

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

*Журнал заснований у 1918 році*

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 30 (69) № 4 2019**

**Частина 2**

**Київ  
2019**

## **Головний редактор:**

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

## **Члени редакційної колегії:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet  
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського  
(протокол № 1 від 28.08.2019 року)**

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

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 № 1714 (додаток 7)

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

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

**ISSN 2663-5941 (Print)**  
**ISSN 2663-595X (Online)**

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2019

## ЗМІСТ

### ЕНЕРГЕТИКА

<b>Аракелян В.П.</b> ОЦЕНКА ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ Z-МАТРИЦЫ НОВОГО ТИПА.....	1
<b>Бошкова И.Л., Волгушева Н.В., Колесниченко Н.А., Бошков Л.З., Паскаль А.А.</b> ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАГРЕВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ.....	6
<b>Кобзар С.Г., Коваленко Г.В.</b> ЗАВИХРЕННЯ ВТОРИННОГО ПОВІТРЯ В ПАЛЬНИКАХ КОТЛА ЯК СПОСІБ ВПЛИВУ НА ПРОЦЕС УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ.....	12
<b>Михайленко О.Ю., Карабут Н.О., Мельник О.Є., Кузьменко А.С., Коломіц Г.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НИЗЬКОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ.....	18
<b>Халатов А.А., Коваленко Г.В., Мулярчук М.А., Степанюк О.Ю.</b> КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ОБТІКАННЯ ПОВІТРЯМ ЦИЛІНДРА ЗІ СПІРАЛЬНОЮ КАНАВКОЮ.....	27
<b>Чернюк А.М., Кирисов І.Г., Сук І.В., Карлова О.М., Білоус І.О.</b> АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	33

### РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

<b>Садовенко І.О., Інкін О.В., Дерев'ягіна Н.І., Хрипливець Ю.В.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СХОВИЩ ГАЗУ У ВОДОНОСНИХ ШАРУВАТИХ ПЛАСТАХ.....	42
--	----

### ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>Іванченко А.В., Чорнобривець Д.О., Дем'янченко О.Є., Медвецький В.В., Караван Н.А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СТАДІЙ СОРБЦІЇ ТА ЕКСТРАКЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЗАКИСУ-ОКИСУ УРАНУ.....	50
<b>Іванченко А.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ З ВІДХОДІВ.....	55
<b>Майзеліс А.О.</b> ВПЛИВ УМОВ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИШАРОВИХ ПОКРИТТІВ (Zn-Ni) <sub>1</sub> /(Zn-Ni) <sub>2</sub> НА ЇХ МЕХАНІЧНУ ТА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ.....	61
<b>Пилипенко Т.М., Єфімова В.Г., Денисюк І.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМЕТИЧНИХ РІДИН ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ.....	67
<b>Товажнянський Л.Л., Лобойко В.О., Кобзев О.В., Сінческул О.Л.</b> ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ КОНЦЕНТРАЦІЇ СО <sub>2</sub> НА РІВНОВАГУ РЕАКЦІЇ ДВОСТУПЕНЕВОЇ КОНВЕРСІЇ СО З ВОДЯНОЮ ПАРОВОЮ І КІНЦЕВИЙ ВМІСТ СО В КОНВЕРТОВАНОМУ ГАЗІ.....	72

### ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<b>Антоненко А.В., Земліна Ю.В., Грищенко І.М., Приходько К.О., Супрун Б.М., Порохня Ю.В.</b> ТЕХНОЛОГІЯ БОРОШНЯНИХ СТРАВ НА ОСНОВІ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ.....	77
--	----

