крену шляхом буріння горизонтальних свердловин змінних параметрів, який був реалізований у 1999 р. Технологія вирівнювання будівельних об'єктів цим методом детально описана [9, с. 78]. Тут звернемо увагу лише на декілька умов такої технології, враховуючи, що усунення крену відбулося без

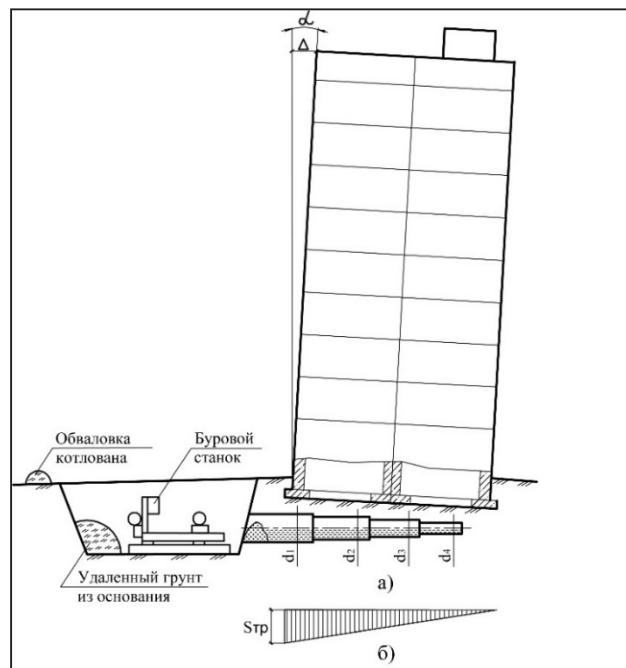


**Рис. 1. Відкриті стрічкові фундаменти у процесі вирівнювання нахиленого будинку**

відселення мешканців будинку, а відтак суттєво підвищувався рівень відповідальності. Осідання повинні відбуватися повільно, плавно, пропорційно змінюючись за всією довжиною фундаменту. Виконавцям потрібно мати декілька станків горизонтального буріння – чим їх більше, тим плавніше відбуватимуться осідання. У нашому випадку було 4 бурові станки, які рівномірно розміщувалися в котловані за довжиною крайньої стрічки фундаментів (Рис. 1). Конструкція станків горизонтального буріння розроблена нами на рівні винаходу [10].

За розробленим проектом згідно з технологічною схемою (Рис. 2) для вирівнювання поперечного нахилу котлован викопано з боку менш осілого фасаду уздовж будівлі для буріння свердловин змінних параметрів, тобто ступінчатих.

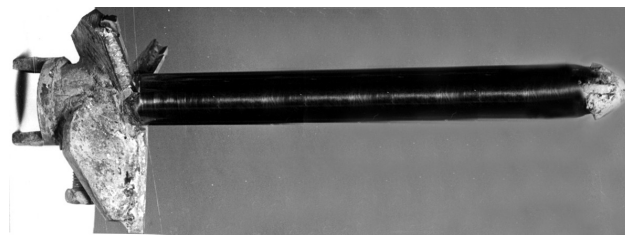
Всі ряди горизонтальних свердловин згідно із проектом мали бути пробурені на відстані 300 мм від підшови фундаменту. Початок буріння був успішним, а коли колона шнеків досягла середньої стрічки, останні зіткнулися з її бетонною основою. Шляхом відкопування шурфа у підвальному приміщенні і після аналізу ситуації виявили таке. Проходячи під зовнішньою стрічкою фундаменту, тобто в зоні ущільненого ґрунту внаслідок тривалого тиску фундаменту у процесі експлуатації будинку, колона шнеків переміщалась



**Рис. 2. Технологічна схема вирівнювання будівлі в поперечному напрямі:  
а) параметри поперечного крену і свердловини змінного перетину; б) епіюра необхідних технологічних осідань фундаментів**

строго в горизонтальному напрямку, а входячи в шар ґрунту з меншою щільністю за межами першої стрічки, бурова коронка зі шнеками стала зміщуватися вгору – у напрямку меншого супротиву бурінню. Таким чином, бурова коронка вийшла на нижній рівень бетонної основи середньої стрічки.

Указана обставина спонукала вжити двох заходів: по-перше, вдосконалити процес буріння за рахунок збільшення жорсткості з'єднань між шнеками і тим самим уникнути або суттєво зменшити можливість відхилення від горизонтального напрямку колони шнеків за зміни характеристик ґрунтового масиву; по-друге, на рівні винаходу застосувати лідерну подовжену направляючу бурової коронки (Рис. 3). Ці заходи забезпечили прямолінійність свердловини на довжині понад 15 м у ґрунтах за зміни умов буріння, навіть у разі переходу шнеків у зволожену зону.



**Рис. 3. Подовжена лідерна направляюча бурової коронки**

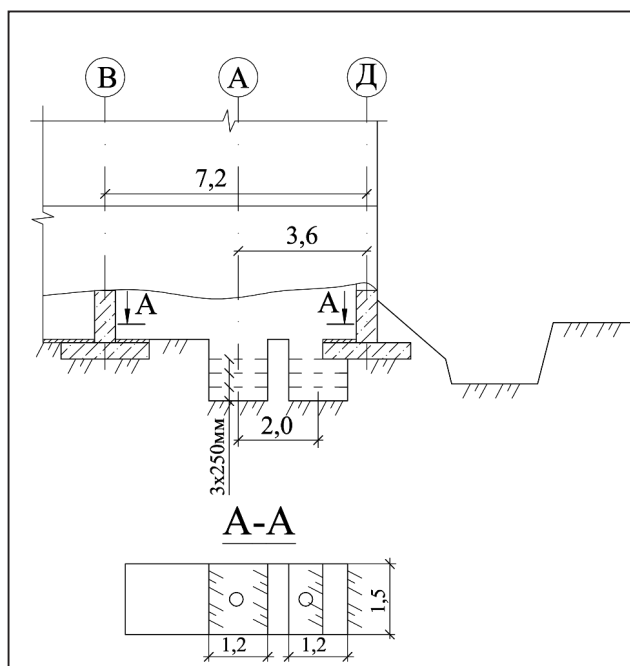
Таблиця 1

**Характеристики суглинка основи фундаментів  
на період проектування і через 32 роки експлуатації будинку**

| Термін визначення            | Щільність<br>$\rho_d$ , т/м <sup>3</sup> | Вологість<br>$W$ , д. од. | Питоме<br>зчеплення<br>$c$ , кПа | Кут внутр.<br>тертя<br>$\varphi$ , ° | Модуль<br>деформації<br>$E$ , Мпа |
|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Проектування                 | 1,55                                     | 0,17                      | 23                               | 18                                   | 13,8                              |
| Через 32 роки:<br>у вісі $D$ | 1,63                                     | 0,2                       | 28                               | 19                                   | 20,1                              |
| у вісі $A$                   | 1,59                                     | 0,21                      | 26                               | 19                                   | 17,8                              |

Скориставшись ситуацією, що склалася, було прийнято рішення дослідити зміну властивостей ґрунту під тривалою (понад 32 роки) дією тиску на нього ваги будівлі, який передавався безпосередньо через стрічкові фундаменти та на деякій відстані від їхньої плями.

Для відбору зразків ґрунту між зовнішньою (вісь  $D$ ) та середньою стрічкою (вісь  $B$ ) фундаменту у підвальному приміщенні було відкопано шурфи розмірами 1,2 x 1,5 м нижче підшв стрічки на 0,8 м. Схема відбору зразків ґрунту показана на Рис. 4, на якому видно, що відбір стандартних кілець площею 40 см<sup>2</sup> і об'ємом 140 см<sup>3</sup> виконували з-під фундаменту крайньої стрічки  $D$  та посередині між  $D$  і  $B$  на трьох рівнях із відстанню по 250 мм, по 3 кільця з кожного рівня.



**Рис. 4. Схема відбору зразків ґрунту під стрічками фундаменту та між ними після 32 років експлуатації будівлі**

Лабораторні дослідження відібраних зразків ґрунту виконано у Дніпропетровському інституті «ДніпроГНТІЗ», де згідно з вимогами відповідних стандартів визначались щільність ґрунту в сухому

стані, вологість, коефіцієнт питомого зчеплення  $c$  і кут внутрішнього тертя  $\varphi$ , а також модуль деформації  $E$  після тривалого обтиснення (32 роки) лесоподібного суглинка. Середні значення отриманих характеристик, а також властивості суглинка на період проектування будинку наведено у Таблиці 1.

Лабораторні дослідження відібраних зразків ґрунту виконано у Дніпропетровському інституті «ДніпроГНТІЗ», де згідно з вимогами відповідних стандартів визначались щільність ґрунту в сухому стані, вологість, коефіцієнт питомого зчеплення  $c$  і кут внутрішнього тертя  $\varphi$ , а також модуль деформації  $E$  після тривалого обтиснення (32 роки) лесоподібного суглинка. Середні значення отриманих характеристик, а також властивості суглинка на період проектування будинку наведено у Таблиці 1.

Аналіз результатів досліджень показує, що щільність лесоподібного суглинка в сухому стані  $\rho_d$  внаслідок обтиснення фундаменту протягом 32 років збільшилась майже на 7%, питоме зчеплення  $c$  ущільненого ґрунту зросло на 22%, модуль деформації  $E$  збільшився у 1,46 разу, кут внутрішнього тертя збільшився лише на 1°. Зафіксовано різницю в характеристиках ґрунту безпосередньо під стрічкою фундаменту та на відстані.

Вирівнювання будинку відбулося успішно шляхом управління зміною жорсткості основи відповідно до зміни розрахункових параметрів пробурених горизонтальних свердловин. Мешканці не відчували суттєвого дискомфорту проживання. Закінчення робіт з усунення крену вони помітили за вільним закриванням та відкриванням вікон і дверей та за відновленою роботою ліфта. Ще необхідно було визначитись із несучою здатністю основи будинку після усунення деформованого стану. Для перевірки виконання цієї умови розраховували «новий» опір ґрунту згідно з методикою [7, с. 60] та з урахуванням змінних (набутих) характеристик ґрунтів, наведених у Таблиці 1.

Згідно із проектом на житловий будинок, деформований стан якого відновлено усуненням

крену, середній тиск на підшву фундаменту становить  $P=0,22$  МПа, «новий» розрахунковий опір ґрунту після відновлення деформованого стану –  $R=0,253$  МПа, тобто  $P < R$ . Відновлена будівля експлуатується 19 років після застосування перелічених захисних мір. Жодних порушень нормальної експлуатації немає.

**Висновки.** Деформації будівель, споруд є поширеним явищем, яке необхідно терміново усувати.

Вирівнювання нахилених будівель управлінням жорсткістю основи, перфорацією шару під фундаментами, бурінням горизонтальних свердловин змінних параметрів є ефективною техно-

логією, яка успішно перевірена під час ліквідації кренів понад 60 об'єктів різного призначення.

Зміна властивостей ґрунтів за довгострокового обтиснення фундаментами у процесі експлуатації будівель, споруд може негативно впливати на технологічний процес усунення деформованого стану, що необхідно з'ясувати протягом технологічного процесу.

Після усунення деформованого стану потрібно перевірити необхідність підсилення основ з урахуванням зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів за довгострокового обтиснення фундаментами у процесі експлуатації будівель. За умови  $P < R$  додаткове укріплення основи не має сенсу.

#### Список літератури:

1. О геотехнологиях восстановления деформированных зданий и обеспечения их дальнейшей нормальной эксплуатации / Р.В. Самченко, И.Д. Павлов, А.И. Юхименко, В.С. Шокарев, И.В. Степура, А.В. Шокарев. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2014. С. 70–76.
2. Мавроди Ф.И., Саенко В.Г. Способ устранения крена дымовой трубы. Современные проблемы строительства. Донецк, 1997. С. 53–57.
3. Вирівнювання будинків домкратами / А.С. Трегуб, І.Н. Москаліна, В.П. Науменко, В.П. Мілявський. Будівельні конструкції: зб. наук. праць. Вип. 71. Кн. 2. Київ, 2008. С. 93–102.
4. Живодеров Н.А. Испытание и выравнивание жилого дома на ступенчатых оседающих подрабатываемых территориях. Современные проблемы строительства. Донецк, 1997. С. 57–60.
5. Косаренко Г.И., Казначеевский П.А., Яроцкий Г.Д. Крены зданий и методы их выправления в порядке обслуживания. Строительство и архитектура Узбекистана. 1980. № 12. С. 11–14.
6. Спосіб вирівнювання будівель, споруд: пат. 65455А Україна: Е 02Д 35/00. № 2003/10/9485; заявл. 21.10.03; опубл. 15.03.04; Бюл. № 3. 12 с.
7. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. Москва, 1988. 287 с.
8. До моделювання напружено-деформованого стану тривало обтиснених замкнених лісових основ / Ю.Л. Винников, О.В. Гранько, А.М. Пашченко, А.В. Яковлев. Будівельні конструкції: зб. наук. праць. Вип. 71. Кн. 1. Київ: НДІБК, 2008. С. 235–243.
9. Самченко Р.В. Особливості технології усунення кренів димових труб регулюванням жорсткістю основ. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків, 2014. С. 76–82.
10. Установка для проходки в грунтах: пат. 42283 Україна: Е 21 В 3/00. № u200901349; заявл. 18.02.09; Бюл. № 12. 6 с.

#### УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ ОБЖАТИЯ ФУНДАМЕНТАМИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ ПРИ УСТРАНЕНИИ ИХ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

*В процессе долгосрочной эксплуатации зданий, сооружений возникают их деформации. Кроме того, происходит обжатие грунтов с изменениями их характеристик. При этом по результатам исследования по уточнению изменений характеристик грунтов определяют «новую» несущую способность и делают вывод о целесообразности дополнительного усиления основания. Изменение свойств грунтов может влиять на технологический процесс при устранении деформаций, поэтому принимают решение об учете указанных обстоятельств. Ликвидация крена рассмотренного наклонного здания успешно выполнена путем регулируемого изменения жесткости основания.*

**Ключевые слова:** деформации зданий, укрепление оснований, обжатие грунтов, изменение свойств, учет изменения характеристик, устранение деформированного состояния.

#### TAKING INTO ACCOUNT THE CHANGES IN THE SOILS CHARACTERISTICS UNDER THE INFLUENCE OF PROLONGED DEFLECTION BY THE FOUNDATIONS DURING THE BUILDINGS OPERATION WHEN ELIMINATING THEIR DEFORMED STATE

*In the course of long-term buildings and structures operation some deformations may appear. Also, there is a soil deflection by the foundations with a change in their characteristics. According to the results of studies on specification of changes in soil characteristics, they are determined with the “new” bearing capacity of the fortified base of the foundations and conclude that it is expedient to amplify the bases after eliminating the deformed state. Changing the properties of substrates can affect the technological process in removing deformations, so they make decisions on taking into account these circumstances. The liquidation of the tilt of a building in question has been successfully implemented through an adjustable change in the stiffness of the base.*

**Key words:** buildings deformations, strengthening of bases, soils deflection, change of characteristics, taking into account changing of characteristics, liquidation of deformed state.

УДК 624.011

**Стоянов В.В.**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**Жгалли Ш.**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕТРОВЫХ И СНЕГОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Численное моделирование аэродинамических характеристик различных зданий и сооружений является достаточно трудной и ресурсоемкой задачей из-за конструктивных особенностей строительных объектов, имеющих, как правило, сложную геометрическую форму, а также из-за сложного нестационарного течения, образующегося в результате их обтекания. Наличие розы ветров предполагает выполнение не единичного, а целого ряда расчетов. Интерференция же спектра различных вихревых структур и масштабов между различными объектами еще более усложняет поставленную задачу. Поэтому точное моделирование предполагает использование эффективного, хорошо апробированного и верифицированного математического аппарата с привлечением высокопроизводительных вычислений. В последние годы приобретает актуальность научное направление в строительной аэродинамике, связанное с компьютерным моделированием ветрового воздействия на здания. Немаловажную роль при этом играет широкое распространение в практике строительства возведения высотных зданий многопролетных оболочек, относящихся к разряду уникальных сооружений. В качестве примера можно продемонстрировать турбулентное обтекание одиночного строительного объекта, имеющего форму куба. Данная задача представляет особый интерес для тестирования современных расчетных алгоритмов вычислительной гидродинамики.

В работе проводится расчетное исследование влияния моделей турбулентности  $k-\epsilon$ , исправных  $k-\epsilon$ ,  $k-\omega$ ,  $k_{kl}-\omega$ , SST и LES на описание процессов обтекания зданий. Задачей исследования было сопоставление данных численного моделирования с различными моделями турбулентности между собой и с данными эксперимента. Сравнительный анализ показал, что модели турбулентности DBN и  $k_{kl}-\omega$  и метод крупных вихрей LES достаточно хорошо согласуются с экспериментом в аэродинамической трубе.

**Ключевые слова:** аэродинамические характеристики, нестационарное течение, обтекание, вихревые структуры, ветровое воздействие, модели турбулентности, стандартная модель  $k-$ , DBN, стандартная модель  $k-$ , transition  $k-kl-$ , transition SST, LES.

**Постановка проблемы.** Большинство течений, встречающихся в природе и технике, турбулентные [1]. Для моделирования турбулентных потоков используются различные модели (алгебраические, с одним уравнением конвективно-диффузионного типа, с двумя уравнениями, с семью уравнениями и др.). Особое место в теории турбулентности занимает моделирование пограничного слоя около твердой поверхности. На точность результатов моделирования влияют многие факторы, такие как алгоритмы, граничные условия и модели турбулентности [2–4].

В данной статье сравниваются результаты вычисления с использованием различных исправных моделей  $k-\epsilon$  (т.е. Модели LK, модели MMK и модели  $k-\epsilon$  Дурбина), модели (LES) и других путем сравнения их с ранее полученными результатами экспериментов. Моделирование было

выполнено в условиях вычислительной области и граничных условий, показанных на рис. 1. Особое внимание уделяется точности вычисления в зоне за и над зданием.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известно, что стандартная модель  $k-\mu$  часто приводит к серьезным ошибкам в случае плохо обтекаемых тел, за счет переоценки  $k$  (турбулентной кинетической энергии) в некоторых зонах близко к поверхности тел [5–8]. Что касается усовершенствования модели  $k-\epsilon$ , на практике имеются четыре варианта исправленных моделей, которые приобрели популярность в аэродинамике зданий:

1. модель Kato-Launder (KL);
2. модель модифицированная Kato-Launder (MKL);
3. модель Murakami, Mochida и Kondo (MMK);
4. модель Durbin.

**Модель Kato-Launder (KL).** Kato и Launder в 1993 г. предложили исправленную модель k-ε (далее обозначаемую как LK-модель), которая решает проблему переоценки k путем изменения генерации k ( $P_k$ ) следующим образом [9]:

$P_k$  – генерация k

$$P_k = \nu_t S^2 \Omega, \quad (1)$$

где

$$\Omega = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)^2}, \quad (S^{-1}), \quad (2)$$

Однако эта модель имеет две точки, требующие пересмотра. В потоке, где  $\Omega / S > 1$ , выражение  $P_k$ , ур-(1) переоценивает  $P_k$  по сравнению со стандартной моделью k-ε (SKE). Чтобы избежать этой переоценки уравнения (1), следует использовать модели только в области, где  $\Omega / S < 1$ . Таким образом, получаем модифицированную LK-модель (MLK). Другой проблемой модели LK является математическая несогласованность в моделировании Рейнольдсовых напряжений  $-\overline{u_i u_j}$  и  $P_k$ .

В 1997 г. группа авторов (Murakami, Mochida, Kondo) предложили новую редакцию модели k-ε (модель MMK), которая скорректировала эти несогласованности модели LK, добавив модификацию не в выражение для генерации k ( $P_k$ ), а в выражение коэффициента турбулентной кинетической вязкости.

**Модель MMK.** При моделировании воздушного потока вокруг здания с применением стандартной модели k-ε результат турбулентной кинетической энергии k в верхней части здания выходит слишком велик, и задача модели MMK [10–11] состоит в корректировке k путем внесения изменения в коэффициент турбулентной кинетической вязкости.

В стандартной k-ε модель, коэффициент турбулентной кинетической вязкости  $\nu_t$  равняется:

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \quad (3)$$

В модели MMK,  $\nu_t$  равняется:

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \quad \text{где } \Omega / S > 1, \quad (4)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \cdot \Omega / S, \quad \text{где } \Omega / S < 1, \quad (5)$$

и  $P_k$  – генерация k

$$P_k = \nu_t S^2, \quad (6)$$

Как известно, в программном комплексе ANSYS-FLUENT отсутствует модель турбулентности MMK, что требует модифицировать модель k-ε путем разработки кода на языке C.

**Модель Durbin.** Тем не менее, Durbin в 1996 г. предложил другую модификацию. Коэффициент турбулентной кинетической вязкости  $\nu_t$  связан с масштабом турбулентных скоростей деформации и временным масштабом T следующим образом [12]:

$-\overline{u_i u_j}$  – рейнольдсовы напряжения.

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \sigma_k k - 2\nu_t S_{ij} - \frac{2}{3} \sigma_k k, \quad (7)$$

где  $S_{ij}$  – средняя скорость деформации,

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right), \quad (8)$$

В модели Durbin

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} T^* \quad \text{в модели k-ε это будет } \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} T^*, \quad (9)$$

где

$\frac{k^2}{\epsilon}$  – масштаб турбулентных скоростей деформации и  $T^*$  – временным масштабом.

$$T^* = \min \left( \frac{k}{\epsilon}, \frac{2k}{3\nu^2 C_\mu} \sqrt{\frac{3}{4S^2}} \right) = \min \left( \frac{k}{\epsilon}, \frac{\alpha}{\sqrt{3} S C_\mu} \right), \quad (10)$$

где,  $0 \leq \alpha \leq 2k$

и в случае  $\alpha = 1$  модель называют «первая модель дурбина», когда  $\alpha = 0.5$ , модель называют «вторая модель дурбина».

**Постановка задания.** Целью настоящей работы является исследование влияния моделей турбулентности k-ε, исправных k-ε, k-ω, k-kl-ω, SST и LES, на описание процессов обтекания зданий, а второстепенно – тестирование расчетной методики на доступных экспериментальных данных и разработка практических рекомендаций по использованию ANSYS FLUENT. Для достижения поставленных целей была разработана модель в ansys fluent, где вычислительная область представлена на рис. 1. Число Рейнольдса на H (высота здания) при  $U_H = 4.45$  м/с (скорость потока при z=H) составляло  $2.4 \times 10^4$ .

Для исследования несжимаемых стационарных течений в трехмерной обстановке применялись уравнения URANS при разных моделях тур-

Таблица 1

Длины закрученных струйных потоков

| Модель турбулентности         | Номенклатура | $X_R / b$ | $X_P / b$ |
|-------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| Стандартный k-ε               | SKE или k-ε  | 0.31      | 2.48      |
| Kato-Launder k-ε              | LK           | 0.43      | 2.2       |
| Murakami, Mochida и Kondo k-ε | MMK          | 0.51      | 2.6       |
| RNG k-ε                       | RNG          | 0.60      | 2.53      |
| Realizable k-ε                | Realizable   | 0.30      | 2.7       |
| Стандартный k-ω               | SKO или k-ω  | -----     | 2.6       |
| Transition k-kl-ω             | k-kl-ω       | 0.75      | 2.10      |
| Transition SST                | SST          | 0.7       | 2.8       |
| Метод крупных вихрей          | LES          | 0.58      | 2.05      |
| Durbin                        | DBN          | 0.6       | 2.6       |
| Испытания                     | Exp          | 0.54      | 1.48      |

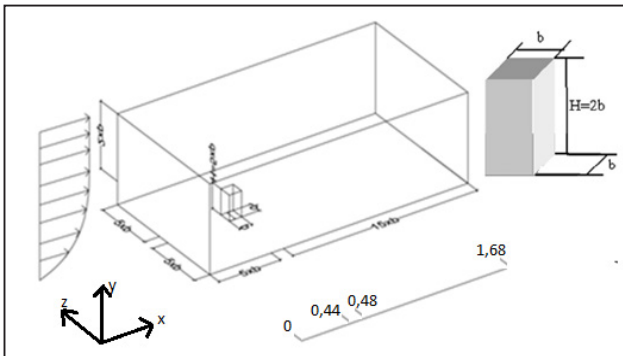


Рис. 1. Схема вычислительная область и граничные условия

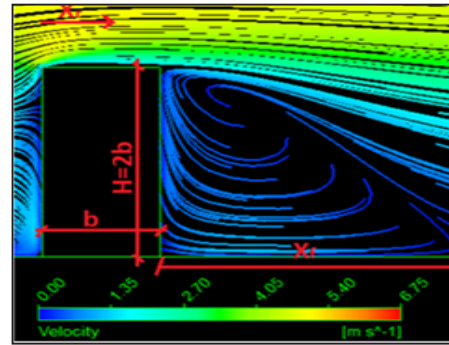


Рис. 2. Размеры закрученных струйных потоков

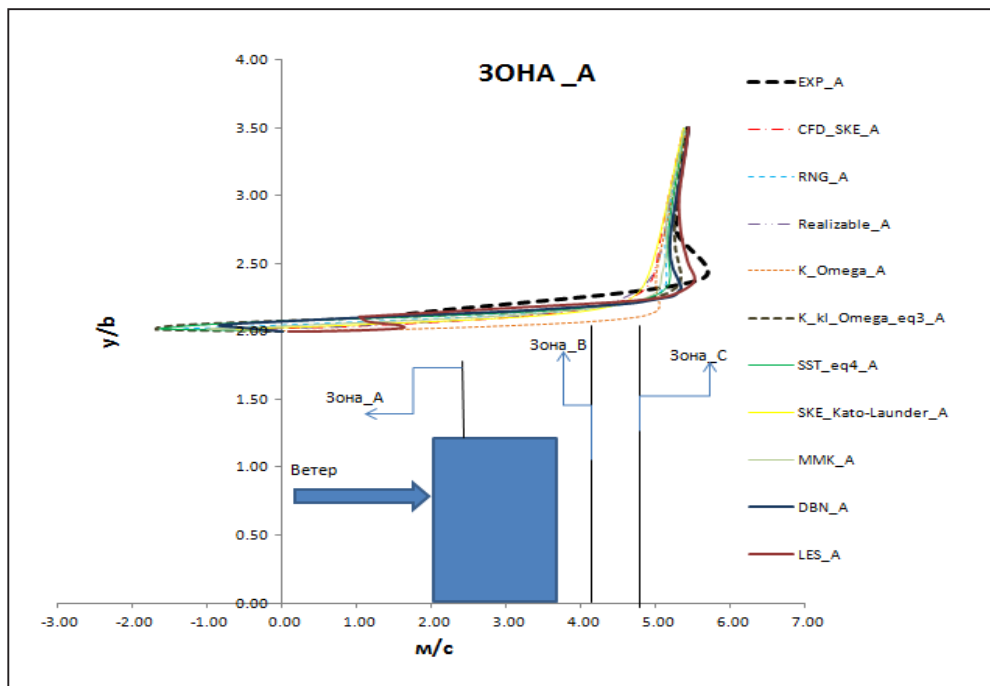


Рис. 3. Вертикальное распределение скорости ветра над зданием, зона А

булентности. Сетки построены в ANSYS ICEM CFD, общим количеством ячеек 1,3 млн ячеек. Промежуточный рост между соседними ячейками для всех сеток составляют 1.10, 1.02 и 1.10 впоследствии по  $x$ ,  $y$  и  $z$ .

**Изложение основного материала исследования.** В таблице 1 приведены длины закрученных струйных потоков для всех случаев исследуемых моделей турбулентности в области, где наблюдаются низкое давление, на верхней грани здания ( $X_p$ ) и в ближнем следе за зданием ( $X_p$ ) (рис. 2).

В результате наблюдается, что длина ( $X_p$ ) у всей модели турбулентности больше экспериментального значения. Следует отметить, что исправные модели  $k-\epsilon$  имеют тенденции переоценки длины ( $X_p$ ) больше, чем у стандартного  $k-\epsilon$ . Также длина ( $X_p$ ) у MMK больше, чем у

LK. Здесь следует обратить внимание на модель Transition  $k-kl-\mu$ , которая предсказывает значение ( $X_p$ ) точнее (табл. 1).

В случае модели LES оценивается ( $X_p$ ) больше экспериментальных значений, но гораздо более близкое согласие наблюдается с экспериментальным значением, хотя оно все же немного выше, но по сравнению с другими результатами модель LES является наиболее точной в предсказании длины ( $X_p$ ). На верхней грани здания длина ( $X_p$ ) идеально сходится с экспериментом в случае метода крупных вихрей LES, MMK, DBN, RNG. Различия между вариантами связаны с воспроизведением отрыва вихрей позади здания.

На рис. 3 представлено распределение вертикальной составляющей скорости потока ветра  $u_z$  над зданием, где видно, как модели Durbin,

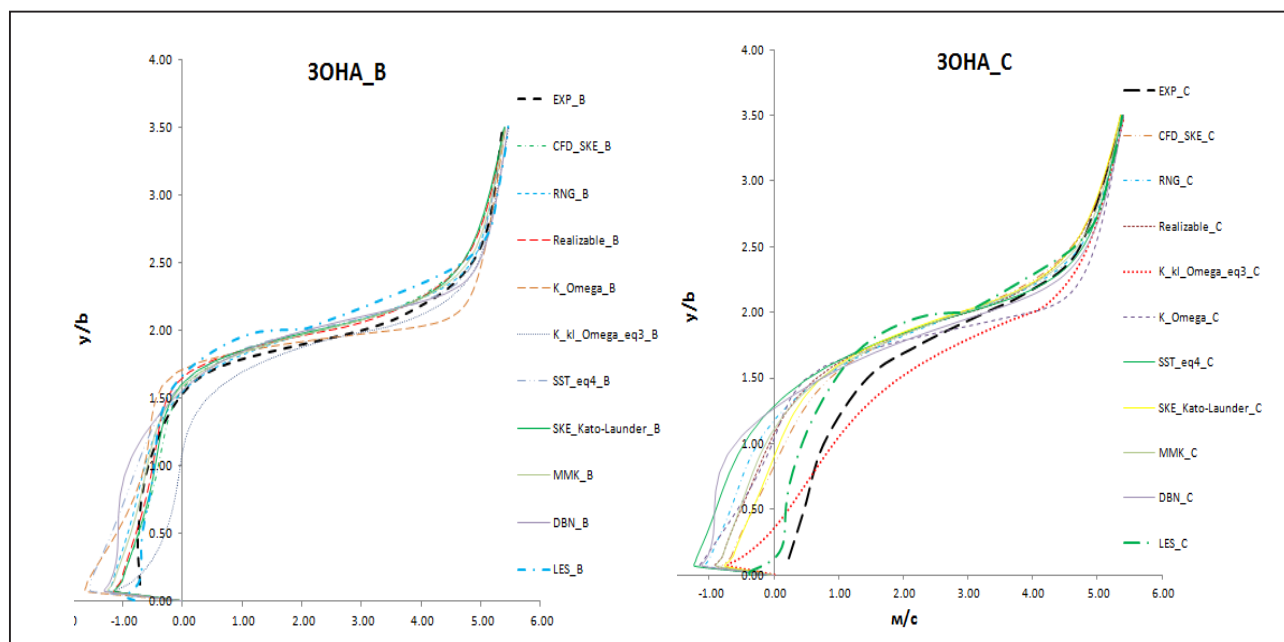


Рис. 4. Вертикальное распределение скорости ветра над зданием

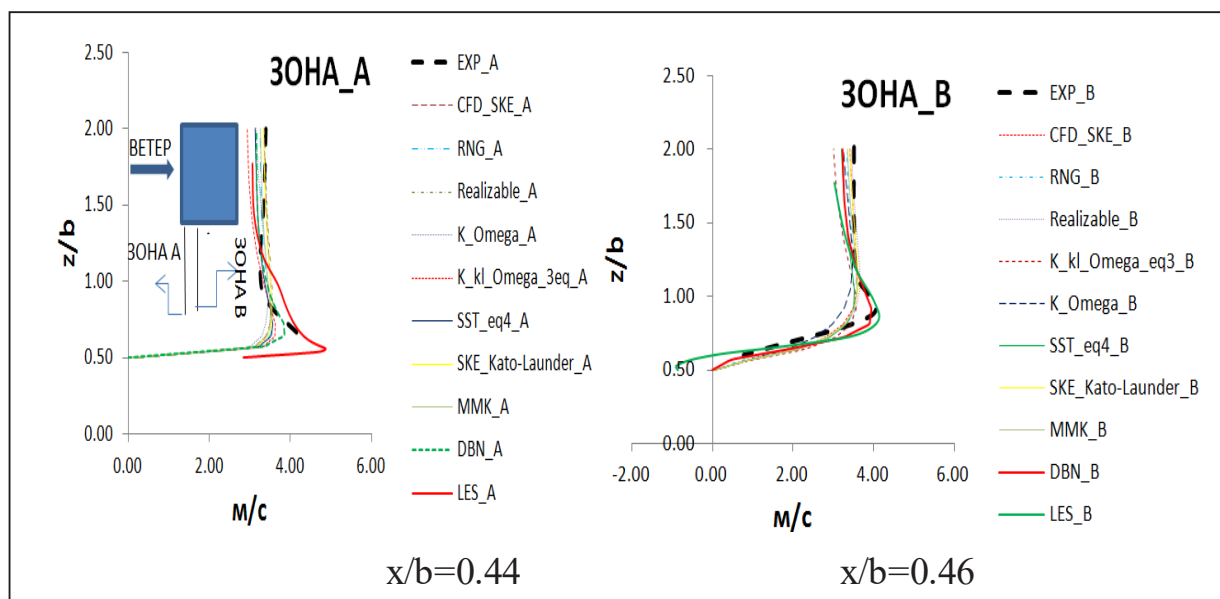
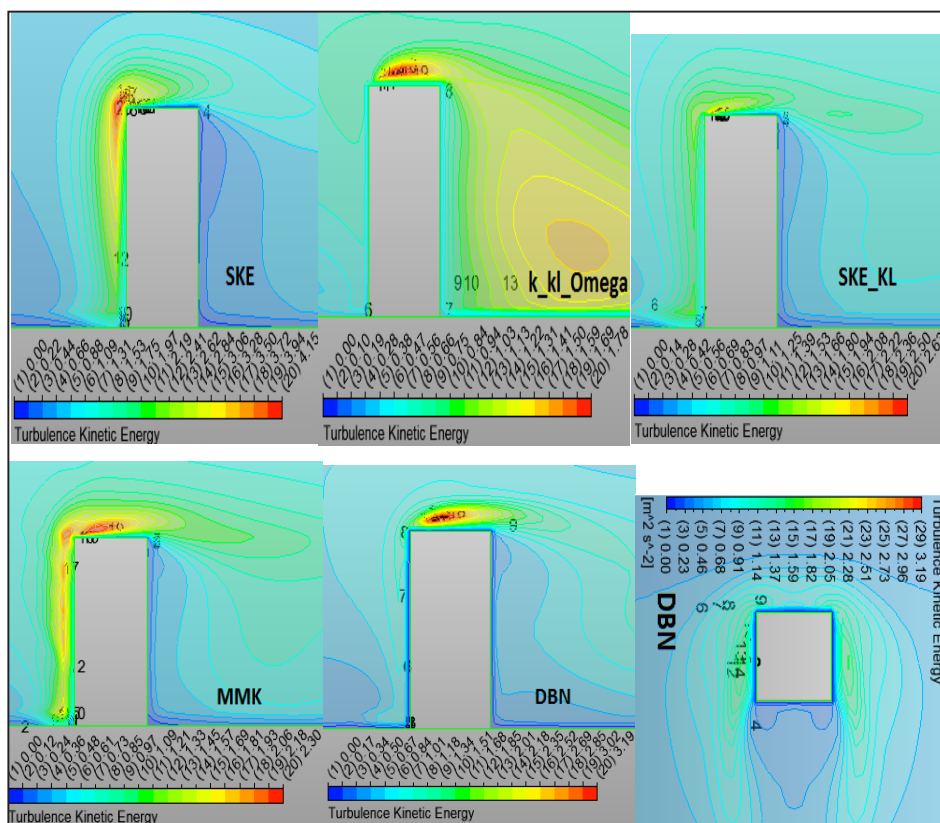
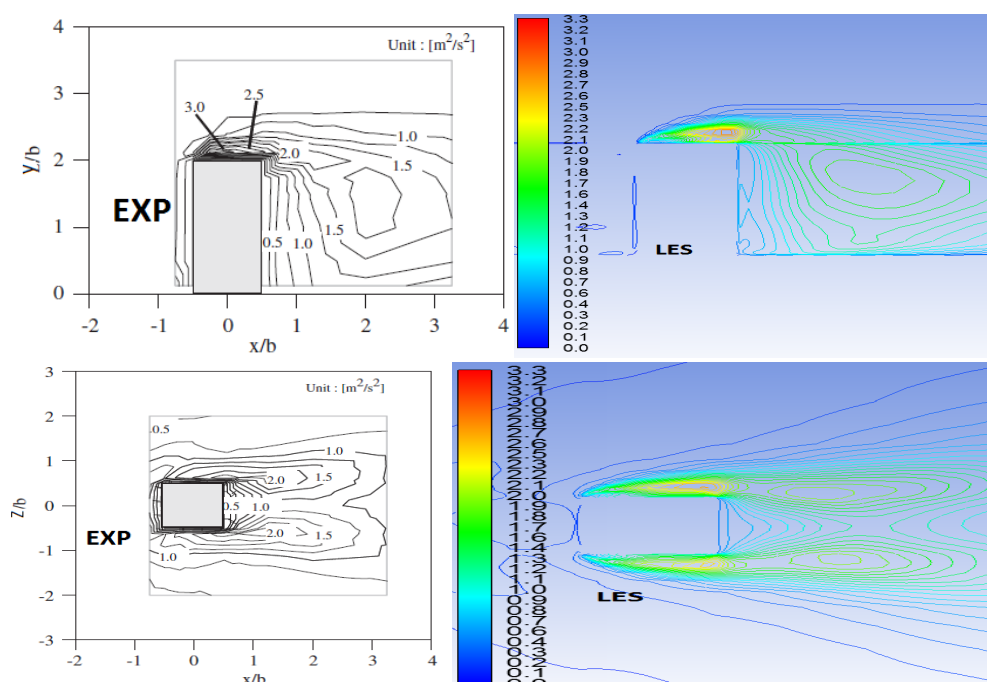


Рис. 5. Горизонтальные распределения скорости ветра близко к зданию

Transition k-kl- $\omega$  и LES хорошо вычисляют пиковые значения  $u_z$  над зданием при  $y/b \approx 2.4$ . Нарис. 4 значения для всех моделей выше зданием ( $y/b > 2$ ) сходятся хорошо с экспериментальными значениями. Однако существуют отличия в точности результатов по мере приближении к поверхности земли и удаления за зданием. В этой области значение скорости, полученных от исправных моделей k- $\epsilon$ , имеет более отрицательный характер, чем стандартная модель k- $\epsilon$ , а результаты по модели Durbin почти одинаковы с SKE.

Большие различия наблюдаются между результатами вычислений LES и k-kl- $\omega$  с остальными моделями в области рециркуляции за зданием. Закрученные струйные потоки у LES сильнее, чем у других, и форма структуры потока за зданием в эксперименте хорошо совпадает с результатом по LES.

Профили скорости ветра по моделям LES и DBN довольно схожи и достаточно хорошо согласуются с экспериментом вблизи здания. Однако некоторые различия, наблюдаемые по мере удаления от здания и по мере приближения к поверхности земли, и в LES и в k-kl- $\omega$  гораздо более

Рис. 6. Вертикальные изополя турбулентной энергии  $k$ Рис. 7. Вертикальные и горизонтальные изополя турбулентной кинетической энергии  $k$  в эксперименте и при LES

согласуются с экспериментом, чем результаты по DBN, что обеспечивает очень большие значения скорости обратного потока (рис. 5).

В области, где скорость выше 4,0, модель DBN выделяется среди других моделей своей достовер-

ностью, что показано также на рис. 5, по линии  $x/b=0.44$ , пиковые значения скорости ветра находятся в точке  $z/b \approx 0.6$ , где исправные модели плохо вычисляют скорость ветра, за исключением DBN. Такие же свойства наблюдаются по линии

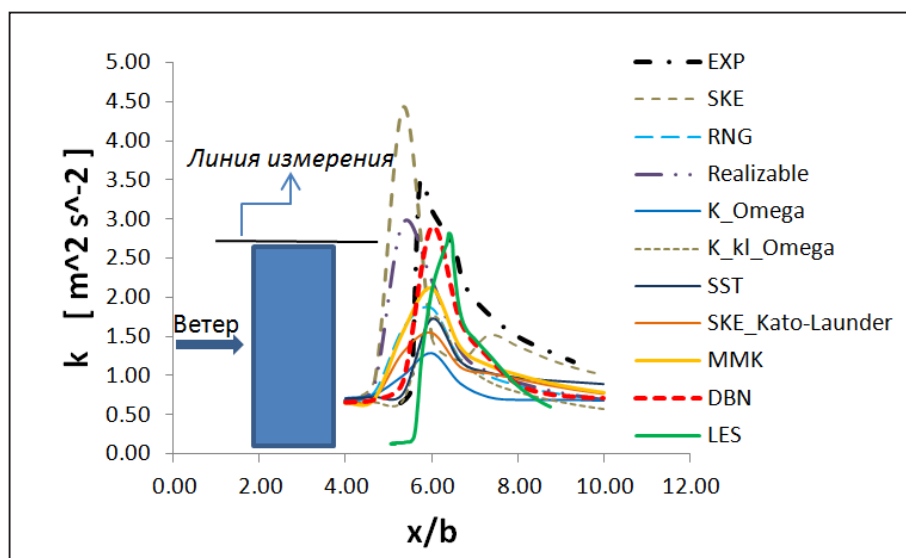
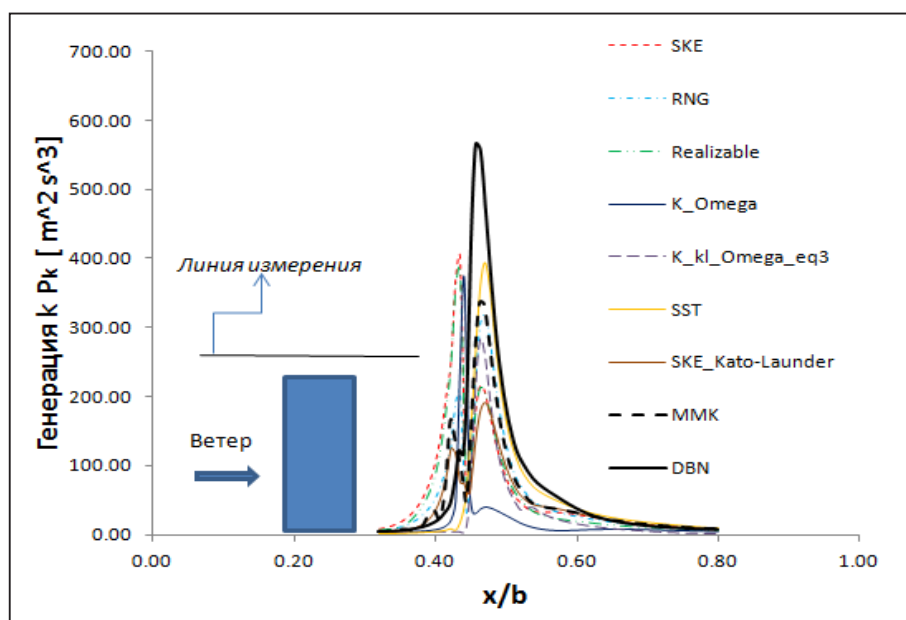


Рис. 8. Распределение турбулентной энергии над зданием вдоль потока

Рис. 9. Распределение генерация  $k (P_k)$  над зданием вдоль потока

$x/b=0.46$ , и результат по DBN, LES и  $k_{kl\_omega}$  больше согласуются с экспериментом.