<b>Білей-Рубан Н.В., Полуда С.Н.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ОДЯГУ НА ОСНОВІ ЕРГОНОМІЧНОЇ РЕОРГАНІЗАЦІЇ РОБОЧИХ МІСЦЬ.....	83
<b>Грушковська А.О., Даниленко С.Г., Крижська Т.А., Хоньків М.О.</b> ВПЛИВ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ НА ПОКАЗНИКИ ЖИТНЬОЇ ЗАКВАСКИ.....	92
<b>Лісніченко О.О., Соколова Є.Б., Карпенко З.П.</b> РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ БІОЛОГІЧНОЮ ЦІННІСТЮ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ КОНЦЕНТРАТУ СИРОВАТКОВОГО БІЛКА.....	98
<b>Медвідь І.М., Шидловська О.Б., Доценко В.Ф.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРОКОЛОЇДІВ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІСТА І ЯКІСТЬ БЕЗГЛУТЕНОВОГО ХЛІБА.....	104
<b>Ройко О.М., Арсеньєва Л.Ю., Ройко О. Ю., Паламарчук О.П.</b> ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРАКТИВ НА ОСНОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ФІТОКОМПОЗИЦІЇ «АНТИСТРЕС» АДАПТОГЕННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	111
<b>Сімахіна Г.О.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАМОРОЖУВАННЯ ЯГІД ПОЄДНАННЯМ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ І КРІОПРОТЕКЦІЇ.....	117
<b>Скрипніченко Д.М., Казюк В.О., Безземельний О.М.</b> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СИРОВАТКОВИХ НАПОЇВ СПОРТИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	122
<b>ТРАНСПОРТ</b>	
<b>Коскіна Ю.О.</b> ДЕКОМПОЗИЦІЯ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ ЗА УЧАСТІ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З ПОЗИЦІЙ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ.....	128
<b>Larkina I.O., Malaksiano M.O., Glavatskykh V.I.</b> TO THE ISSUE OF THE POSSIBILITY OF OPERATING VESSELS AT SLOW SPEEDS.....	134
<b>Стрелко О.Г., Кириченко Г.І., Бердниченко Ю.А., Лиман А.С.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ З ОГЛЯДУ НА ДОСВІД ІНШИХ ДЕРЖАВ.....	141
<b>Шевчук В.В., Кутковецька Т.О.</b> АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ МОБІЛЬНИХ МАШИН.....	146
<b>ЕЛЕКТРОНІКА</b>	
<b>Очеретько О.Я., Розорінов Г.М.</b> ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТА ЗАХИСТУ ЦИФРОВИХ КІНОФІЛЬМІВ.....	151
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	159

# CONTENTS

## POWER ENGINEERING

- Arakelyan P.A.**  
ESTIMATION OF THE VOLTAGE DROP  
IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM USING A Z-MATRIX OF A NEW TYPE .....1
- Boshkova I.L., Volgusheva N.V., Kolesnichenko N.F., Boshkov L.Z., Paskal A.A.**  
ENERGY EFFICIENCY OF HEATING DIELECTRIC MATERIALS IN A MICROWAVE FIELD .....6
- Kobzar S.G., Kovalenko G.V.**  
SWIRLING OF SECONDARY AIR IN BOILER COMBUSTORS  
AS A METHOD OF INFLUENCE ON THE PROCESS OF NITROGEN OXIDE PRODUCTION .....12
- Mykhailenko O.Yu., Karabut N.O., Melnyk O.Ye., Kuzmenko A.S., Kolomits H.V.**  
THE EFFECTIVENESS RESEARCH OF USING SMALL WIND TURBINES IN CITIES POWER GRIDS ....18
- Khalatov A.A., Kovalenko G.V., Muliarchuk M.A., Stepaniuk O.Yu.**  
COMPUTER SIMULATION OF CROSS-FLOWING THE CYLINDER  
WITH A SPIRAL GROOVE BY AIR .....27
- Chernyuk A.M., Kirisov I.G., Suk I.V., Karlova E.N., Belous I.A.**  
ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL SCHEMES OF ELECTRIC ENERGY GENERATION  
BY ALTERNATIVE ENERGY SOURCES .....33

## RESOURCE DEVELOPMENT

- Sadovenko I.O., Inkin O.V., Dereviahina N.I., Hriplivec Yu.V.**  
MODELING OF GAS-DYNAMICAL INDICATION OF OPERATION  
OF GAS STORAGE IN WATER-BEARING STRATIFIED SEAMS .....42