Эти различия в изополях скоростей при различных моделях турбулентности тесно связаны с точностью предсказания турбулентной кинетической энергии  $k$  и коэффициентом турбулентной кинетической вязкости  $\nu_t$ , которые мы обсудим ниже.

На рис. 6 видно, как в зоне покрытий и при стандартной модели  $k-\epsilon$  турбулентной энергии  $k$  переоценивается в большую сторону и дает значение больше, чем у исправных моделей. Однако значения  $k$ , распределенных за зданием, во всех моделях вычисляются меньше, чем у эксперимента, за

счет пульсации ветра из-за отрыва вихрей кроме, модели  $k_{kl\_omega}$  и LES. Эта недооценка  $k$  провоцирует создание более крупной области ближнего следа потока за зданием в отмеченных моделях, чем в эксперименте (см. Табл. 1), потому что рассеяние импульса в поперечном направлении становится малым во многих моделях.

Вертикальные и горизонтальные изополя турбулентной кинетической энергии  $k$ , представленные ниже (рис. 7), показывает, как распределение  $k$  при LES очень похоже на распределение в эксперименте. И два максимальных значения  $k$ , что наблюдаются в эксперименте, также хорошо воспроизводятся в

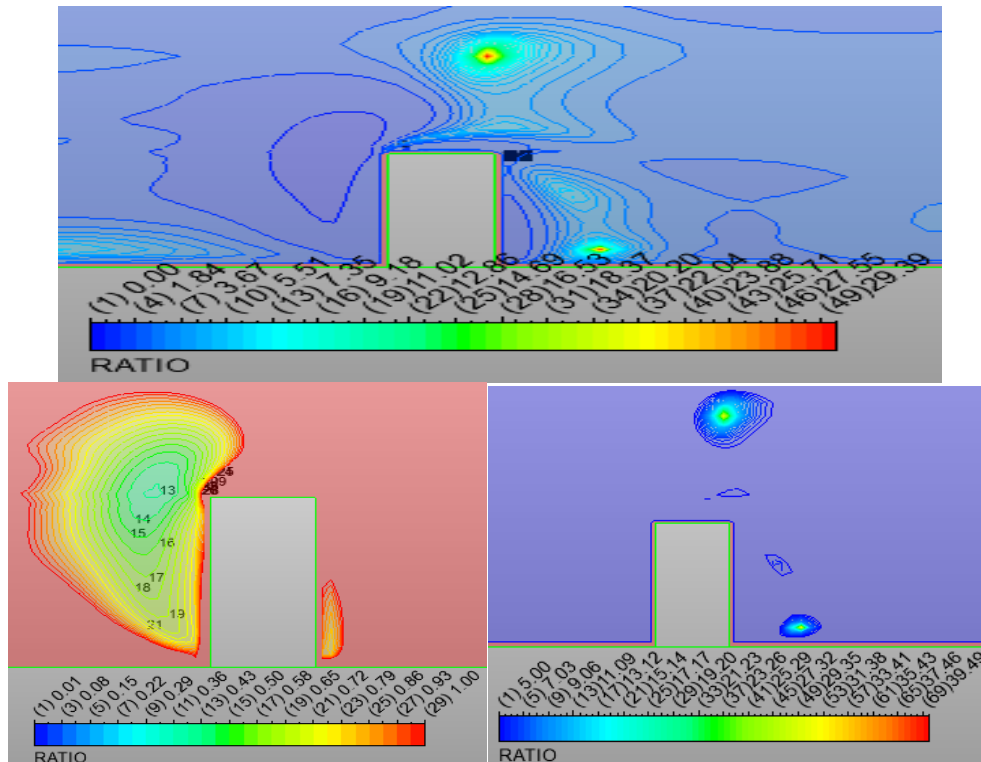


Рис. 10. Вертикальное распределение соотношения масштаба времени  $T_D/T_S$  (модель Durbin), слева область  $T_D/T_S < 1$ , справа  $T_D/T_S > 1$

LES. Следует отметить, что улучшение точности предсказания флуктуации скорости за зданием приводит к близкому согласованию длины закрученных струйных потоков и распределении скоростей в этой области (рис. 7), и длина струйных потоков в k- $\epsilon$  (DBN) намного больше, чем вычисления при LES, потому что в данной модели они воспроизводятся независимо от флуктуации во времени.

На рис. 8 представлено распределение k над покрытием вдоль потока, модель MMK, k\_omega, Realizable и стандартной модель k- $\epsilon$  показывают максимальные значения в зоне фасада здания, встречающегося с набегающим потоком, что не наблюдается в эксперименте. Что касается модели LK, видно, как вычисляют k вдоль потока над зданием с низшими значениями, чем в эксперименте. Эта недооценка влияет на вычисления за зданием, вследствие этого получается меньшее значение k при этих моделях. Но при DBN, LES демонстрируется более точное согласование с экспериментом в зоне над покрытием.

Распределение генерации (k) показано на рис. 9. Значение по SKE, MMK, SST, k\_kl\_omega намного больше в зоне переднего угла, чем у других моделей, кроме DBN. Эти последствия наблюдаются в модели MMK в основном из-за численной неустойчивости. Результаты других моделей

довольно схожи, хотя пиковые расположения по линии у всех моделей отличаются.

На рис. 9 показано распределение  $\bar{\rho}_k$  над крышей вдоль потока, где видны острые пики в области верхнего угла переднего фасада здания, аналогично рис. 8 с распределением турбулентной энергии. DBN показывает намного больше значения  $\bar{\rho}_k$  на крыше, чем другие модели. Разница  $\bar{\rho}_k$  в этой области влияет на распределение k, как упоминалось ранее.

Для MMK значения  $\bar{\rho}_k$  немного малы по сравнению со значениями у SKE вблизи верхнего переднего угла, но схема распределения довольно схожа. У MMK наблюдается хаотичное распределение  $\bar{\rho}_k$ , чего не происходит в других моделях.

В этой области DBN показывает намного меньшие значения  $\bar{\rho}_k$ . Это связано с тем, что временной масштаб T, вычисляемый по формуле (10), становится меньше из-за большого значения скорости деформации S в этой зоне.

На рис. 10 представлено вертикальное распределение соотношения масштабов времени и показаны области, где применяется временной масштаб Дурбина. Как видно, масштаб времени Дурбина используется только вокруг переднего верхнего угла фасада здания, то есть модель SKE применяется к другим регионам при DBN.

Именно поэтому точность прогнозирования потока позади здания в DBN почти такая же, как в SKE. Область, в которой это применяется, прямо соответствует области, где критерий «реализуемость» не удовлетворяет распределению  $\epsilon^2$  в других моделях.

Другими словами, DBN обеспечивает более точные результаты, чем другие модели k-ε, в некоторых отношениях из-за улучшения распределения нормальных напряжений вокруг переднего угла здания.

Из приведенных здесь результатов применимость DBN к потоку вокруг здания является удовлетворительной. Тем не менее, тенденция к проверке длины закрученных струйных потоков позади здания все еще остается в DBN. Этот недостаток тесно связан с провалом генерации флуктуации скорости из-за отрыва вихрей, что, видно при вычислении по LES.

#### Выводы.

1. Модель SKE не воспроизводит закрученных струйных потоков на покрытия. Этот недостаток был исправлен исправными моделями k-ε. Однако большинство исправных моделей переоценивает длину закрученных струйных потоков позади здания по сравнению с моделью SKE.

2. Модель, предложенная Дурбином, показала большую согласованность с экспериментом среди исправных моделей k-ε. Переоценка длины закрученных струйных потоков в модели k-ε Durbin была улучшена при расчетах по LES. Это улучшение произошло главным образом за счет флуктуации скорости из-за отрыва вихрей за зданием, что хорошо воспроизводится в LES.

3. Следует также заметить, что модель  $k_{kl}$  omega хорошо воспроизводит закрученные струйные потоки на покрытии и за зданием, поэтому есть смысл применить его в дальнейших расчетах.

#### Список литературы:

1. Волков К.Н, Емельянов В.Н, Зазимко В.А. Турбулентные струи – статические модели и моделирование крупных вихрей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 360 с.
2. Мазо А.Б. Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости. Учебное пособие. Казань: КГУ, 2007. 106 с.
3. Осадчая Д.М. Математическое моделирование в задачах управления пограничным слоем при различных режимах течения: дис. Казань, 2005. 116 с.
4. Луцкий А.Е., Северин А.В. Простейшая реализация метода пристеночных функций. Препринты ИПМ им.М.В.Келдыша. 2013. No 38. 22 с.
5. Mohammadi B., Pironneau O. Analysis of the K-Epsilon turbulence model. M. John Wiley & Sons, 1994.
6. Jones W.P., Launder B.E. The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence. Internat. J. Heat Mass Transfer 15 (1972). no. 2. P. 301–314.
7. Chen Y.S., Kim, S.W. Computation of turbulent flows using an extended k-ε turbulence closure model: NASA CR-179204, 1987.
8. Bardina J.E., Huang P.G., Coakley T.J. Turbulence Modeling Validation, Testing and Development. NASA reports –April 1997.
9. Kato M. and Launder B.E. The Modeling of Turbulent Flow Around Stationary and Vibrating Square Cylinders. Proc. 9th Symposium on Turbulent Shear Flows. Kyoto, August 1993. Pp. 10.4.1–10.4.6.
10. Murakami S. Current status and future trends in computational wind engineering. J. Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. 1997. 67 & 68. PP. 3–34.
11. Tsuchiya M., Murakami S., Mochida A., Kondo K. & Ishida Y. Development of a new k-ε model for flow and pressure fields around bluff body. J. Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. 1997. 67 & 68. PP. 169–182.
12. Durbin P.A. Near-wall turbulence closure modeling without damping functions. Theoretical and Computational Fluid Dynamics. 1991. 3(1):1–13.

#### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТІ ПІД ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ ВІТРОВИХ І СНІГОВИХ ВПЛИВІВ НА БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ

*Чисельне моделювання аеродинамічних характеристик різних будівель і споруд є досить важким і ресурсоємким завданням через конструктивні особливості будівельних об'єктів, що мають, як правило, складну геометричну форму, а також через складну нестационарну течію, що утворюється в результаті їх обтікання. Наявність рози вітрів передбачає виконання не одиничного, а цілого ряду розрахунків. Інтерференція ж спектра різних вихрових структур і масштабів між різними об'єктами ускладнює поставлену задачу. Тому точне моделювання передбачає використання ефективного, добре апробованого і верифікованого математичного апарату із залученням високопродуктивних обчис-*

лень. В останні роки набуває актуальності науковий напрям у будівельній аеродинаміці, пов'язаний із комп'ютерним моделюванням вітрового впливу на будівлі. Важливу роль при цьому відіграє поширення в практиці будівництва зведення висотних будівель багатопрольотних оболонок, що належить до розряду унікальних споруд. Як приклад можна продемонструвати турбулентне обтікання одиночного будівельного об'єкта, що має форму куба. Це завдання становить особливу зацікавленість для тестування сучасних розрахункових алгоритмів обчислювальної гідродинаміки.

У роботі проводиться розрахункове дослідження впливу моделей турбулентності  $k-\varepsilon$ , справних  $k-\varepsilon$ ,  $k-\omega$ ,  $k_{kl}-\omega$ , SST та LES на опис процесів обтікання будівель. Завданням дослідження було зіставлення даних чисельного моделювання з різними моделями турбулентності між собою і з даними експерименту. Порівняльний аналіз показав, що моделі турбулентності DBN та  $k_{kl}-\omega$  та метод крупних вихрів LES досить добре узгоджуються з експериментом в аеродинамічній трубі.

**Ключові слова:** аеродинамічні характеристики, нестационарна течія, обтікання, вихрові структури, вітровий вплив, моделі турбулентності, стандартна модель  $k-$ , DBN, стандартна модель  $k-$ , transition  $k-kl-$ , transition SST, LES.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF TURBULENCE MODELS FOR SIMULATION OF WIND AND SNOW EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES

Numerical modeling of aerodynamic characteristics of various buildings and structures is quite difficult and resource-intensive task because of the design features of building objects, which, as a rule, have a complex geometric shape, and also because of the complex unsteady flow formed as a result of their flow around. Presence of a wind rose requires execution of a number of calculations, not a single one. The interference of the spectrum of different vortex structures and scales between different objects further complicates the task posed. Therefore, accurate simulation involves the use of an effective, well-tested and verified mathematical device with the use of high-performance computing. Therefore, accurate simulation involves the use of an effective, well-tested and verified mathematical device with the use of high-performance computing. Therefore, accurate simulation involves the use of an effective, well-tested and verified mathematical device with the use of high-performance computing. In recent years, the scientific direction in construction aerodynamics, connected with computer modeling of wind impact on buildings, is becoming relevant. An important role in this is played by the wide spread in the practice of building the construction of high-rise buildings of multi-span shells belonging to the category of unique structures. As an example, one can demonstrate turbulent flow around a single building object that has the shape of a cube. This problem is of particular interest for testing modern computational algorithms of computational fluid dynamics.

In this work, a computational study of the influence of  $k-\varepsilon$  turbulence models,  $k-\varepsilon$ ,  $k-\omega$ ,  $k_{kl}-\omega$ , SST and LES, which are in service, on the flow of buildings is performed. The task of the study was to compare the data of numerical simulation with different models of turbulence between each other and with the experimental data. A comparative analysis showed that the turbulence models DBN and  $k_{kl}-\omega$  and the large LES vortex method are in good agreement with the experiment in the wind tunnel.

**Key words:** aerodynamic characteristics, unsteady flow, vortex structures, wind impact, turbulence models, standard model  $k-\varepsilon$ , DBN, standard model  $k-\omega$ , transition  $k-kl-\omega$ , transition SST, LES.

**Трач Р.В.**

Національний університет водного господарства та природокористування

## ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕРОБОК ПІД ЧАС РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ У БУДІВНИЦТВІ

*У статті проаналізовано наявні визначення та класифікації переробок у будівництві. Переробки можуть виникати як результат помилок, упущень і змін. Ключовими негативними наслідками впливу переробок на продуктивність проекту є перевитрата коштів, перевищення часу реалізації проекту, незадоволення команди проекту, порушення договірних вимог, зниження якості. Зазначені негативні наслідки можуть хвилюподібно поширюватися і на інші аспекти діяльності будівельних підприємств і призвести до зниження прибутку, втрати частки ринку і репутації, збільшення обороту ресурсів і робочої сили, зниження продуктивності, погіршення партнерських відносин.*

**Ключові слова:** переробки, управління проектом, будівництво, помилки, упущення, зміни.

**Постановка проблеми.** Щоб мати уявлення про серйозність проблем, пов'язаних із переробкою у будівельній галузі, звернемо увагу на обсяг фінансування з державного та місцевих бюджетів за статтею «Капітальне будівництво». Так, у 2017 році було профінансовано капітальних робіт на 9,8 млрд. грн., станом на 01.10.2018 року 22,8 млрд. грн. [1]. У дослідженні, проведеному Construction Industry Development Agency in Australia, CIDA [2], було виявлено, що прямі витрати на переробку у будівництві становлять близько 10% від вартості проекту. Отже, з певним наближенням можна стверджувати, що переробки у будівництві, профінансовані з бюджетних коштів, складають 0,98 млрд. грн. у 2017 та 2,28 млрд. грн. у 2018 році. І це лише витрати на фінансування з державного та місцевих бюджетів за статтею «Капітальне будівництво», без врахування витрат за статтею «Капітальний ремонт» та фінансування капітального будівництва і ремонтів за рахунок приватних коштів.

Попри те, що розрахунок витрат на переробки може бути складною і трудомісткою задачею, необхідність її розв'язання вже назріла. Будівельні переробки можуть проявлятися у витратах понаднормового часу, додаткових ресурсів (включаючи робочу силу, матеріали і обладнання), затримок у графіку виконання робіт, скорочення обсягу проекту або зниження якості. Негативними наслідками цих факторів можуть стати зниження прибутку, втрата частки ринку і репутації, збільшення обороту ресурсів і робочої сили, зниження продуктивності, більш високі витрати і часто судові суперечки між учасниками проекту [3].

Переробка має як прямий, так і непрямий вплив на виконання будівельних проектів. При неякісно

керованих проектах загальні наслідки переробки можуть бути рівні або навіть перевищувати оціночну маржу прибутку. Крім того, трапляються випадки, коли хвилюві ефекти переробки будуть перенесені на інші аспекти, оскільки репутація, мотивація і відносини, додатковий час, грошові витрати, матеріали, а також додаткова праця для повторного виконання робіт були прямим наслідком переробок у будівельному проекті. Крім того, переробки можуть негативно вплинути на продуктивність проектних і будівельних організацій та сприяти перевитраті часу і коштів. Ситуація, при якій кінцева вартість проекту перевищує початкові оцінки, відома як перевитрата коштів. Перевитрата коштів – основна проблема при реалізації будівельних проектів і є регулярною особливістю у будівельній галузі, особливо для країн, що розвиваються [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Construction Industry Institute, СІІ [5] визначили переробки у будівельному проекті, як дії, які повинні виконуватися кілька разів і призводять до скасування вже виконаної роботи. Також переробки можна описати як непотрібні зусилля для проведення повторних дій, якщо роботи з самого початку були виконані неправильно [6]. Наступне визначення «Переробки – це процес, метою якого є приведення будівельного об'єкта у відповідність до вимог шляхом доробок або виправлень» [7].

Переробка є одним з основних факторів зростання загальних витрат і перевищення графіка виконання будівельного проекту. Однак дані про переробки зазвичай досить важко отримати [8], а різні інтерпретації та визначення переробок привели до відсутності однакової класифікації та кількісної оцінки [9].

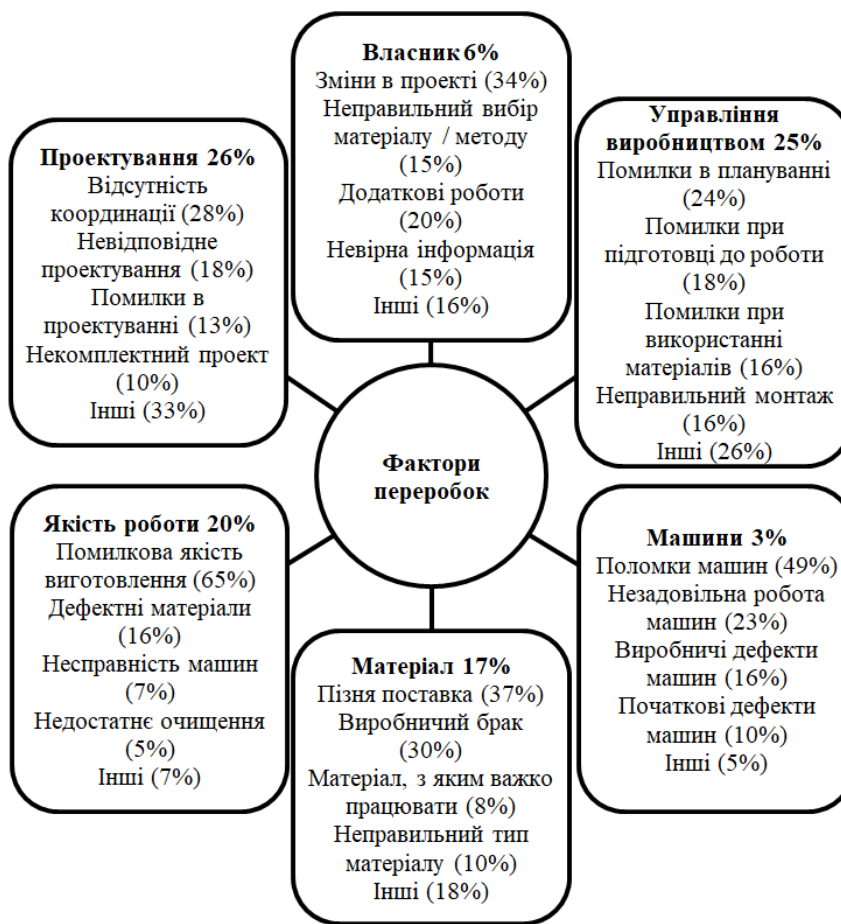


Рис. 1. Фактори виникнення переробок та їх частка у затратах

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Переробки у будівництві можуть бути наслідками помилок, упущень і змін.