## CHEMICAL TECHNOLOGY

- Ivanchenko A.V., Chornobryvets D.O., Demianchenko O.E., Medvetskyi V.V., Karavan N.A.**  
STUDY OF THE SORPTION AND EXTRACTION STAGES IN TECHNOLOGY  
OF URANIUM NITROUS OXIDE.....50
- Ivanchenko A.V.**  
INVESTIGATION PROCESS OF OBTAINING SODIUM CARBONATE IN WASTE .....55
- Maizelis A.O.**  
INFLUENCE OF CONDITIONS OF  $(Zn-Ni)_1/(Zn-Ni)_2$  MULTILAYER COATINGS FORMATION  
ON THEIR MECHANICAL AND CORROSION RESISTANCE .....61
- Pylypenko T.M., Yefimova V.G., Denysiuk I.V.**  
RESEARCH PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COSMETIC LIQUIDS FOR FACE .....67
- Tovazhnyanskyy L.L., Loboiko V.O., Kobziev O.V., Sincheskul O.L.**  
THEORETICAL SUBSTANTIATION OF  $CO_2$  CONCENTRATION INFLUENCE  
ON EQUILIBRIUM OF CO SHIFT CONVERSION REACTION AND ON CO CONCENTRATION  
IN AN EXCURRENT MIXTURE.....72

## TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

- Antonenko A.V., Zemlina U.V., Grischenko I.M., Prikhodko K.O., Suprun B.M., Porohnya U.V.**  
TECHNOLOGY OF FLOAT DISHES BASED ON NON-TRADITIONAL PRODUCTS .....77
- Bilei-Ruban N.V., Poluda S.N.**  
IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR THE PRODUCTION OF CLOTH  
ON THE BASIS OF THE ERGONOMIC REORGANIZATION OF WORK PLACES .....83

<b>Hrushkovska A.O., Danylenko S.H., Kryzhska T.A., Khonkiv M.O.</b> APPLICATION OF LACTIC ACID BACTERIA ON THE INDICATORS OF RYE SOURCE .....	92
<b>Lisnichemko E.O., Sokolova E.B., Karpenko Z.P.</b> DEVELOPMENT OF THE RECIPES MELTED CHEESE WITH ENHANCED BIOLOGICAL VALUE THROUGH THE INTRODUCTION OF SERUM CONCENTRATE PROTEIN .....	98
<b>Medvid I.M., Shydlovska O.B., Dotsenko V.F.</b> THE RESEARCH OF HYDROCOLLOIDS INFLUENCE ON STRUCTURAL MECHANICAL DOUGH PROPERTIES AND QUALITY OF GLUTEN FREE BREAD .....	104
<b>Roiko O.M., Arsenyeva L.Yu., Roiko O.Yu., Palamarchuk O.P.</b> REASONING AND DEVELOPING OF TECHNOLOGY FOR EXTRACT ON THE BASIS OF FUNCTIONAL PHYTOCOMPOSITE “ANTI-STRESS” WITH ADAPTOGENIC ACTION .....	111
<b>Simakhina G.O.</b> IMPROVEMENT OF BERRY FREEZING TECHNOLOGY BY COMBINATION OF ARTIFICIAL COLD AND CRYOPROTECTION .....	117
<b>Skrypnychenko D.M., Kaziuk V.O., Bezzemelnyy O.M.</b> THE TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF WHEY DRINKS WITH A SPORT PURPOSE .....	122
<b>TRANSPORT</b>	
<b>Koskina Yu.O.</b> PROCESS APPROACH TO DESCRIPTION OF DELIVERY OF GOODS WITH PARTICIPATION OF MARITIME TRANSPORT .....	128
<b>Lapkina I.O., Malaksiano M.O., Glavatskykh V.I.</b> TO THE ISSUE OF THE POSSIBILITY OF OPERATING VESSELS AT SLOW SPEEDS.....	134
<b>Strelko O.H., Kyrychenko H.I., Berdnychenko Yu.A., Lyman A.S.</b> IMPROVEMENT OF CUSTOMER SERVICE SYSTEM ON UKRAINIAN RAILWAYS BASED ON THE EXPERIENCE OF OTHER STATES.....	141
<b>Shevchuk V.V., Kutkovetska T.O.</b> ANALYSIS OF THE MOBILE MACHINES HYDRAULIC SYSTEMS DURABILITY .....	146
<b>ELECTRONICS</b>	
<b>Ocheretko O.Y., Rozorinov H.M.</b> DIGITAL MOVIE DISTRIBUTION AND PROTECTION TECHNOLOGIES .....	151
<b>INFORMATION ABOUT THE AUTHORS</b> .....	159