Помилки – це будь-який елемент або активність у системі, яка виконується неправильно і призводить до відхилення. Упущення – це будь-яка частина системи, включаючи проектування, будівництво і виготовлення, яка була пропущена, що і призвело до відхилення.

Зміни, по суті, є спрямованими діями, які змінюють встановлені наявні вимоги. Зміни можуть вплинути на естетику, функціональні і експлуатаційні аспекти будівлі, обсяг і характер робіт.

Проаналізуємо причини виникнення переробок. Згідно з дослідженням, проведеним Love P. та Edwards D.J. [10], основні причини переробки можна розділити на три групи:

1. Пов'язані з власником.
2. Пов'язані з проектуванням.
3. Фактори, пов'язані з будівництвом, включаючи фактори управління проектом і субпідрядниками.

До факторів, пов'язаних із власником можна віднести: відсутність досвіду і знань в області проектування і процесу будівництва; відсутність фінансування; відсутність участі власника в управлінні проектом; неадекватний інструктаж; погане спілкування з консультантами з проектування; невідповідності у контрактній документації. Недоліки у комунікації між власником і членами проектної групи можуть привести до помилок і пропусків у проектній документації. Для якісної і своєчасної реалізації проекту члени проектної групи повинні спілкуватися і працювати разом.

Відсутність координації та інтеграції з боку команди розробників призводить до недоліків на етапі проектування і посилює причини переробки. Неефективне використання інформаційних технологій в управлінні та передачі інформації збільшує кількість переробок, які відбуваються у проекті. У дослідженні, проведеному Love P. і Li H. [11], було визначено причини і вартість переробки при будівництві житлових будинків та промислових об'єктів. Дослідження показало, що слабка координація

і інтеграція між членами проектної групи ускладнюють проходження потоку інформації між ними. При підготовці проектної документації інженери використовували технології САПР, а архітектори використовували ручні системи і у результаті частина рисунків була зроблена з помилками розмірів і з пропущеною необхідною інформацією.

Факторами, що пов'язані з підрядником, можуть бути: неефективна управлінська практика окремих фірм, що беруть участь у проектах, неадекватний нагляд, збитки через неувважність при виконанні робіт, низький рівень кваліфікації будівельників, вибір неякісних матеріалів, нездатність багатьох керівників правильно планувати роботу і здійснювати належну діяльність. Від зусиль з боку генерального підрядника багато у чому залежать ефективна робота команди управління проектом і успіх проекту у цілому.

На рисунку 1 відображена класифікація причин переробок та їх вплив на витрати. Дані були отримані Josephson P.E та ін. [12] за результатами семи тематичних досліджень, проведених у Швеції.

У [13] автором була детально проаналізована сучасна наукова література і були виявлені можливі причини переробок. Причини були класифіковані і кодифіковані таким чином, щоб вони були структуровані і зрозумілі. Перший блок – це безпосередньо етап реалізації проекту, під час якого відбувається переробка, а саме: проектування або будівництво. Другий блок – це тип переробки (помилки, зміни та інше).

Надалі за результатами анкетування підприємств будівельної галузі причини переробок були ранжовані за ступенем впливу на витрати.

На етапі проектування основними причинами були: зміни у проекті з ініціативи підрядника; зміни у проекті з ініціативи власника; відсутність координації між учасниками реалізації проекту; зміни у проекті, пов'язані з фінансовими і економічними чинниками.

На етапі будівництва: пізня поставка матеріалів і обладнання; зміни з ініціативи власника; поломки або дефекти машин; зміни методів будівництва з метою поліпшення конструктивності; зміни методів будівництва через умови будівельного майданчика.

**Висновки.** Отже, ключовими негативними наслідками впливу переробок на продуктивність проекту можуть бути перевитрата коштів, перевищення часу реалізації проекту, незадоволення команди проекту, порушення договірних вимог, зниження якості. Зазначені негативні наслідки можуть хвилеподібно поширюватися і на інші аспекти діяльності будівельних підприємств і призвести до зниження прибутку, втрати частки ринку і репутації, збільшення обороту ресурсів і робочої сили, зниження продуктивності, погіршення партнерських відносин. У статті досліджено наявні у літературі класифікації причин виникнення переробок: за джерелами виникнення, пов'язані суб'єктами виникнення, пов'язані з етапами проекту, за джерела та етапами проекту.

#### Список літератури:

1. Видатки бюджету України. [Веб-сайт]. URL: <http://cost.ua>. <http://cost.ua/budget/expenditure/elements/#88>
2. CIDA (1995). *Measuring Up or Muddling Through: Best Practice in the Australian Non-Residential Construction Industry*, Construction Industry Development Agency and Masters Builders Australia, Sydney, Australia, pp. 59-63.
3. Li H., Love PED, Drew D., *Modelling the effects of prolonged overtime work on project cost and quality*, Engineering Construction and Architectural Management, 2000., 7 (3), 211-221.
4. Eden C., Williams T., Howick S., *The role of feedback dynamics in disruption and delay on the nature of disruption and delay (D & D) in major projects*, Journal of the Operational Research Society, 2000., 51 (3), P. 291-300.
5. Endut IR Akintoye, A. and Kelly J. (2005), *Cost and time overruns of projects in Malaysia*, Proceedings of the 2nd Scottish Conference for Postgraduate Researchers of the Built and Natural Environment (PRoBE) 16-17 November, Glasgow Caledonian University.
6. CII (2001). *An investigation of field rework in industrial construction*, Research Summary, Construction Industry Institute, Austin, Texas, USA.
7. Love PED and Li,H. (2000). *Quantifying the causes and costs of rework in construction*, Construction Management and Economics, 18 (4), pp. 479-490.
8. Ashford JL (1992). *The management of quality in construction*, E & F Spon, London.
9. Yung P. & Yip, B. (2010). *Construction quality in China during transition: A review of literature and empirical examination*, Int. J. Project Manage. 28 (1): 79-91.
10. Love P. and Edwards D.J. (2004a), *Determinants of rework in building construction projects*, Engineering, Construction and Architectural Management, 11 (4): 259-274.

11. Love P. and Li H. (2000), Quantifying the causes and costs of rework in construction, *Construction Management and Economics*, 18 (4): 479-490.
12. Josephson P.E., Larsson B. and Li H. (2002). Illustrative benchmarking rework and rework costs, *Journal of Management in Engineering*, 18(2), pp. 76-83.
13. Mastenbroek YC (2010), Reducing rework costs in construction projects, Published Bachelor's degree Thesis, University of Twente.

#### **ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЕРЕДЕЛОК ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*В статье проанализированы существующие определения и классификации переделок в строительстве. Переработки могут возникать как результат ошибок, упущений и изменений. Ключевыми негативными последствиями влияния переделок на производительность проекта является перерасход средств, превышение времени реализации проекта, недовольство команды проекта, нарушение договорных требований, снижение качества. Указанные негативные последствия могут волнообразно распространяться и на другие аспекты деятельности строительных предприятий и привести к снижению прибыли, потери доли рынка и репутации, увеличение оборота ресурсов и рабочей силы, снижение производительности, ухудшение партнерских отношений.*

**Ключевые слова:** переработки, управление проектом, строительство, ошибки, упущения, изменения.

#### **CAUSES OF REWORK ON THE CONSTRUCTION PROJECT**

*The article analyzes the existing definitions, sizes and causes of reworks in construction. Alterations in construction may occur as a result of errors, omissions and changes. Key negative consequences of the impact of rework on project performance are cost overruns, excess project time, dissatisfaction of the project team, violation of contractual requirements, and quality deterioration. These negative consequences can spread to other aspects of the construction companies and lead to lower profits, loss of market share and reputation, increased turnover of resources and labor, reduced productivity, deterioration of partnerships.*

**Key words:** rework, project management, construction, errors, omissions, changes.

## ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.4

**Мамонов К.А.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

### ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ РЕГІОНУ

*Територіальний розвиток має багатоаспектний характер і включає вплив різних факторів. У наявних наукових розробках відсутні єдині підходи до визначення територіального розвитку використання земель регіону. Для забезпечення територіального розвитку регіону не вказані просторові, містобудівні, екологічні фактори. Увага фокусується на економічних аспектах територіального розвитку та призводить до дисбалансів і гальмування представленого процесу. У статті запропоновано визначення територіального розвитку використання земель регіону, що характеризується як сукупність просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних факторів, взаємодія яких призводить до досягнення якісного нового стану земельних відносин.*

**Ключові слова:** територіальні громади, геопросторові фактори, земельні відносини, земля, стейкхолдер.

**Постановка проблеми.** На забезпечення розвитку використання земель регіонів здійснюють вплив територіальні аспекти. У цьому контексті слід відзначити, що територіальний розвиток має багатоаспектний характер і включає вплив різних факторів. Зокрема, на думку фахівців, у сфері регіональної демографічної політики у територіальному розвитку регіонів відбуваються процеси, які характеризуються зниженням чисельності населення, їх значної міграції, що пов'язано із низькими соціально-економічними умовами, некерованістю та стихійністю демографічного розвитку, відсутністю цілеспрямованої демографічної політики, скорочення якісних характеристик людського потенціалу [1].

У процесах зростання власних повноважень регіонів, особливо у частині створення та розвитку об'єднаних територіальних громад, особливого значення набуває використання земель, які є основним джерелом, що забезпечує, зокрема, створення можливостей поповнення місцевих бюджетів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З огляду на сучасні умови, невирішеність комплексу проблем, важливим є формування та реалізація напрямів територіального розвитку використання земель регіону, забезпечення їх прогнозування. Поряд з цим у наявних наукових розробках відсутні єдині підходи до визначення територіального розвитку використання земель

регіону. Зокрема, на важливість економіко-географічних факторів, що впливають на територіальний розвиток регіонів, вказано у роботі [1]. При цьому особливе значення має формування та реалізація демографічної політики, яка на сучасному етапі має деструктивний характер. Відбуваються процеси, пов'язані зі скороченням чисельності населення, його міграцією у інші країни внаслідок внутрішніх і зовнішніх диспропорцій, поглиблення негативних явищ.

На важливість економіко-географічних факторів для забезпечення територіального розвитку регіону вказано також у роботі [2], де відзначено: «суть географічності полягає у вивченні зв'язків явищ <...> не лише в просторі, але й в часі, не лише поряд один з одним, але і в послідовності стадій їх розвитку» [2].

Визначення геопросторових факторів для забезпечення територіального розвитку представлено у розробках [3; 4; 5; 6].

У дослідженні [7] зазначені зовнішні фактори, що впливають на територіальний розвиток регіонів:

- макроекономічні фактори, враховуючи рівень інфляції, безробіття, розмір тарифів на енергоносії;
- формування та використання нормативно-правової бази;
- напрями та особливості державного регулювання територіального розвитку регіону;
- забезпечення міжбюджетних відносин;
- вплив зовнішньоекономічних факторів.

**Формулювання цілей статті.** Поряд із цим для забезпечення територіального розвитку регіону не вказані просторові, містобудівні, екологічні фактори. Крім того, фокусування уваги лише на економічних аспектах територіального розвитку призводить до дисбалансів і гальмування представленого процесу.

Для забезпечення регіонального розвитку деякі науковці будують відповідні моделі:

- еколого-економічна: формуються природні ресурси, визначаються напрями їх використання, з огляду на їх вплив на екологічний стан, виявляються виробничо-господарські зв'язки;

- інноваційно-інвестиційна: визначаються напрями формування та здійснення інвестицій, з огляду на рівень їх інноваційності;

- інноваційна: встановлюються напрями та особливості формування науково-технічного потенціалу, мультиплікатори інноваційного розвитку регіонів;

- кластерна: характеризуються територіально-галузева близькість, науково-дослідні центри, доступ до знань, інформації, технологій і нововведень, інвестиційна привабливість, рівень державно-приватного партнерства, замкненість виробничого циклу;

- мобілізаційно-інноваційна: визначаються напрями формування регіонального й інноваційного потенціалів;

- сталого розвитку: соціалізація, державне регулювання, суспільна відповідальність, екологічність, безпека, інформатизація, власність, корпоративна система, ринкове регулювання, алокація ресурсів, інтелектуалізація, транснаціоналізація [8].

**Виклад основного матеріалу.** У представленому дослідженні основна увага фокусується на економічних та інноваційно-інвестиційних факторах, що забезпечують територіальний розвиток регіонів. Проте не знижує комплексність та достовірність розробки, оскільки територіальний розвиток включає широке коло факторів, які об'єднуються у групи:

- просторові;
- містобудівні;
- екологічні;
- інвестиційні.

У визначенні розвитку регіонів, реалізуючи комплексний підхід, науковці встановлюють взаємодію між соціальним, господарським, ресурсним й екологічним потенціалами території [9].

На соціальних і економічних компонентах розвитку регіонів вказано у роботі [10].

Слід зазначити, що у контексті територіального розвитку регіону заслуговує на увагу розробка [11], де відзначено важливість просторових характеристик: «поняття регіонального та місцевого розвитку найчастіше стосується просторового масштабу розвитку або дій на вказаному масштабі території. <...> це питання зводиться не стільки до просторового облаштування, скільки до «низового» характеру динаміки розвитку» [11].

Територіальний розвиток пов'язаний із категоріями прогрес, модернізація, деградація, стагнація, що характеризує його рівні [12]. Незрозуміло, яким чином взаємодіють представлені категорії у забезпеченні територіального розвитку регіонів, що не враховують просторові та інші характеристики.

На стейкхолдерних факторах, що забезпечують взаємодію між «органами самоврядування, регіональними та державними суб'єктами управління, що забезпечують раціональне сполучення соціальних, економічних та екологічних елементів простору життєдіяльності людей для повного та доступного задоволення різноманітних потреб усіх верств населення» [13].

У забезпеченні територіального розвитку регіонів заслуговують на увагу точки зору У. Пауелл і Л. Сміт-Дор, які характеризують його з позиції формування та використання «соціально інтегрованих, дрібних, децентралізованих виробничих одиниць» [14]. Перевагами представленого підходу є можливості врахування соціальних, виробничих, державних, управлінських факторів, які взаємодіють на основі формування та реалізації інтегральної системи. Це дає змогу зробити висновок про застосування системного підходу до визначення напрямів територіального розвитку.

У результаті аналізу основних положень регіональних програм розвитку земельних відносин в Україні визначені напрями їх формування та реалізації:

- обґрунтування шляхів і засобів розв'язання проблеми;
- завдання програми;
- основні напрями розвитку земельних відносин.

Причому основна увага фокусується на формуванні інформаційно-аналітичного забезпечення земельних відносин на регіональному рівні, яке базується на інвентаризації земель, створенні напрямів їх розподілу, що враховують економічні, екологічні та соціальні аспекти регіонального розвитку. Слід вказати на удосконалення та імплементацію нормативно-правового забезпечення територіального розвитку використання земель регіонів.

Крім того, у результаті аналізу регіональних програм розвитку земельних відносин слід зазначити, що на територіальний розвиток використання земель регіонів здійснюють вплив просторові, містобудівні, інвестиційні та екологічні фактори. У цьому контексті заслуговують на увагу розробки [15, с. 48–51; 16, с. 75–97; 17, с. 79–115; 18, с. 108–137; 19, с. 70–84]. Слід вказати на визначену систему просторових, містобудівних, інвестиційних факторів, що впливають на використання земель міст [20].

У розробках автора вказано на необхідність визначення представлених факторів у системі використання земель крізь призму оцінних процедур, кадастрової інформації, здійснення моніторингу [21, с. 247–252; 22, с. 328–335; 23, с. 55–62; 24, с. 138–142; 25, с. 278–285; 26, с. 58–61].

У розробці [27] визначаються напрями та особливості містобудування для забезпечення управління територіальним розвитком. Причому у цьому процесі визначається вплив екологічних та соціальних факторів, що створює систему територіального розвитку міста. Для забезпечення територіального розвитку визначається збалансування впливу соціально-економічних та містобудівних факторів, де інструментами виступають «розроблення і дотримання вимог містобудівної документації регіонального та місцевого рівнів, а саме: схем планування територій; генеральних планів населених пунктів; планів земельно-господарського устрою; регіо-

нальних і місцевих правил забудови; містобудівних кадастрів населених пунктів» [28, с. 42–50].

На екологічних факторах та напрямках їх формування і взаємодії у системі територіального розвитку фокусується увага у роботах [29, с. 144; 30, с. 284; 31, с. 250; 32].

У роботах [33, с. 252; 34, с. 75; 35, с. 139; 36, с. 243; 37; 38, с. 107] для формування системи територіального розвитку визначаються фактори управління містобудівною діяльністю.

Встановлена роз'єднаність теоретичних підходів до визначення територіального розвитку використання земель регіону, де основна увага фокусується лише на окремих аспектах, зокрема на просторових, містобудівних, інвестиційних або екологічних або комбінації деяких з них. Представлені підходи не дають змогу системно вирішити проблему створення теоретико-методологічної основи визначення та оцінки територіального розвитку використання земель, розробки відповідного механізму його забезпечення.

**Висновки.** У результаті аналізу наявних теоретико-методичних положень запропоновано визначення територіального розвитку використання земель регіону, що характеризується як сукупність просторових, містобудівних, інвестиційних та екологічних факторів, взаємодія яких призводить до досягнення якісного нового стану земельних відносин порівняно із минулим, з огляду на соціальні, інституційні, управлінські особливості та рівень взаємодії стейкхолдерів, що функціонують у сфері використання земель регіону.

#### Список літератури:

1. Територіальний розвиток та регіональна політика в Україні / НАН України. ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України». Серія «Проблеми регіонального розвитку». Наук. редактор В.С. Кравців. Львів, 2015. 246 с.
2. Саушкин Ю.Г. Географическая наука в прошлом, настоящем, будущем. М., 1980. С. 13.
3. Топчієв О.Г. Основи суспільної географії: навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2001. С. 84.
4. Немець Л.М., Олійник Я.Б., Немець К.А. Просторова організація соціально-географічних процесів в Україні. К–Х.: РВВ ХНУ, 2003. С. 13.
5. Мезенцев К.В. Суспільно-географічне прогнозування регіонального розвитку: монографія. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. С. 93.
6. Шаблій О.І. Суспільна географія: теорія, історія, українознавчі студії. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2001.
7. Єрошкіна О.О. Територіальні природно-економічні відмінності як об'єктивна основа територіального розподілу праці і регіонального розвитку. URL: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/db/2009-2/doc/2/13.pdf>
8. Томарева-Патлахова В.В. Моделі регіонального розвитку у контексті економічних реформ. Держава та регіони, 2013. С. 76–80. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=19&cad=>
9. Буянова М.Э. Оценка региональных рисков регионов Южного федерального округа. Регионология. 2006. № 3. С. 20–32. С. 20.
10. Скуфьина Т., Баранов С. Региональное развитие России в свете циклически-волновых представлений. Федерализм. 2007. № 1. С. 29–48, С.32–33
11. Борушак М. Проблеми формування стратегії розвитку туристичних регіонів: монографія. Львів: ІРД НАН України, 2006. 288 с. С. 57.

12. Скуфьина Т., Баранов С. Региональное развитие России в свете циклически-волновых представлений. Федерализм. 2007. № 1. С. 29–48. С. 30.
13. Просторовий розвиток регіону: соціально-економічні можливості, ризики і перспективи: монографія. НАН України, ін-т регіональних досліджень; за ред. д.е.н., проф. Л.Т. Шевчука. Львів, 2011. 256 с. С. 22.
14. Пауэлл У., Смит-Дор Л. Сети и хозяйственная жизнь. Западная экономическая социология: хрестоматия современной классики. М.: РОССПЭН, 2004. С. 229.
15. Осітнянко А.П., Мамедов А.М. Проблеми управління територіальним розвитком міста. Региональные проблемы архитектуры и градостроительства. Сб. научн. трудов. Одесса: Город мастеров, 1999. С. 48–51.
16. Мамедов А.М., Осітнянко А.П., Савчук А.О. Визначення цінності території в залежності від системи просторових взаємодій міських землекористувачів. Містобудування та територіальне планування, вип. 4. К.: КНУБА, 1999. С. 75–97.
17. Мамедов А.М., Осітнянко А.П. Моделирование просторовых зв'язків у місті. Містобудування та територіальне планування, вип. 7. К.: КНУБА, 2000. С. 79–115.
18. Осітнянко А.П., Сушко С.В. Врахування містобудівних факторів та обмежень при розробці інвестиційних проектів реконструкції житлових будинків. Містобудування та територіальне планування, вип. 10. К.: КНУБА, 2001. С. 108–137.
19. Осітнянко А.П. Реконструкція інженерної інфраструктури міста і економічна ефективність міських землекористувачів. Містобудування та територіальне планування, вип. 11. К.: КНУБА, 2002. С. 70–84.
20. Осітнянко О.П. Оптимізація управління територіальним розвитком міста: автореферат дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.23.20. Київський національний університет будівництва і архітектури. К., 2002. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=>
21. Мамонов К.А., Пиркова О.В. Оцінка нерухомого майна: теоретичні аспекти та напрями застосування. Комунальне господарство міст. Харків: Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Вип. 111, 2013. С. 247–252.
22. Мамонов К.А. Оцінка стану та використання підземної нерухомості. Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. К., КНУБА, 2016. Вип. 59. 516 с. С. 328–335.
23. Мамонов К.А. Визначення моніторингу земель у системі землеустрою України. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науково-технічний збірник. К.: НТУУ, 2016. Вип. 97. 224 с., С. 55–62.
24. Мамонов К.А., Штерндок Е.С. Класифікація просторових факторів, що впливають на вартість земель мегаполісу. Комунальне господарство міст. Харків: Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. Серія: Технічні науки та архітектура. 2017. Вип. 134. 168 с. С. 138–142.
25. Мамонов К.А., Корнієць А.В. Формування інформаційного забезпечення геоecологічного моніторингу використання земель регіону. Науковий вісник будівництва. Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури. Т. 91. № 1. 2018. с. 278–285.
26. Мамонов К.А., Корнієць А.В. Визначення геоecологічного моніторингу використання земель міст. Сучасні аспекти формування ринку нерухомості: вітчизняний та міжнародний досвід: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Харків, 9 листопада 2017 р.). Х.: ХНУМГ, 2017. 121 с. С. 58–61.
27. Мещеряков В.В. Містобудування як складник управління територіальним розвитком міста. Державне управління: удосконалення та розвиток. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=>
28. Дудкіна О. Планування території: аспекти збалансованого розвитку регіонів. Українська наука: минуле, сучасне, майбутнє. Вип. 19, ч. 1. с. 42–50. URL: <http://dspace.tneu.edu.ua/bitstream/316497/5513/1/Дудкіна%20О..pdf>
29. Кучерявий В.А. Природная среда города. Львов: изд-во при Львов. ун-те ИО «Вища шк.», 1984. 144 с.
30. Маслов Н.В. Градостроительная экология: учеб. пос. для строит. вузов. М.: Высш. шк. 2003. 284 с.
31. Шкодовський Ю.М. Методологічні основи екологічної реабілітації архітектурного середовища: дис. ... д-ра архітектури: 18.00.01. Х., 2007. 250 с..
32. Шкодовський Ю.М. Екологічна реабілітація урбаністичного середовища як механізм державного регулювання розвитку територій. URL: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/db/2011-1/doc/7/07.pdf>
33. Галятин М.Ю. США: правовое регулирование использования земель. М.: Наука, 1991. 252 с.
34. Гусаков В., Валетта У. Регулювання використання і забудови територій населених пунктів (зонінг). К.: Падко, 1996. 75 с.
35. Дехтяренко Ю.Ф. Регулювання земельних відносин у місті. К.: Основи, 1997. 139 с.
36. Вакулєнко В.М., Дехтяренко Ю.Ф. Економіка міст: Україна і світовий досвід. К.: Основи, 1997. 243 с.
37. Нудельман В. Діпромісто: історія і сучасність. Досвід та перспективи розвитку міст України. К.: Діпромісто, 2000.
38. Руссо Д., Возей Ж. Благоустрій міста. К.: Основи, 1995. 107 с.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ РЕГИОНА

*Территориальное развитие имеет многоаспектный характер, на которое оказывают влияние различные факторы. В существующих научных разработках отсутствуют единые подходы к определению территориального развития использования земель региона. Для обеспечения территориального развития региона не указаны пространственные, градостроительные, экологические факторы. Внимание фокусируется на экономических аспектах территориального развития и приводит к дисбалансу и торможению представленного процесса. В статье предложено определение территориального развития использования земель региона, которое характеризуется как совокупность пространственных, градостроительных, инвестиционных и экологических факторов, взаимодействие которых приводит к достижению качественно нового состояния земельных отношений.*

**Ключевые слова:** территориальные общины, картография, факторы, земельные отношения, земля, стейкхолдеры.

## THEORETICAL APPROACHES TO THE DEFINITION OF TERRITORIAL DEVELOPMENT OF LAND USE IN THE REGION

*Territorial development is multidimensional and involves the influence of various factors. In existing scientific developments there are no common approaches to determining the territorial development of land use in the region. Spatial, urban, environmental factors are not specified for the territorial development of the region. Attention focuses on the economic aspects of territorial development and leads to imbalances and inhibition of the process presented. The article proposes the definition of territorial development of land use in the region, which is characterized as a set of spatial, urban, investment and environmental factors, whose interaction leads to the achievement of a qualitative new state of land relations.*

**Key words:** territorial communities, geospatial factors, land relations, land, stakeholder.

**Пілічева М.О.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Попик Н.В.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОБУДОВИ РЕЛЬЄФУ ТА УХИЛІВ МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ПОТРЕБ

*У статті досліджено методи побудови цифрової моделі місцевості та ухилів. Розглянуто їх основні етапи, виявлено переваги та недоліки. Як пріоритетний метод побудови цифрової моделі місцевості запропоновано метод оцифрування наявних карт та планів у геоінформаційній системі, який дозволяє автоматизувати процес побудови ухилів місцевості. Рекомендовано використовувати крок створення цифрової моделі місцевості, рівний 200 м для рівнинного рельєфу, а для складного рельєфу – доповнювати додатковими точками, які описують особливості місцевості. Кількість додаткових точок зростає прямо пропорційно складності рельєфу місцевості.*

**Ключові слова:** рельєф, ухили місцевості, цифрова модель рельєфу, проект землеустрою, автоматизація побудови цифрової моделі місцевості, геоінформаційні технології.

**Постановка проблеми.** Просторові властивості землі, такі як рельєф, площа земельних ділянок, їх місце розташування, конфігурація та інші, мають велике значення для досягнення мети землеустрою – забезпечення раціонального використання та охорони земель, створення сприятливого екологічного середовища і поліпшення природних ландшафтів (ст. 182 Земельного кодексу України [1]). Особливу увагу при цьому приділяють використанню земель сільськогосподарського призначення за принципами зменшення деградаційних процесів і підвищення родючості. Одним зі способів ефективного ведення сільськогосподарського виробництва є визначення його організації та впорядкування сільськогосподарських угідь у межах землеволодінь і землекористувань проектом землеустрою, що забезпечує еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь [2].

У розробці згаданого проекту землеустрою важливу роль відіграє рельєф місцевості, крутість схилів земної поверхні, їх довжина, форма та експозиція. Урахування цих характеристик є важливим на етапі визначення внутрішньо-польової організації території, розміщення угідь сільськогосподарських культур, водорегулювальних й інших лісосмуг, вживання гідротехнічних і протиерозійних заходів, проектування полів сівозміни, визначення її типів і видів.

Необхідність і доцільність застосування автоматизації процесу побудови рельєфу та ухилів

місцевості у розробці проекту землеустрою, що забезпечує еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь, полягає в тому, що завдяки цьому процесу землепорядники значно заощаджують час та трудовитрати на виконання робіт, бо сьогодні швидкими темпами зростають потреби в землепорядних роботах у процесі земельних перетворень, що пов'язано з реорганізацією землеволодінь і землекористувань сільськогосподарських організацій, перерозподілом земель, відводами земельних ділянок юридичним і фізичним особам, активізацією земельного обороту [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи моделювання рельєфу та ухилів місцевості як способи вирішення різноманітних наукових і прикладних інженерних завдань розглядаються у роботах таких учених, як Х.В. Бурштинська, О.Л. Дорожинський, Ю.О. Карпінський, Г.П. Левчук, А.А. Лященко, В.М. Мельник, О.Р. Мусін, Р.М. Рудий, Н.Ю. Лазоренко-Гевель, М. Armstrong, F.J. Doyle, F. Divenyi, B. Markus, D.F. Watson, M. Vencovsky та інших [4–9].

Проблемами автоматизації землепорядних робіт та їх ефективним впровадженням займаються Б.М. Данилишин, Д.С. Добряк, О.В. Гряник, В.С. Михалевич, Л.Я. Новаковський, А.І. Половинкін, Р.І. Солнцев, А.Я. Сохнич, А.Г. Тихонов, Н.М. Тищенко, А.М. Третяк та інші.

Але в роботах згаданих дослідників не приділено уваги особливостям автоматизації побудови

## Порівняльні характеристики методів створення ЦМР

| Етапи методу                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Переваги                                                                               | Недоліки                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Геодезичні вимірювання</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                            |
| Підготовчі роботи;<br>рекогносцировка місцевості;<br>створення знімальної основи;<br>зйомка рельєфу;<br>камеральна обробка польових вимірювань;<br>складання плану поверхні землі за допомогою програмного забезпечення.                                                                                 | Висока точність.                                                                       | Значні трудові, фінансові та часові витрати;<br>необхідність геодезичних приладів та спеціального програмного забезпечення.                                                                                |
| <b>Оцифрування наявних карт і планів у геоінформаційній системі</b>                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                            |
| Завантаження топографічної карти (плану) у програмне забезпечення;<br>просторова прив'язка карти (плану);<br>створення бази геоданих;<br>створення класу просторових об'єктів;<br>створення набору об'єктів;<br>оцифрування карти (плану);<br>заповнення таблиць бази геоданих атрибутивною інформацією. | Відсутність польових робіт;<br>висока точність.                                        | Значні трудові, фінансові та часові витрати;<br>необхідність спеціального програмного забезпечення.                                                                                                        |
| <b>Фотограмметричний метод</b>                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                            |
| Проведення фотограмметричної зйомки;<br>координування опорних точок;<br>камеральна обробка результатів зйомки.                                                                                                                                                                                           | Не потребує безпосереднього контакту;<br>висока точність.                              | Значні трудові і фінансові, часові витрати;<br>необхідність цифрової камери та спеціального програмного забезпечення.                                                                                      |
| <b>Метод лазерного сканування</b>                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                            |
| Проведення лазерної зйомки;<br>координування опорних точок;<br>камеральна обробка результатів зйомки.                                                                                                                                                                                                    | Не потребує безпосереднього контакту;<br>висока точність.                              | Значні трудові і фінансові, часові витрати;<br>необхідність лазерного сканера та спеціального програмного забезпечення.                                                                                    |
| <b>Метод отримання рельєфу місцевості з використанням безкоштовних глобальних ЦМР</b>                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Загальнодоступність даних;<br>значне просторове охоплення;<br>простота у використанні. | Відсутність даних на окремі ділянки;<br>наявність помилкових артефактів та «розривів» на зображеннях;<br>великий крок ЦМР;<br>невисока точність;<br>необхідність переведення у систему координат УСК 2000. |

рельєфу та ухилів місцевості саме для розробки проектів землеустрою, тому аналіз методів автоматизації побудови рельєфу й ухилів місцевості для земельпорядних потреб є актуальним питанням.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягає в аналізі методів автоматизації побудови рельєфу й ухилів місцевості та визначенні пріоритетного методу автоматизації побудови рельєфу й ухилів місцевості у процесі створення проектів землеустрою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Рельєф місцевості для розробки проектів землеустрою можливо отримати за допомогою таких методів:

Геодезичні вимірювання (здійснення геодезичної зйомки рельєфу місцевості, що полягає у визначенні координат і висот її точок).

Оцифрування наявних топографічних карт і планів (побудова рельєфу місцевості шляхом оцифрування горизонталей або створення набору точок цифрової моделі місцевості (далі – ЦМР) за наявними топографічними планами або картами в геоінформаційних системах).

Фотограмметричний метод (здійснення фотограмметричної зйомки рельєфу місцевості).

Метод лазерного сканування (полягає у визначенні характеристик поверхні (рельєфу) і наданні їм цифрового вигляду в тривимірній системі координат за допомогою лазерного сканера).

Метод отримання рельєфу місцевості з використанням безкоштовних глобальних ЦМР (SRTM3, ASTER GDEM v.2, GTOPO30, ACE2, ETOPO2 та GMTED2010 [10]) – растрового зображення, для кожного пікселя якого визначено зна-

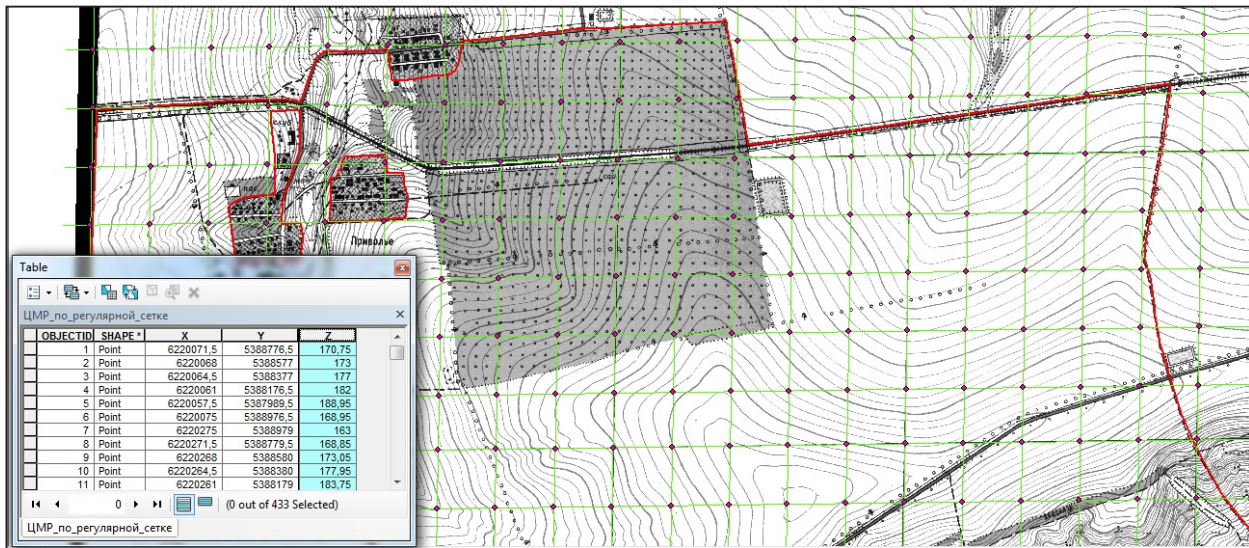


Рис. 1. Регулярна сітка ЦМР

чення абсолютної висоти. Розмір земної поверхні, що відповідає одному пікселю, визначає просторову роздільну здатність моделі, яка може становити від 10 м до 1 км.

З метою визначення пріоритетного методу отримання ЦМР для землепорядних потреб здійснено порівняльну характеристику переваг та недоліків наведених методів (Таблиця 1).

Використання безкоштовних глобальних ЦМР у розробці проектів землеустрою є недоцільним, бо вони мають великий крок розташування точок, що спричинює необхідність інтерполяції для визначення висот проміжних точок і, відповідно, негативно впливає на точність. Згідно з дослідженнями [10; 11], похибки визначення висот за безкоштовними глобальними ЦМР можуть досягати 5–30 м. До того ж згадані ЦМР постачаються у системі координат WSG 84, а нині немає точних параметрів переходу між цією системою координат і державною геодезичною системою координат України УСК 2000 або місцевими, похідними від неї, що також погіршує точність визначення висот точок [12].

Кожен із чотирьох наведених методів (Таблиця 1) має майже однакові недоліки: трудові, фінансові та часові витрати, а також необхідність використання спеціального обладнання та програмного забезпечення для обробки даних і побудови ЦМР. Але метод оцифрування наявних карт та планів у геоінформаційній системі не потребує виконання польових робіт і камеральної обробки геодезичних даних. До того ж геоінформаційні технології дозволяють автоматизувати процес побудови ухилів місцевості, бо це значно заоща-

джує час та трудовитрати на виконання робіт на значних за площею територіях. Тому цей метод вважаємо пріоритетним.

Найбільш поширеним геоінформаційним програмним продуктом є ArcGIS [13; 14], бо модуль 3D Analyst дозволяє будувати поверхні методом інтерполяції значень, що зберігаються в точках вимірюваних значень (для побудови горизонталей), створити поверхні з іншої поверхні (побудова растру ухилів із використанням рельєфу місцевості).

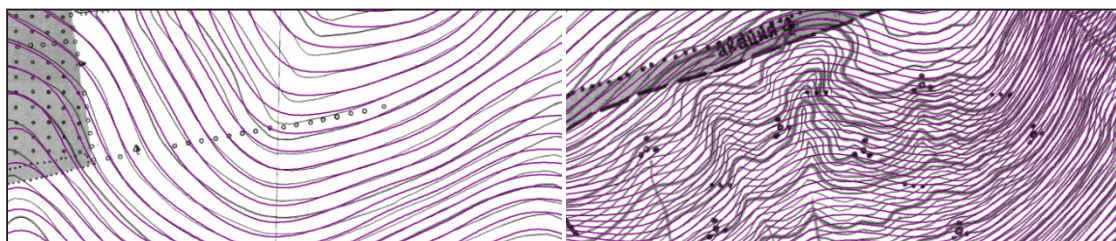
Для побудови ухилів місцевості використовуються точки з відомими висотами, які становлять ЦМР (Рис. 1).

Для визначення оптимальної відстані між точками ЦМР було проведено експеримент – побудовано горизонталі та ухили місцевості з використанням ЦМР регулярної сітки із кроками 500 м, 200 м, 100 м та 50 м. Порівняння отриманих результатів виконувалось із горизонталлями плану масштабу 1:2000 та ухилів, побудованих вручну, на об'єкт дослідження.

За використання ЦМР із кроком 500 м результат є незадовільним, бо відхилення між горизонталлями, побудованими автоматично, і горизонталлями на плані масштабу 1:2000 мають значні відхилення, які можуть досягати декількох десятків метрів на складному рельєфі.

За використання ЦМР із кроком 200 м результат є задовільним на рівнинній частині об'єкта і незадовільним на складному рельєфі (Рис. 2).

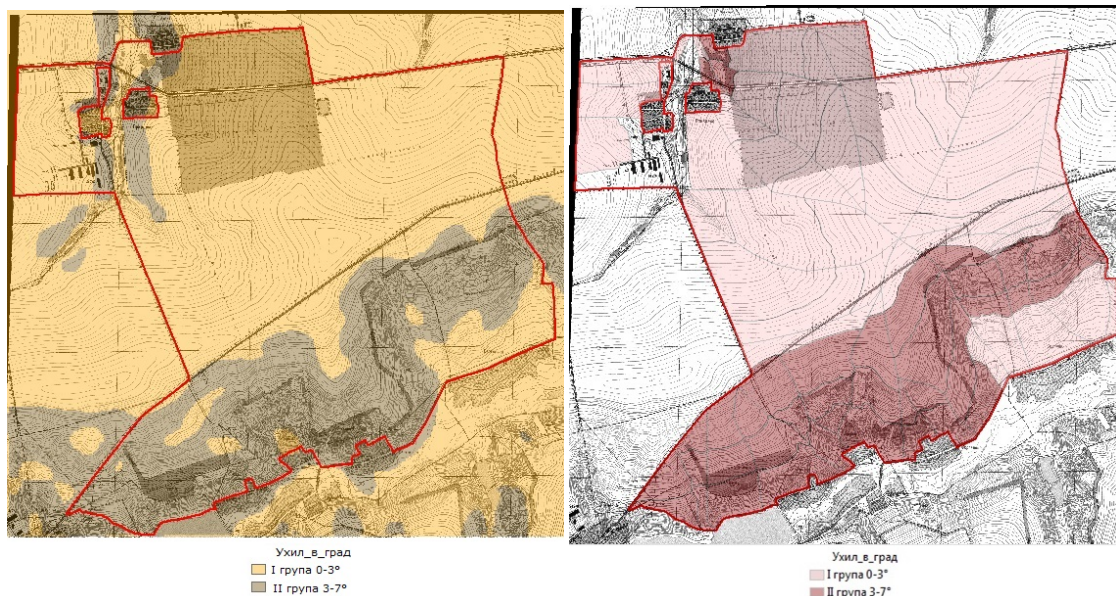
За використання ЦМР із кроком 100 м і 50 м точність побудови горизонталей покращилася, але для складного рельєфу несуттєво. При цьому



а) рівнинний рельєф

б) складний рельєф

Рис. 2. Побудова горизонталей за ЦМР із кроком 200 м



а) ухили, побудовані в ArcGIS

б) ухили, побудовані вручну

Рис. 3. Порівняння побудови ухилів місцевості автоматизованим методом та вручну

значно підвищились трудовитрати на створення ЦМР.

Стосовно побудови ухилів місцевості, то їх точність прямо пропорційна точності побудови горизонталей. Так, наприклад, для ЦМР із кроком 200 м зони ухилів від  $0^\circ$  до  $3^\circ$  та від  $3^\circ$  до  $7^\circ$ , побудовані в ArcGIS, співпадають на 90% з ухилами, побудованими вручну, які були прийняті за еталон (Рис. 3).

За використання для побудови ухилів місцевості ЦМР із кроком 100 м і 50 м точність побудови покращилася до 95–97%, але на складному рельєфі відмінності зон ухилів залишилися.

**Висновки.** Дослідивши методи формування ЦМР, можемо стверджувати, що метод оцифру-

вання наявних карт та планів і застосування геоінформаційних технологій є пріоритетним методом автоматизації побудови ухилів для землевпорядників у розробці проектів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь. При цьому можемо дати такі рекомендації щодо автоматизації побудови горизонталей і ухилів місцевості:

- 1) використовувати крок створення ЦМР, рівний 200 м, який є прийнятним для рівнинного рельєфу;
- 2) використовувати додаткові точки поза сіткою ЦМР, які описують особливості складного рельєфу. Кількість додаткових точок зростає прямо пропорційно складності рельєфу місцевості.

#### Список літератури:

1. Земельний Кодекс України: Закон України від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III. Відомості Верховної Ради України. 2002. № 3. Ст. 27.
2. Про землеустрій: Закон України від 22 травня 2003 р. № 858-IV. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 36. Ст. 282.

3. Уханева А.В. Построение рельефа местности: современный подход к автоматизации процесса. Геодезия и картография. 2010. Т. 71. Вып. 11. С. 24–29.
4. Паздрій І.М., Білінський Ю.В. Використання геоінформаційних систем для зображення рельєфу земної поверхні. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2006. Вип. 33. С. 301–309.
5. Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Рунець Р.В. Еталонна модель бази топографічних даних. Вісник геодезії та картографії. 2010. Вип. 2. С. 28–36.
6. Лазоренко-Гевель Н.Ю., Денисюк Б.І. Аналіз методів і моделей цифрового моделювання рельєфу в об'єктно-реляційних базах топографічних даних. Управління розвитком складних систем. 2016. Вип. 26. С. 178–186.
7. Philip G.M. A precise method for determining contoured surfaces. Australian Petroleum Exploration Association Journal. 1982. № 22. P. 205–212.
8. Watson D.F. A refinement of inverse distance weighted interpolation. Geo-Processing. 1985. № 2. P. 315–327.
9. Eckstrein B.A. Evaluation of spline and weighted average interpolation algorithms. Comput. and beasci. 1989. Vol. 15, № 1. P. 79–94.
10. Глобальные цифровые модели высот. URL: [http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Глобальные\\_цифровые\\_модели\\_высот](http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Глобальные_цифровые_модели_высот) (дата звернення: 05.11.2018).
11. Пиличева М.О. Исследование методов трансформирования космических изображений. Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. 2009. Вип. 9(143). С. 132–139.
12. Боровий В.О., Зарицький О.В., Кінь Д.О. Технологія координатного перетворення та трансформування при геодезичних та землепорядних роботах. URL: [https://www.researchgate.net/publication/323129523\\_Tehnologia\\_koordinatnogo\\_peretvorennia\\_ta\\_transformuvanna\\_pri\\_geodezicnih\\_ta\\_zemlevporadnih\\_robotah](https://www.researchgate.net/publication/323129523_Tehnologia_koordinatnogo_peretvorennia_ta_transformuvanna_pri_geodezicnih_ta_zemlevporadnih_robotah) (дата звернення: 05.11.2018).
13. Грещук Г.В., Ступень Р.К. Використання геоінформаційних систем у землепорядкуванні. URL: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Vlnau\\_econ\\_2015\\_22\(2\)\\_33.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vlnau_econ_2015_22(2)_33.pdf) (дата звернення: 05.11.2018).
14. Поправко О.В. Застосування геоінформаційних систем (ArcGIS) у землепорядкуванні. URL: [http://maptimes.inf.ua/CH\\_10/15.pdf](http://maptimes.inf.ua/CH_10/15.pdf) (дата звернення: 05.11.2018).

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФА И УКЛОНОВ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ НУЖД

*В статье исследованы методы построения цифровой модели местности и уклонов. Рассмотрены их основные этапы, выявлены преимущества и недостатки. В качестве приоритетного метода построения цифровой модели местности предложен метод оцифровки существующих карт и планов в геоинформационной системе, который позволяет автоматизировать процесс построения уклонов местности. Рекомендуется использовать шаг создания цифровой модели местности равный 200 м для равнинного рельефа, а для сложного рельефа – дополнять дополнительными точками, описывающими особенности местности. Количество дополнительных точек увеличивается прямо пропорционально сложности рельефа местности.*

**Ключевые слова:** рельеф, уклоны местности, цифровая модель рельефа, проект землеустройства, автоматизация построения цифровой модели местности, геоинформационные технологии.

## THE GEOINFORMATION TECHNOLOGIES OF AUTOMATION OF THE RELIEF AND SLOPES CONSTRUCTING FOR LAND MANAGEMENT NEEDS

*The article explores methods for constructing of the digital model of terrain and slopes. Their main stages are considered, advantages and disadvantages are revealed. As a priority method for constructing of the digital terrain model, a method of digitizing existing maps and plans in a geographic information system has been proposed, which allows automating of the process of constructing terrain slopes. It is recommended to use the step of creating of the digital terrain model equals to 200 m for flat terrain, for complex terrain – to complement with additional points describing the features of the terrain. The number of additional points increases in direct proportion to the complexity of the terrain.*

**Key words:** terrain, terrain slopes, digital terrain model, land management project, automation of digital terrain model construction, geoinformation technologies.

**Поморцева О.Є.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## МОДЕЛЮВАННЯ РОЗТАШУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*У статті описано одну з нагальних проблем сучасності – проектування розташування екологічно небезпечних техногенних об'єктів на прикладі автозаправних станцій, що належать до об'єктів четвертої категорії небезпеки. Особливу увагу приділено використанню геоінформаційних систем для розв'язання вказаної проблеми. Саме останні дають змогу врахувати всі чинники для прийняття правильного рішення у процесі проектування. Також коротко описано послідовність дій, необхідних для виконання зазначеного завдання, а запропоновані рекомендації дозволять більш ефективно і з мінімальними часовими затратами розв'язувати схожі проблеми.*

**Ключові слова:** техногенний об'єкт, геоінформаційна система, геопросторові дані, геореляційна модель даних, база геоданих, санітарно-захисна зона, тривимірна модель, категорія небезпеки, супутниковий знімок.

**Постановка проблеми.** Одна з нагальних проблем сьогодення – це забруднення навколишнього середовища техногенними екологічно небезпечними об'єктами, пов'язаними, зокрема, з розвитком промисловості та транспорту.

Ознакою сучасності та результатом науково-технічного прогресу стало створення нового класу промислових об'єктів – екологічно небезпечних. Розташування їх поблизу великих промислових центрів і населених пунктів збільшує потенційну небезпеку для населення. Тому вкрай важливе прогнозування забруднення навколишнього середовища цими екологічно небезпечними об'єктами ще на стадії їх проектування. Указане дозволить запобігти техногенним катастрофам та поліпшити умови життя населення. Набагато простіше та доцільніше передбачити явище, ніж потім докладати зусиль для виправлення створеної ситуації.

Швидкий процес розвитку використання автотранспорту супроводжується цілою низкою гострих екологічних проблем. Світова тенденція щодо збільшення кількості автомобілів створює труднощі в боротьбі проти забруднення атмосфери, ґрунту, водойм, збільшення рівня шуму. У сучасних містах, де кількість автомобільного транспорту постійно зростає, вивчення впливу розташування автозаправних станцій (далі – АЗС) на навколишнє середовище є надзвичайно актуальною проблемою. Водночас у містах з'явилася необхідність розвитку інфраструктури сервісного обслуговування автотранспорту – створення АЗС, станцій та пунктів технічного обслуговування і ремонту автомобілів, автомийок, гаражів, автостоянок.

Значне зростання кількості автомобілів у нашій країні, а також відмова держави від монополії на ринку нафтопродуктів зумовили будівництво нових і переобладнання наявних АЗС, що стало одним із напрямів, який найбільш стрімко розвивається. У процесі експлуатації АЗС відбувається постійне забруднення атмосферного повітря, підземних і наземних вод та ґрунтів. Тому прогнозування впливу на довкілля цих екологічно небезпечних об'єктів і, у зв'язку із цим, вибір оптимального місця розташування майбутньої АЗС є вкрай необхідним завданням сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Варто зазначити, що навіть на найголовніших автомобільних дорогах нашої країни кількість АЗС значно менша від нормативної. Переважно вони сконцентровані поблизу великих населених пунктів.

Екологічна небезпека АЗС визначається сукупністю забруднень, які надходять від автомобілів під час їх перебування на території заправної станції, та нафтопродуктами із самої АЗС. Ці забруднення формуються з відпрацьованих газів автомобільних двигунів, у результаті витоку палива і масел, за рахунок продуктів зносу деталей автомобілів і автомобільних шин, бруду з кузовів автомобілів, випарів із резервуарів АЗС для зберігання палива і паливороздавальних колонок. Газоподібні й аерозольні забруднювальні речовини надходять у повітря. Велика частина з них поширюється шляхом розсіювання, інша частина осідає на території АЗС і змивається поверхневими (дощовими і талими) та мийними водами у ґрунт прилеглих до АЗС територій, забруднюючи їх.

Деяка частина забруднень надходить шляхом фільтрації у ґрунтові води. На території України всі АЗС відповідно до проектів повинні бути обладнані спорудами для очищення поверхневих вод, що стікають із їхньої території. Тому автозаправні станції будуються з дотриманням цієї вимоги.

Забруднення, що надходять у повітря, очищенню не підлягають. Відтак через велику їх кількість забруднення повітряного середовища вважають надзвичайно небезпечним. Найбільш токсичними і шкідливими в еколого-гігієнічному плані є етиловий бензин, що містить тетраетил свинцю і спеціальні речовини (бромистий етил, диброметан, дихлоретан) для підвищення октанового числа палива. З 1 січня 2003 р. виробництво етилованого бензину (що містить тетраетил свинцю у кількості 0,37 г/л) в Україні заборонено [1, с. 2–3]. Однак можлива наявність цієї речовини в бензинах низьких марок у результаті діяльності недобросовісних виробників і постачальників палива.

Багато в чому кількість викидів забруднювальних речовин залежить від умов перебування автомобілів на території АЗС: рухаються вони чи стоять, працюють чи ні двигуни автомобілів, як довго залишається відкритою горловина бензобака автомобіля, як довго перебуває машина на території АЗС. Частина землі, що виділяється для будівництва АЗС, визначається не тільки нормативами відстаней між спорудами, а й тим, як розміщені ці споруди. Однак такі фактори на сьогодні залишаються без належної уваги у плануванні новостворюваних АЗС.

У процесі експлуатації автозаправних станцій відбувається забруднення ґрунтового покриву і ґрунтів нафтопродуктами. Для чорноземної зони України розроблено такі ступені градації забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами: незабруднені ґрунти – 400 мг/кг, слабе забруднення – 3 000–6 000 мг/кг, середнє забруднення – 6 000–12 000 мг/кг, сильне забруднення – 12 000–25 000 мг/кг, дуже сильне забруднення – більше 25 000 мг/кг [2, с. 57–58].

Актуальність проблеми вибору місця розташування АЗС також зумовлена тим, що вони найчастіше розміщені поблизу населених пунктів, тим самим негативно впливаючи на здоров'я людини, а також створюючи аварійну небезпеку. Деякі дані стверджують, що АЗС вносить зі стічними водами таку саму кількість забруднювальних речовин, що і 5 035 жителів міста.

Автотранспорт на АЗС є причиною не тільки хімічного забруднення, а й фізичного – як досить

сильне джерело шуму. Найбільші рівні шуму (90–95 дБ) фіксуються на АЗС, розташованих на магістральних дорогах із середньою інтенсивністю руху 2–3 тис. і більше транспортних одиниць за годину. Шум помітно знижується, якщо швидкість руху зменшується. Усі ці негативні явища особливо проявляються на автозаправних станціях.

В основу гігієнічно допустимих рівнів шуму для населення покладено дослідження з визначення наявних та порогових рівнів шуму. Сьогодні шуми для умов міської забудови нормують відповідно до ДБН та СНП [3, с. 18–20; 4, с. 1–2]. Ці правила встановлюють шумові характеристики, методи їх вимірювання і допустимі рівні шуму транспортних засобів усіх зразків. Основною ознакою зовнішнього шуму вважається рівень звуку, який не повинен перевищувати для легкових автомобілів і автобусів 85–92 дБ, для мотоциклів – 80–86 дБ.

Таким чином, можемо зробити висновок, що АЗС значно впливають на компоненти навколишнього середовища. Відтак до вибору місця розташування новостворюваних станцій слід підходити з урахуванням усіх забруднювальних факторів і варто намагатися якомога знизити їхній вплив на довкілля та населення.

**Постановка завдання.** Серед підходів до гарантування заходів безпеки під час планування майбутнього місця розташування АЗС виділяють створення тривимірних моделей об'єктів та використання геоінформаційного аналізу.

Здатність геоінформаційної системи (далі – ГІС) здійснювати пошук у базі даних та створювати просторові запити дає змогу скоротити час отримання відповідей на поставлені запитання. За допомогою ГІС можливо знайти прийнятну територію для розташування нової АЗС з урахуванням багатьох факторів, виявити взаємозв'язки, які можуть спричинити збільшення впливу планованої АЗС на довкілля чи, навпаки, зменшення.

Однією із ключових особливостей даних у роботі з пошуку безпечного місця розташування АЗС є наявність просторових властивостей, які слід включати до аналізу. Для вирішення завдань, пов'язаних із маніпулюванням просторовими даними, традиційно застосовуються методи просторового аналізу – ГІС-аналізу – з використанням засобів геоінформаційних систем, які включають велику кількість функцій для створення, редагування, перетворення і представлення просторових даних, а також функції тематичної обробки даних просторово-розподілених об'єктів. Просторові дані – це цифрові дані про властивості просторових

об'єктів, що включають відомості про їх місцезнаходження, площі, форми. Просторовий аналіз є процесом пошуку географічних закономірностей і просторових взаємин між об'єктами дослідження з використанням засобів геоінформаційних систем. У цьому процесі можливо виділити такі основні етапи:

- створення цифрової карти досліджуваної території;
- накладення об'єктів дослідження на цифрову карту;
- аналіз закономірностей просторового розподілу об'єктів.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Саме у вказаній послідовності було здійснено пошук оптимального місця розташування АЗС поблизу міста Харкова на трасі Київ – Харків – Довжанський. На початку роботи було проведено аналіз території з використанням засобів супутникової геодезії для виявлення і вибору найприйнятнішого місця розташування (Рис. 1).

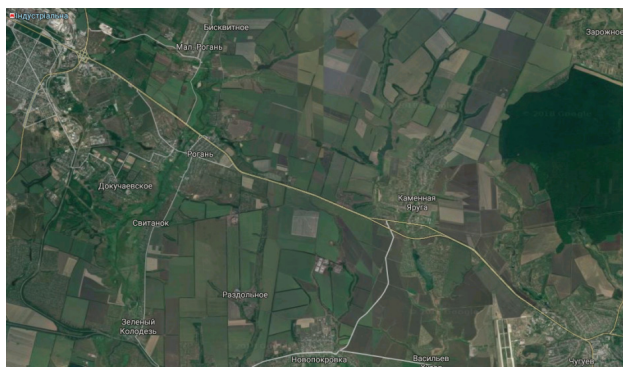


Рис. 1. Супутниковий знімок території

Автодорога М 03 Київ – Харків – Довжанський є основною транспортною артерією всієї області. Траса М 03 – автомобільна дорога міжнародного значення, яка проходить по території Київської, Полтавської, Харківської, Донецької, Луганської областей. Вона починається в Києві, проходить через Бориспіль, Яготин, Пирятин, Лубни, Хорол, Полтаву, Харків (на цій ділянці зберігається її назва Харків – Ростов), Чугуїв, Ізюм, Слов'янськ, Артемівськ, Дебальцеве, Красний Луч і закінчується на пропускному пункті «Довжанський», що веде через Новошахтинськ на Ростов-на-Дону в Росію.

Двома основними типами інформації, що може бути використана для ГІС, є картографічна (векторна або растрова) і семантична (описова). Картографічна інформація повинна містити координати й межі кордонів географічних об'єктів. Семантична інформація має описувати кількісні

та якісні характеристики об'єктів і зв'язків між ними. Картографічна і семантична інформація в базі даних пов'язується одна з одною за допомогою спеціальних ключових полів і повинна бути структурно об'єднаною у групи. Від того, як організовано структуру бази даних, залежить зручність подальшої роботи ГІС та ефективність розрахункових процедур.

На першому етапі моделювання вихідні дані слід проаналізувати, векторизувати та звести в єдину систему. Для подальшої роботи зі створення тематичних шарів було використано програмний продукт ArcGIS компанії «ESRI». Проаналізувавши отримані знімки, створили базу геоданих АЗС. У ній було сформовано набір просторових об'єктів із прив'язкою до системи координат Ukraine 2000 GK zone 7. Для подальшого аналізу території визначили тематичні шари. На підставі синтезу та аналізу вихідних даних за допомогою програмного забезпечення ArcGIS було реалізовано та збережено у базі геоданих необхідні класи просторових об'єктів. Для відображення споруд було створено клас Buildings (будівлі і споруди), тип – полігональний. Далі нормалізували бази геоданих: інформацію було організовано таким чином, щоб усі створені таблиці були зв'язані між собою відповідно до правил, які забезпечують захист інформації і роблять базу даних більш гнучкою, усуваючи надмірність і неузгоджені залежності [5, с. 40–45; 6, с. 224–225]. Надмірність призводить до непродуктивного витрачання вільного місця на жорсткому диску й ускладнює обслуговування баз даних. На Рис. 2 наведено схему бази геоданих проекту.

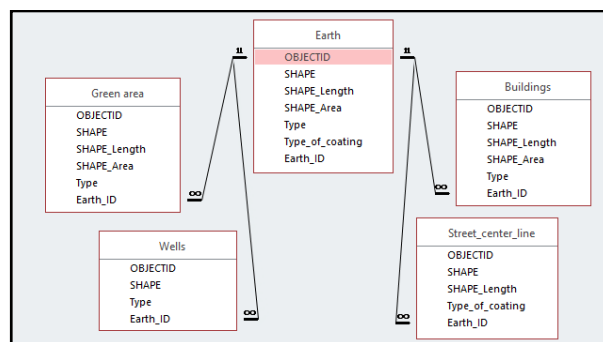


Рис. 2. Схема бази геоданих

Екологічні збитки повсякденної діяльності АЗС проявляються безпосередньо у багатьох явищах: забрудненні ґрунту, води, атмосфери, що веде до значного погіршення здоров'я людини, сприяє зниженню якості і скороченню життя населення. Згідно з Рекомендаціями щодо розподілу підприємств на категорії небезпеки залежно від

маси та видового складу забруднювальних речовин, що викидаються в атмосферу [7, с. 28–30], можливо розрахувати категорію небезпеки підприємства (далі – КНП) та визначити необхідний розмір санітарно-захисної зони.

$$КНП = \sum \left( \frac{M}{ГДК} \right)^\alpha,$$

де  $M$  – маса викиду  $j$ -ї речовини, т/рік; ГДК – середньодобова гранично допустима концентрація  $j$ -ї забруднювальної речовини, мг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  – безрозмірна константа, яка дозволяє порівняти ступінь шкідливості  $j$ -ї речовини зі шкідливістю сірчистого газу.

Для розрахунку категорії небезпеки підприємства за відсутності середньодобових значень гранично допустимих концентрацій використовують значення максимальних разових ГДК. За величиною КНП підприємства поділяються на чотири категорії небезпечності. Проведені розрахунки показали, що АЗС відносяться до 4-ої категорії, оскільки  $КНП < 1\,000$ , тобто необхідна санітарно-захисна зона довкола АЗС, відповідно до санітарних норм, повинна становити 100 м. Нормативні розміри санітарно-захисної зони, як і можливі відступи від цих розмірів у проектах, мають уточнюватися як у бік збільшення, так і в бік зменшення залежно від рози вітрів району розташування підприємства. Далі розміри зазначеної зони можливо наносити на векторизовану карту. Для цього слід створити окремий шар та нанести буферну зону, дотримуючись тих просторових об'єктів, які були створені раніше.

Проектовану АЗС вирішено розташувати поблизу селища Кам'яна Яруга за 15 кілометрів від Харкова на трасі М 03. Селище лежить на пагорбах, площа проектованої ділянки становить 0,2163 га. Клімат населеного пункту помірно-континентальний. Середньорічна температура становить +7,5°C. Середньорічна кількість опадів – 515 мм. Поблизу немає ніякої височини, яка б істотно впливала на розу вітрів. Середньорічна швидкість вітру дорівнює 4,0 м/с, вона дещо зменшується в липні-серпні (3,3 м/с) і збільшується в лютому (4,7 м/с). Найчастіше дмуть східні вітри. Їхній напрям не повинен впливати на санітарно-захисну зону довкола АЗС (Рис. 3). Як видно з Рис. 3, у буферну зону станції житлові будівлі не потрапляють.

Особливо цікавим із погляду подальшого аналізу є тривимірне моделювання (далі – 3D) як новий спосіб подання інформації. Цей підхід останнім часом користується великою популярністю, застосовуючись у багатьох областях людської діяльності. Цінність тривимірного

моделювання в тому, що воно дозволяє відобразити в об'ємі не тільки наявні, але й спроектовані об'єкти інфраструктури. Одним із значущих напрямів використання тривимірних моделей є інформаційна підтримка проектних рішень. 3D-моделювання дозволяє випробувати останні безпосередньо у процесі проектування, що радикально скорочує часові витрати й істотно підвищує якість проектів.

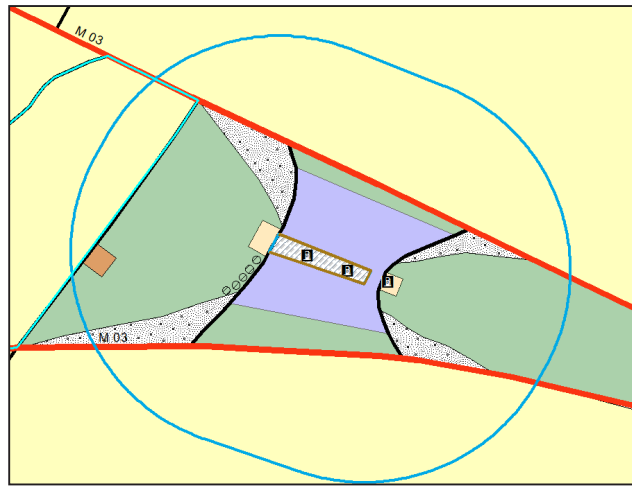


Рис. 3. Вигляд буферної зони навколо АЗС

Особливість проектних завдань полягає в моделюванні й оптимізації рішення, яке ще потрібно реалізувати. Контроль за результатами саме на цьому етапі особливо важливий, оскільки дозволяє скоротити кількість помилок проектування без помітного збільшення вартості проекту. У будь-якому разі загальна вартість створення 3D-моделей значно менша від витрат на внесення змін до побудованого об'єкта. Віртуальна тривимірна модель дозволяє проводити візуальний контроль і оптимізувати проектні рішення з урахуванням рельєфу місцевості, наявної і спроектованої інфраструктури. 3D-проекти, поєднані із тривимірною моделлю території, дають уявлення про те, як запропоновані об'єкти впишуться у ландшафт. Тривимірне моделювання широко застосовується для цілей моніторингу та управління об'єктами. Графічне представлення останніх у вигляді 3D-моделей надає інформацію в найбільш зручному і природному для людини вигляді, що позитивно позначається на якості й оперативності прийняття рішень. Зокрема, у цьому проекті зазначене дозволить скорегувати розмір санітарно-захисної зони навколо АЗС з урахуванням поверховості будівлі та рози вітрів у цій місцевості.

Для створення 3D-моделей будівель АЗС було використано можливості AutoCAD [8, с. 100–101].

У результаті отримали як самі моделі, так і реалістичні зображення (Рис. 4).



Рис. 4. Вигляд тривимірної моделі головної будівлі АЗС

На наступному етапі моделювання було поєднано побудовану тривимірну модель з ортофотознімком місцевості (Рис. 5).

Процес роботи над деталями тривимірної сцени дуже трудомісткий, однак, чим більше зусиль докладається до реалізації, тим кращий результат.

**Висновки.** Сучасне програмне забезпечення, яке використовувалося у проекті, дозволило полег-

шити роботу з пошуку оптимального місця розташування АЗС як об'єкта техногенно небезпечного, що відноситься до 4-ої категорії безпеки. Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці підходів до проектування місця розташування техногенно небезпечних об'єктів, зокрема АЗС. Реалізація цього проекту уможливить у разі розробки схожих об'єктів зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.



Рис. 5. Вигляд тривимірної моделі, поєднаної з ортофотознімком місцевості

#### Список літератури:

1. Про затвердження Програми поетапного припинення використання етилованого бензину в Україні: Постанова Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 1999 р. № 1825.
2. ДСТУ 41-00032 626 00-007-97. Охорона довкілля за будівництва розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту і газ / Правила проведення робіт.
3. Захист територій, будинків і споруд від шуму: Будівельні норми і правила ДБН В.1.1-31:2013.
4. Санітарні норми СНІП II-12-77. Норми проектування. Захист від шуму.
5. Поморцева Е.Е. Проектирование баз геоданных: учеб. пособие. Харьков, 2016. 140 с.
6. Поморцева О.Є. Використання геоінформаційної системи у проектуванні інфраструктури міста. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук». Люблін, 2017. С. 223–226.
7. Екологія: метод. посібник для проведення лаб. робіт / укл. О.О. Коновалова, Г.П. Андрейко. Харків, 2014. 56 с.
8. Поморцева Е.Е., Маслий Л.А. Трехмерное моделирование в благоустройстве территории. Материали всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні аспекти формування ринку нерухомості: вітчизняний та міжнародний досвід», Харків, 2017. С. 100–101.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*В статье описывается одна из насущных проблем современности по проектированию месторасположения экологически опасных техногенных объектов на примере автозаправочных станций, относящихся к объектам четвертой категории опасности. Особое внимание уделено использованию геоинформационных систем в решении этого вопроса. Именно такие системы могут учитывать все те факторы, которые позволяют принять верное решение при проектировании. Также вкратце описана последовательность действий, необходимых для выполнения данной задачи. Предложенные рекомендации позволят более эффективно и с минимальными временными затратами решать подобные задачи.*

**Ключевые слова:** техногенный объект, геоинформационная система, геопространственные данные, геореляционная модель данных, база геоданных, санитарно-защитная зона, трехмерная модель, категория опасности, спутниковый снимок.

---

## MODELING OF THE LOCATION OF ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS OBJECTS BY GEOINFORMATION SYSTEMS

*A serious problem of our time is described in the article. Designing the location of environmentally hazardous man-made objects. An example is a gas station, an object of the fourth hazard category. Much attention is paid to the use of geoinformation systems. These systems allow you to take into account many factors and make the right decision when designing. Briefly describe the steps to perform the task. The proposed recommendations will make it possible to solve such problems more efficiently and with minimal time.*

**Key words:** *technogenic object, geoinformation system, geospatial data, georeferential data model, geodatabase, sanitary protection zone, three-dimensional model, hazard category, satellite image.*

## ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.315.592

**Оксанич А.П.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Притчин С.Е.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Когдась М.Г.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Холод О.Г.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Мащенко М.А.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ПОРУВАТОГО ШАРУ НА ПІДКЛАДКАХ N-GaAs

*У роботі запропоновано метод отримання поруватого шару на підкладках n-GaAs, який відрізняється застосуванням струму з амплітудою 30мА та визначено час травлення, який становив 3 хвилини, що дало змогу зменшити нерівномірність поруватого шару на 5% та отримати поруватість параметрів фотолюмінесценції поруватого шару для партії підкладок.*

**Ключові слова:** напівпровідник, поруватість, GaAs, діод, Шоттки.

**Постановка проблеми.** Основні тенденції в розвитку електроніки пов'язані з підвищеною функціональною складністю електричних приладів підвищеної швидкодії і чутливості [1]. Ці вимоги визначають напрям робіт з пошуку нових матеріалів і технологічних процесів, які забезпечать необхідні якісні показники.

Останнім часом дослідники виявляють великий інтерес до властивостей композитних матеріалів, що являють собою безліч пов'язаних один з одним нанорозмірних частинок.

На базі поруватого арсеніду галію створюють електронні прилади, світловипромінювальні прилади, його можна використовувати для створення датчиків вологості, газових, хімічних і біологічних сенсорів, у фотодинамічній терапії.

Отримання плівок поруватого GaAs із високою густиною розподілу пор є досить складним завданням [2]. Проте зі швидким розвитком технології виготовлення нині можна досягти високої якості структури поруватого GaAs у набагато простіший спосіб та за більш низької собівартості.

Один із можливих способів полягає у використанні електрохімічних методів травлення з відповідним розчином електроліту.

Важливою характеристикою поруватих напівпровідників, що визначає більшість його фізичних параметрів, є ступінь пористості (P), яка визначається виразом:

$$P = \frac{P_p - P_{por}}{P_p}, \quad (1.1)$$

де  $P_p$  та  $P_{por}$  – платність монокристалічного та поруватого напівпровідника відповідно.

Ступінь пористості зразка визначається зазвичай гальванометричним методом (зважуванням). Визначення пористості цим методом проводиться в три етапи:

- зважування монокристалічної напівпровідникової пластини;
- витравлювання на ній пористого шару і зважування отриманого зразка;
- видалення пористого шару шляхом відгалужування його з підкладки і повторне зважування зразка.

По-перше, електрохімічна комірка для оптимального вирощування  $\text{por-GaAs}$  не проста конструкція, як це може здатися, у процесі його розвитку необхідно вирішити безліч технічних проблем.

По-друге, часто цей процес також вимагає освітлення. Це означає, що комірка для травлення мусить мати вікно.

По-третє, поруваті шари, призначені для використання в реальних пристроях, має задовольняти суворим вимогам до однорідності і відтворюваності параметрів шару.

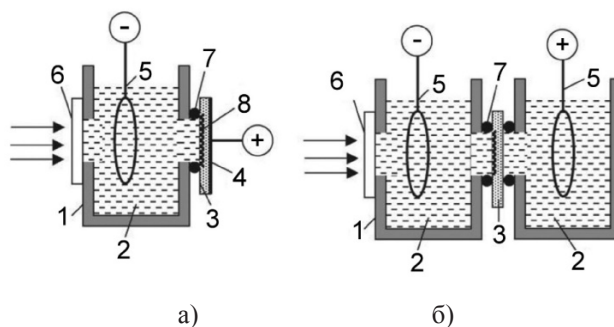
Для досягнення згаданої вище однорідності, крім приладу, який має забезпечувати рівномірне освітлення, мусить мати високий ступінь безпеки і надійності, необхідно підтримувати високу якість і однорідність омичного контакту, рівномірне легування пластини.

Зважаючи на досить просту конструкцію без порівняння електродів, з підсвічуванням як опції, необхідно розглянути питання про одинарну або подвійну конфігурацію комірок, як це схематично показано на рис. 1. Зрозуміло, що у разі з тильним освітленням немає задньої сторони металізації, електроліт зазвичай перемішується або відкачується через комірку. Тоді як модель подвійної комірки є більш складною [3], тому що вона обходить проблеми, пов'язані з необхідністю мати хороший (однорідний і з низьким контактним опором)  $\text{GaAs}$  задньої сторони контакту [4]. У подвійній комірці задня сторона контакту знаходиться у розчині електроліту. Як правило, подвійна комірка має два платинові електроди, по одному в кожній комірці. Електроліти в двох комірках можуть бути різними, індивідуально оптимізовані для своїх «робочих місць» для забезпечення легкого електричного струму і для травлення пор відповідно. Крім того, на  $\text{GaAs}$  пластину можна нанести третій контакт. У міру того, як струм змушений проходити через пластину, його анодна сторона буде підлягати травленню.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження показали [5–7], що положення і геометрія електрода також мають великий вплив на однорідність  $\text{por-GaAs}$  шару. Як відомо, однорідність поверхні  $\text{por-GaAs}$  залежить від розподілу прикладеного електричного поля ліній (тобто рівномірність розподілу локальної густини струму) в процесі формування  $\text{por-GaAs}$ . У більшості досліджень показано, що під час вирощування пор використовується тонкий циліндричний електрод. Результати [7] показали, що в цьому разі в результаті вирощування  $\text{por-GaAs}$  утворилась неоднорідна структура.

Зокрема, утворені  $\text{por-GaAs}$  шари мали неоднорідну поверхню. Така ситуація спостерігається, позаяк силові лінії електричного поля згущуються в центральній області поверхні, аніж у краях. Це призводить до збільшення значення локальної густини струму і, як наслідок, більш високої поруватості в центральній області. Експеримент показав, що використання протилежних електродів реалізоване у вигляді платинової сітки або листа дає значне поліпшення поперечної однорідності параметрів  $\text{por-GaAs}$ . При цьому однорідний розподіл струму здебільшого найкраще досягається за рахунок використання протилежного електрода того ж розміру і площинної орієнтації як робочого електрода. Якщо використовується платинова сітка, площа загальної поверхні має бути порівняна з електродом і розміром отворів сітки менше, ніж відстань до електрода  $\text{por-GaAs}$ . Краща однорідність навколо центру може бути досягнута завдяки збільшенню розміру зразка і катода.

Також було виявлено, що аналогічні результати можуть бути досягнуті шляхом застосування катода більшого розміру, ніж зразок, і введення графітової пластини нижче зразка, який підтримують у однаковому потенціалі зразка. Графітова пластина електрично з'єднана зі зразком, це призводить до поліпшення якості як у бічній, так і у вертикальній рівномірності  $\text{por-GaAs}$ , навіть за низької густини струму  $j=2 \text{ mA/cm}^2$ .



**Рис. 1. Електролітичні комірки для виготовлення пористого шару: а) конфігурація з однією коміркою; б) конфігурація з двох комірок. 1 – ПВХ ванна; 2 – електроліт; 3 – зразок; 4 – омичний контакт; 5 – платиновий електрод; 6 – вікно з кварцу; 7 – кільце ущільнювача, 8 – поруватий шар; стрілки показують напрям освітлення**

Крім того, слід враховувати, що процес розчинення  $\text{GaAs}$  особливо у водних електролітах завжди виробляє водень, і утворені пухирці водню можуть чіплятися за поверхню пластини і привести до зміни локального потенціалу.

Пухирці заважають процесу дифузії всередині пори, дегенерація пори спостерігається раніше,

ніж у вільних районах. Дегенерація спостерігається в просторово обмеженій області, що відповідає діаметру пухирця. У будь-якому разі бульбашки водню можуть викликати значну неоднорідність параметрів  $\text{por-GaAs}$  або в бічному напрямі, або в глибині шару  $\text{por-GaAs}$ , і його слід уникати.

Необхідний точний контроль температури електроліту, щільності струму і напруги, це вимагає оптимізованої електронної схеми управління. Об'єм комірки також є важливим фактором. Великі обсяги електроліту можуть сприяти більш однорідному травленню, але підняти ціну і питання безпеки.

Напівпровідники  $\text{por-GaAs}$  розрізняють залежано від типу пор і їх детальної структури або морфології (хімічних) властивостей поверхні і поведінки старіння в повітрі. Це особливо важливо для датчиків, конструкція яких заснована на  $\text{por-GaAs}$ . Такі параметри, як геометричний тип пор (мікро, мезо, макро), основний режим зростання (кристалографічної або поточного рядка орієнтації), морфологія (губчастий, фрактальний, сильно розгалужені та з'єднані між собою, злегка розгалужені і не з'єднані між собою, прямі і циліндричні тощо), а також вторинні або похідні параметри, такі як пористість, товщина, розподіл пор за розмірами тощо, впливають з властивостей основної маси  $\text{por-GaAs}$ .

**Постановка завдання.** Таким чином, виробництво будь-яких пристроїв, заснованих на  $\text{por-GaAs}$ , має враховувати особливості процесу травлення, який завжди буде в основі технології виготовлення цього пристрою.

Як було зазначено раніше, велика різноманітність пористих плівок, починаючи від мікропор до макропор з діаметром, що перевищує 10 мкм, і від типу структури до абсолютно циліндричних пор з великими пропорціями. Різні конструкції і розміри пор відображають відмінності в умовах підготовки або різних точках у великому просторі параметрів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес формування  $\text{por-GaAs}$  ( $n > 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) схематично показаний на рис. 2. На початковій стадії формування рельєфу відбувається в результаті випадкових актів розчинення (контур 1 границі  $\text{GaAs}/\text{HF}$ ). Коли нерівності на поверхні стають настільки різкими, що на них відображається просторовий заряд, іони F збираються на впадинах, позитивний заряд дірок наводиться на височинах (контур 2 границі  $\text{GaAs}/\text{HF}$ ). На денцях пор густина анодного струму підвищується порівняно з

середньою за обсягом, у цій області в електроліті виникає іонне збіднення, відбувається мікрополіровка поблизу дна пор (контур 3 кордону  $\text{GaAs}/\text{HF}$ ). Розмір області мікрополіровки визначає характерний діаметр пор, який обмежений зверху умовою досить високої локальної густини анодного струму, що забезпечує іонне збіднення в електроліті (контур 4 кордону  $\text{GaAs}/\text{HF}$ ).

Чисельне моделювання процесу анодизації проводилося на  $n\text{-GaAs}$  двомірної сітки ( $160 \times 160$ ) [8]. Кожна позиція на сітці визначена як осередок. Крок сітки відповідає просторовому розміру флуктуації поверхневого заряду. N дірок здійснюють випадкове перенесення, здійснюючи стрибки на довжину вільного пробігу (рис. 3). Як тільки дірка виявляється в радіусі  $RD$  від найближчого з дна пори, починається дрейф у напрямі цього дна. Після досягнення діркою кордону розділу в деякій точці аналізується кривизна кордону в межах інтервалу  $L$  по обидві сторони від цієї точки. Розпад відбувається в найбільш різких височинах на заданому інтервалі. Для того щоб зв'язати параметр  $L$  з експериментальними параметрами було використано емпіричне відношення [9]:

$$j_{\text{к}} = Cc^{3/2} \exp\left(\frac{-E_A}{kT}\right), \quad (1.2)$$

де критична щільність струму  $j_{\text{к}}$  а концентрація  $\text{HF}$  виражені в  $\text{mA}/\text{cm}^2$  та вага у % відповідно,  $C = 1,6 \cdot 10^6 \text{ mA} \cdot (\text{вага, \%})^{-3/2} / \text{cm}^2$  та  $E_A = 323 \text{ меВ}$ .

Можна грубо оцінити середній діаметр пор у таких припущеннях:

- а) густина струму дорівнює  $j_{\text{к}}$  а денцях пор і нулю далеко від них;
- б) всі пори мають однаковий діаметр;
- в) число пор на одиницю площі вихідної поверхні не змінюється з часом.

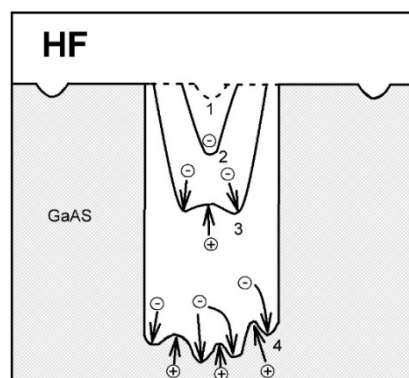


Рис. 2. Схематична ілюстрація механізму формування  $\text{por-GaAs}$

Тоді можливо записати:

$$j = N_p \cdot j_{\text{к}} \cdot \pi d^2 / 4 \quad (1.3)$$

де  $j$  середня по поверхні пор- $\text{GaAs}$  щільність струму,  $N_s$  щільність поруваної поверхні.

З рівняння (1.3) середній діаметр пор дорівнює:

$$d = \sqrt{\frac{4j}{\pi C_2^{1/2} N_s \exp\left(\frac{E_1}{kT}\right)}} \quad (1.4)$$

Параметр  $L$ , виражений в кроках сітки, дорівнює  $d$ , що визначається за формулою (1.4).

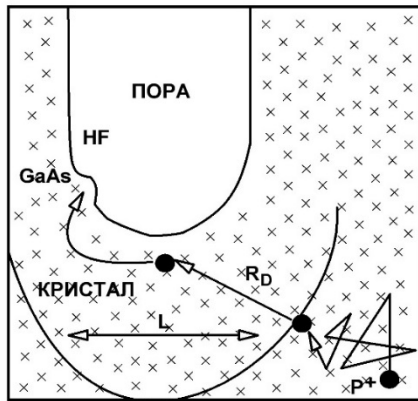


Рис. 3. Схематична ілюстрація для обчислення алгоритму для  $n\text{-GaAs}$

Обчислення кривизни поверхні розгалуженої структури (на відміну від кривизни лінії кордону) має досить ускладнений алгоритм і збільшує витрати машинного часу, що навряд чи виправдано. З іншого боку, зроблені оцінки діаметра пор і середньої відстані між порами залишаються справедливими для тривимірного випадку. У цьому сенсі окремі результати двовимірного моделювання можна зіставляти з характеристиками реальних структур  $\text{GaAs}$ .

На рис. 4 представлена матриця зображень, отриманих за допомогою чисельного моделювання на двовірній сітці ( $160 \times 160$ ) для  $N = 80$ . Чорний колір відповідає порам. На кожному зображенні пори ростуть зверху вниз. Кожен рядок і стовпець матриці помічені значеннями ефективних параметрів моделювання  $R_D$  і  $L$ . Видно, що діаметр пор збільшується з ростом  $L$ , що відповідає зростанню щільності струму і/або зменшенню концентрації  $\text{HF}$ . У межах діаметра  $L$  пори безперервні в латеральному напрямі, що узгоджується з результатами ПЕМ з високою роздільною здатністю для мікро- і макropоруватих шарів кремнію. Безперервність досягається завдяки включенню в моделювання фактора  $L$ , позаяк моделювання, засноване на традиційній моделі обмеження дифузії, дає змогу отримувати тільки розгалужені пори. Для  $L = 4$  і  $R_D = 0$  щільність струму досить велика, щоб досягався ефект електрополірування. Зростання  $R_D$  при-

зводить до витягування пор і збільшення відстані між ними. За  $L = 0$  і  $R_D = 10$  і  $20$  напрям росту практично передбачуваний, оскільки активна зона для кожної пори обмежена її нижньою точкою. Подібні умови були реалізовані Леманном і ін. [9] у використанні затравочних лунок і зворотного засвічення. Кожному зображенню на рис. 4 можна поставити у відповідність один із зразків реального  $\text{GaAs}$ .

Для отримання поруватих шарів  $\text{GaAs}$  застосовувалися пластини  $n\text{-GaAs}$  (100), леговані оловом. Перед анодним травленням пластини піддавали хімічному очищенню стандартними методами з використанням трихлоретилену, ацетону та метанолу послідовно і після очищення промивали дистильованою водою. Травителем використовувався розчин  $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:1$ .

Для вирощування поруватих шарів було обрано двокамерну комірку з можливістю освітлення зразків через вікно.

Один із головних чинників, що впливає на параметри поруватих шарів, використовуючи електролітичний метод, є струм/напруга анодування. Тому увагу було сконцентровано на блок живлення для контрольованого технологічного процесу вирощування.

Під час проектування було синтезовано структурну схему, яку зображено на рис. 5.

Електрохімічні комірки виконані з фторопласту. Як катод застосовуються пластини з платини, котрі з'єднані з блоком живлення, який контролює струм/напругу під час травлення. Для дослідження впливу різних спектрів світла під час травлення на зміну параметрів поруватого шару використовуються змінні фотофільтри. Для автоматичного контролю використовується персональний комп'ютер, що керує блоком реле для включення примусового освітлення, блоком живлення та контролює вихідні параметри струму/напруги.

Як експрес-аналіз впливу морфології шарів поруватого  $\text{GaAs}$  на спектри випромінювання застосовувався метод фотолюмінесценції (ФЛ), яка збурювалась лазером з довжиною хвилі 405 нм. Спектри ФЛ вимірювалися за кімнатної температури за допомогою ІК спектрофотометра. Для усунення можливого побічного випромінювання на виході лазера поміщали оптичний фільтр, який пропускав тільки основне випромінювання лазера, а на вході спектрометра розміщували фільтр, який не пропускав лазерне випромінювання. У збуренні ФЛ отриманих шарів було виявлено яскраве випромінювання в зелено-жовтому діапазоні хвиль.

Залежність інтенсивності ФЛ від інтенсивності збудження була практично лінійною. Мікроструктура області світіння була досить однорідною, а інтенсивність випромінювання – стабільною в часі. Для всіх шарів спостерігається зрушення ІК максимуму в короткохвильову область спектра ФЛ. Всі зразки  $\text{p-GaAs}$  мають ФЛ у видимій області спектра. Інтенсивність і форма смуги залежать від умов отримання поруватих шарів (рис. 6). Можна бачити, що інтенсивність ФЛ збільшується, а її пікова довжина хвилі зменшується, коли

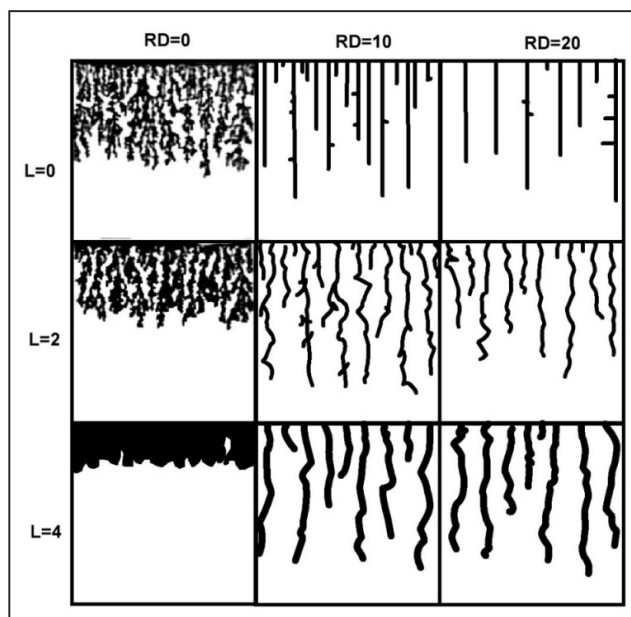


Рис. 4. Матриця зображень поруватої структури, отриманих у варіації параметрів моделювання  $R_D$  і  $L$ . Пори пофарбовано в чорний колір і ростуть вони зверху вниз

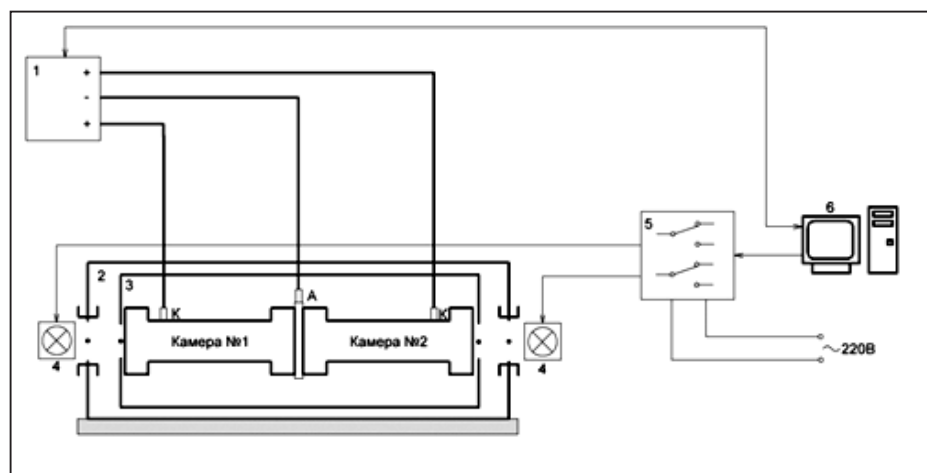


Рис. 5. Схема структурна комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів вирощування поруватого шару: А – анод; К – катод; 1 – блок живлення; 2 – герметична камера; 3 – електрохімічна комірка; 4 – лампи для примусового освітлення; 5 – блок реле для живлення ламп; 6 – персональний комп'ютер

поруватість збільшується. Це пов'язано з тим, що зі збільшенням поруватості шару зменшується середній розмір мікропор, отже, зростає щільність люмінесцентних нанокристалів. Збільшення поруватості також означає і зменшення кількості матеріалу, що залишився в структурі. Продовження процесу розчинення протягом тривалого часу за високого струму зрештою призводить до зменшення інтенсивності ФЛ.

Видно, що тривале травлення за малої щільності струму  $10 \text{ mA/cm}^2$  призводить до більш розвиненої поверхні з меншими розмірами характерних структур, ніж за меншого часу травлення, але з великою щільністю струму  $30 \text{ mA/cm}^2$  і  $100 \text{ mA/cm}^2$ . Для математичної характеристики текстури поверхні використовуємо середню квадратичну шорсткість  $S_q$ , яка визначається як:

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \hat{H})^2}{N}}, \quad (1.2)$$

де  $N$  – число вимірюваних точок,  $\hat{H}$  – середня висота (нульовий рівень), висота  $i$ -тої точки. Результати вимірювань показали, що середня квадратична шорсткість для зразків а, б та в відповідно  $S_{q_a} = 2,96 \text{ nm}$ ,  $S_{q_b} = 1,85 \text{ nm}$ ,  $S_{q_v} = 1,63 \text{ nm}$ .

Дослідження ФЛ поверхні  $\text{p-GaAs}$  продемонструвало, що зі збільшенням густини струму поверхня плівок стає більш гладкою порівняно з  $\text{p-GaAs}$ , отриманим за струму  $j = 10 \text{ mA/cm}^2$ . Калібрувальні дослідження з визначення пористості показали, що за збільшення щільності струму від  $j = 10 \text{ mA/cm}^2$  до  $j = 100 \text{ mA/cm}^2$  відбувається зменшення пористості від 50% до 30%, а характерні розміри зменшуються від 8,0 нм до 4,2 нм.

Нижче наведено дані у табл. 1 та 2 для порівняння моделювання і експерименту. У табл. 1 густина анодного струму є єдиним змінним параметром. В інтервалі  $20 \text{ mA/cm}^2 \leq j \leq 40 \text{ mA/cm}^2$  спостерігається гарна відповідність. Для відповіді на запитання, чому виникають розбіжності за густини струму вище  $40 \text{ mA/cm}^2$ , необхідно пояснити, що в моделі значення  $P = 100\%$  зумовлено рівністю діаметра пор відстані між ними. При цьому для більшості

Таблиця 1

Порівняння залежностей пористості  $P$  від щільності анодного струму  $j$ , отриманих у моделі і в експерименті. Рівень, концентрації  $\text{HF}=20\%$  у розчині електроліту

| $j$<br>$\text{mA/cm}^2$ | $N_s$<br>$\text{cm}^{-2}$ | $D_{\text{мод}}$<br>нм | Дексп<br>нм   | $P_{\text{мод}}$<br>% | $P_{\text{експ}}$<br>% |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------|-----------------------|------------------------|
| 1                       | —                         | $7 \pm 3$              | —             | 33                    | $31 \pm 2$             |
| 2                       | —                         | $7 \pm 3$              | —             | 33                    | $31 \pm 2$             |
| 5                       | $4 \times 10^{11}$        | $7 \pm 3$              | —             | 33                    | $32 \pm 2$             |
| 10                      | $4 \times 10^{11}$        | $7 \pm 3$              | —             | 33                    | $36 \pm 3$             |
| 15                      | $4 \times 10^{11}$        | 7,5                    | $7,5 \pm 0,5$ | 40                    | $40 \pm 3$             |
| 20                      | $4 \times 10^{11}$        | 8,3                    | —             | 49                    | $46 \pm 3$             |
| 30                      | $4 \times 10^{11}$        | 11,1                   | —             | 68                    | $53 \pm 3$             |
| 40                      | $4 \times 10^{11}$        | 11,8                   | —             | 79                    | $61 \pm 3$             |
| 60                      | $4 \times 10^{11}$        | 15,8                   | —             | 100                   | $65 \pm 3$             |
| 80                      | $4 \times 10^{11}$        | 19,4                   | —             | 100                   | $74 \pm 3$             |

Таблиця 2

Порівняння характерних значень діаметра пор залежно від щільності анодного струму  $j$  і концентрації  $\text{HF}=20\%$  у розчині електроліту з, отриманих у моделі і в експерименті

| $j$<br>$\text{mA/cm}^2$ | $c$<br>вага, % | $\rho$<br>$\text{cm}^{-3}$ | $\rho$<br>$\text{Om} \times \text{cm}$ | $R_p$<br>нм | $D_{\text{мод}}$<br>нм | Дексп<br>нм |
|-------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| 10                      | 49             | $10^{17}$                  | 0,09                                   | 10          | 2                      | $8 \pm 2$   |
| 10                      | 10             | $10^{17}$                  | 0,09                                   | 10          | 55                     | $40 \pm 5$  |
| 2                       | 49             | —                          | 0,01                                   | —           | $7 \pm 3$              | $4 \pm 1$   |

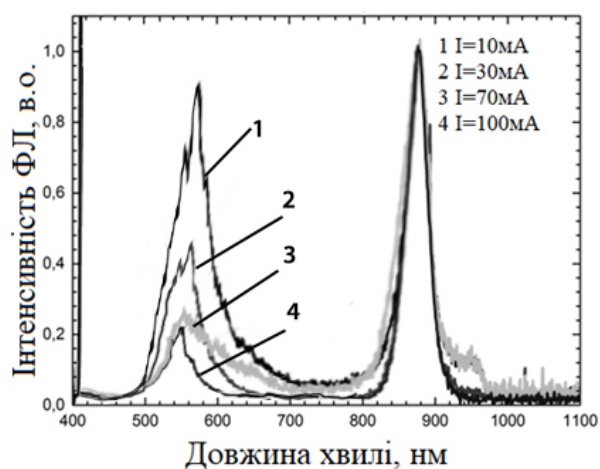


Рис. 6. Фотолюмінесценція зразків porousGaAs, отриманих за струмів травлення  $10 \div 100 \text{ mA}$

пор виконувалася умова, коли їх діаметр перевищував міжпорувату відстань і під старими

порами формувалася одна пора великого діаметра (25–100 нм). Однак травлення арсенід галієвих міжпоруватих перегородок товщиною 10 нм пригнічується, мабуть, через ефект розмірного квантування, який у моделі освіти сильно легованого кремнію не враховувався.

**Висновки.** Отримала подальший розвиток модель процесу вирощування поруватого арсеніду галію за анодного травлення в розчині  $\text{HF}$ , яка відрізняється тим, що дає змогу враховувати щільність струму та концентрації розчину впливу на морфологію поруватої плівки арсеніду галію.

Удосконалено метод отримання поруватого шару на підкладках  $n\text{-GaAs}$ , який відрізняється застосуванням струму з амплітудою 30 мА та визначено час травлення, який становив 3 хвилини, що дало змогу зменшити нерівномірність поруватого шару на 5% та отримати поруватість параметрів фотолюмінесценції поруватого шару для партії підкладок.

#### Список літератури:

1. Sailor M.J. Sensor applications of porous silicon / L. Canham. Properties of porous silicon. London: INSPEC, 1997. P. 364–370.
2. Lehmann V., Gosele U. Porous silicon formation: A quantum wire effect. Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58. № 8. P. 856–858.
3. Sabataityte J., Simkiene I., Bendorius R.A., Grigoros K., Jasutis V., Pacebutas V., Tvardauskas H., Naudzius, K. Morphology and strongly enhanced photoluminescence of porous GaAs layers made by anodic etching. Mater. Sci. Eng. 2002. V. 19. Iss. 1–2. P. 155–159.

4. Optical and Electrical Properties of Porous Gallium Arsenide. / N.S. Averkiev, L.P. Kazakova, É.A. Lebedev, Yu.V. Rud', A.N. Smirnov and N.N. Smirnova. Semiconductors, Vol. 34, No. 6, 2000, pp. 732–736.
5. Salehi A., Nikfarjam A., Kalantari D.J. Pd/porous-GaAs Schottky contact for hydrogen sensing application. Sensors Actuators B. 2006. V. 113. P. 419–427.
6. Porous GaAs as a possible antireflective coating and optical diffusor for III–V solar cells Giovanni Flamand\* and Jef Poortmans phys. stat. sol. (a) 202, No. 8, 1611–1615 (2005).
7. Alireza Salehi, Alireza Nikfarjam, and Dara Jamshidi Kalantari. Highly Sensitive Humidity Sensor Using Pd/Porous GaAs Schottky Contact. IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 6, NO. 6, DECEMBER 2006. 1415–1421.
8. Александров Л.Н., Новиков П.Л. Моделирование образования структур пористого кремния. Письма в ЖЭТФ, 1997, т. 65, № 9, С. 685–690.
9. Aleksandrov L.N. and Novikov P.L. Mechanisms of formation and topological analysis of porous silicon – computational modeling. Computational modeling of issues in materials science. Symposium Proc, 1997, v. 70, p. 406–410; Computational materials science, 1998, v. 10, p.406-410.

#### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО СЛОЯ НА ПОДКЛАДКАХ N-GAAS

*В работе предложен метод получения пористого слоя на подкладках n-GaAs, который отличается применением тока с амплитудой 30 мА и определено время травления, составившее 3 минуты, что позволило уменьшить неравномерность пористого слоя на 5% и получить пористость параметров фотолюминесценции пористого слоя для партии подкладок.*

**Ключевые слова:** полупроводник, пористость, GaAs, диод, Шоттки.

#### IMPROVING THE METHOD OF RECEIVING THE PURPOSE OF THE N-GAAS DEPOSITS

*The method of obtaining a porous layer on the n-GaAs substrates is proposed, which differs by applying a current of 30 mA amplitude and determines the time of etching which was 3 minutes, which allowed to reduce the unevenness of the porous layer by 5% and obtain porosity of the parameters of the photoluminescence of the porous layer for the batch of substrates.*

**Key words:** semiconductor, porosity, GaAs, diode, Schottky.

## Відомості про авторів

**Агафонова І.П.** – Бендерська політехнічна філія Державної освітньої установи «Придністровський державний університет імені Т.Г. Шевченка»;

**Антонов А.В.** – кандидат технічних наук, асистент кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна;

**Афанасьєв В.В.** – кандидат технічних наук, доцент Криворізького національного університету;

**Бідюк Д.О.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету;

**Білей-Рубан Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри легкої промисловості і професійної освіти Мукачівського державного університету;

**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;

**Босий Д.О.** – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна;

**Брунеткін А.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем управління Одеського національного політехнічного університету;

**Вагнер М.А.** – старший лаборант кафедри «Експлуатація суднових енергетичних установок» Азовського морського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

**Валевська Л.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;

**Овсянникова Л.К.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;

**Соколовська О.Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;

**Орлова С.С.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електромеханіки та мехатроніки Одеської національної академії харчових технологій;

**Гришук Ю.В.** – аспірант кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;

**Валовой М.О.** – кандидат технічних наук, доцент Криворізького національного університету;

**Валовой О.І.** – кандидат технічних наук, професор Криворізького національного університету;

**Величко О.О.** – магістрант кафедри технологій зварювання та будівництва Чернігівського національного технологічного університету;

**Воропай В.С.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій підприємств Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет»;

**Герб П.І.** – кандидат технічних наук, доцент Криворізького національного університету;

**Голяка А.В.** – студент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Гомеля М.Д.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Гушпіт Л.О.** – аспірант кафедри готельно-ресторанного бізнесу Одеської національної академії харчових технологій;

**Доценко Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту Національного аерокосмічного університету імені М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

**Душенюк Д.К.** – аспірант кафедри технології харчування Харківського державного університету харчування та торгівлі;

**Єрмоменко О.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент Криворізького національного університету;  
**Жгаллі Шариф** – аспірант кафедри Металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури;

**Журахов В.А.** – магістр кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету;

**Заруба Д.С.** – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Іванова С.С.** – Бендерська політехнічна філія Державної освітньої установи «Придністровський державний університет імені Т.Г. Шевченка»;

**Іващенко А.С.** – студент Сумського національного аграрного університету;

**Кобринська Л.В.** – Подільський державний аграрно-технічний університет;

**Когдась М.Г.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Кожевнікова В.О.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри готельно-ресторанного бізнесу Одеської національної академії харчових технологій;

**Колб Ю.І.** – аспірант кафедри технології біологічно активних сполук фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»;

**Комарницький С.П.** – Подільський державний аграрно-технічний університет

**Конечна Р.Т.** – доцент кафедри технології біологічно активних сполук фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

**Косарєв Є.М.** – кандидат технічних наук, асистент кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна;

**Кошель О.Ю.** – аспірант кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету;

**Кравченко С.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедр залізобетонних конструкцій і транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури;

**Крикун Л.Ю.** – магістрант Дніпровського державного аграрно-економічного університету;

**Курпе О.Г.** – кандидат технічних наук, головний експерт МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ;

**Кухар В.В.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обробки металів тиском ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»;

**Левенко Г.М.** – асистент Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Литвиненко В.П.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Експлуатація суднових енергетичних установок» Азовського морського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

**Ложечникова Н.В.** – аспірант кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій Одеського національного політехнічного університету;

**Максимів Ю.І.** – магістрант Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького;

**Мамонов К.А.** – доктор економічних наук, професор, декан будівельного факультету Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Маренкова Т.І.** – старший викладач кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету;

**Мащенко М.А.** – аспірант кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Миколенко С.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрно-економічного університету;

**Михайлов В.С.** – інженер ПАТ «Українська залізниця»;

**Назаренко Ю.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології молока та м'яса Сумського національного аграрного університету;

**Некрасов А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних машин та апаратів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

- Нестерович С.О.** – студент Одеського національного політехнічного університету;
- Новіков В.П.** – професор кафедри технології біологічно активних сполук фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»;
- Новомлинець О.О.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технологій зварювання та будівництва Чернігівського національного технологічного університету;
- Носко В.Л.** – Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;
- Оксанич А.П.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;
- Онищенко А.О.** – аспірант кафедри електричних машин та апаратів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;
- Пантелєєва І.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії;
- Перцевой Ф.В.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету;
- Пілічева М.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;
- Поліщук Д.В.** – ТД ВО «Машинобудівний завод»;
- Поморцева О.Є.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;
- Попик Н.В.** – магістрант 2 курсу спеціальності «Геодезія та землеустрій» Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;
- Постернак О.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій і транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури;
- Прибисько І.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Чернігівського національного технологічного університету;
- Притчин С.Е.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;
- Римар Т.Е.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;
- Самченко Р.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Запорізької державної інженерної академії;
- Сирота О.П.** – кандидат технічних наук, старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Скульська І.В.** – кандидат технічних наук, асистент кафедри технології молока і молочних продуктів Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького;
- Славін В.В.** – кандидат технічних наук, асистент кафедри професійної та технологічної освіти і загальної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;
- Смірнова О.О.** – аспірант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Спиридонов В.В.** – старший викладач кафедри «Експлуатація суднових енергетичних установок» Азовського морського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;
- Стародуб А.О.** – магістр Одеського національного політехнічного університету;
- Стоянов В.В.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури;
- Супрунцова Ю.О.** – магістр кафедри комп'ютерних систем управління Одеського національного політехнічного університету;
- Тарахтій О.С.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Одеського національного політехнічного університету;
- Твердохліб М.М.** – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Ткачук А.І.** – магістрант Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

**Ткачук О.В.** – асистент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Одеської національної академії харчових технологій;

**Томаш В.В.** – кандидат педагогічних наук, асистент кафедри професійної та технологічної освіти і загальної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;

**Трач Р.В.** – кандидат економічних наук, доцент Національного університету водного господарства та природокористування;

**Трейтяк Ю.А.** – аспірант кафедри технології молока та м'яса Сумського національного аграрного університету;

**Трохименко Г.Г.** – кандидат біологічних наук, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Турчин І.М.** – кандидат технічних наук, доцент Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького;

**Фролова Л.А.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин і екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»;

**Холод О.Г.** – старший викладач кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Хохлов Ю.В.** – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Цісарик О.Й.** – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри технології молока і молочних продуктів Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького;

**Черкасова В.В.** – студентка кафедри організації міжнародних перевезень і логістики Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет»;

**Чернов М.Ю.** – магістр Одеського національного політехнічного університету;

**Швець М.Ю.** – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Шебаніц О.М.** – керівник лабораторії ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА», МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ;

**Шелудченко Л.С.** – кандидат технічних наук, доцент Подільського державного аграрно-технічного університету;

**Шершун М.І.** – магістр спеціальності 182 Технології легкої промисловості освітньо-професійної програми «Конструювання та технології швейних виробів» Мукачівського державного університету;

**Шуриберко М.М.** – аспірант кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Щербак Д.В.** – бакалавр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Юхименко А.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Запорізької державної інженерної академії;

**Ющенко С.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Чернігівського національного технологічного університету;

**Ягмурджи А.А.** – студент кафедри організації перевезень та управління на автомобільному транспорті Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет».

## НОТАТКИ

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 29 (68) № 6 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. 20.41. Ум.-друк. арк. 28,83. Зам. № 0119/02

Підписано до друку 28.12.2018. 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.