УДК 621.3.061

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/01>**Аракелян В.П.**

Национальный политехнический университет Армении

## ОЦЕНКА ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ Z-МАТРИЦЫ НОВОГО ТИПА

*Вступне слово про тему дослідження: управління електроенергетичними системами здійснюється зі зміною параметрів режиму і схеми. Режим роботи системи характеризується параметрами, які в процесі ведення режиму можна змінити. Напряга вважається одним з важливих параметрів режиму системи. Під час досліджень режимів системи, необхідно враховувати вплив падіння напруги на якість електроенергії. Мета наукового дослідження – оцінка падіння напруги з застосуванням Z-матриці узагальнених параметрів схеми електроенергетичної системи. Опис наукової та практичної значущості роботи. Наукова цінність роботи: представлено новий підхід, в основі якого лежить застосування Z-матриці узагальнених параметрів. Практична значущість: забезпечує універсальність для оцінки якості електроенергії в живильних і системоутворюючих електричних мережах. Представлений новий підхід, в основі якого лежить застосування Z-матриці узагальнених параметрів.*

*Опис методології дослідження: з огляду на різні види моделювання ЛЕП сучасних ЕЕС, складність схем електричних мереж, з допомогою Z-матриці отримані нові формули падіння напруги. Основні результати, висновки дослідницької роботи: дослідження проводилося для макромоделі ЕЕС Вірменії. Аналіз показує, що запропоновані формули прийнятним для живильних мереж. У формулах розглядаються синтез компонентів падіння напруги та параметрів схеми. Цінність проведеного дослідження (який внесок даної роботи в відповідну галузь знань): запропонований підхід розширює визначення меж взаємодії узагальнених параметрів і напруги. Практичне значення результатів роботи: отримані компактні формули дозволяють всебічно проаналізувати коефіцієнт падіння напруги.*

*Висновок з даного дослідження, містить розрахунок напружень із застосуванням Z-матриці в ЕЕС з мережами 110-220 кВ без урахування поперечних пасивних параметрів ЛЕП, не вносить суттєвих змін, а лише ускладнює процес розрахунку. Наведено, значення коефіцієнта падіння напруги відповідає вимогам міждержавного стандарту ГОСТ-13109-97,  $K_{Uij} \wedge 220 \leq 1.15$ . Зроблено, розрахунок напружень і оцінка падіння напруги із застосуванням Z-матриці в ЕЕС з мережами 110-220 кВ, може здійснюватися без урахування поперечних пасивних параметрів ЛЕП і складена в середовищі Java комп'ютерна програма забезпечує високу точність розрахунків та широкі межі застосування.*

*Перспективи подальших досліджень спрямовані на дослідження розрахунку напруг із застосуванням Z-матриці в системоутворюючих електричних мережах з урахуванням поперечних пасивних параметрів ЛЕП і на дослідження розрахунку втрат потужності з застосуванням Z-матриці в електричних мережах з урахуванням поперечних пасивних параметрів ЛЕП.*

**Ключові слова:** електроенергетична система, узагальнений параметр, поперечний параметр, позовжній параметр, падіння напруги.

**Постановка проблеми.** Развитие современной электроэнергетики сопровождается ростом установленной мощности электростанций и мощности потребителей электроэнергии, усложнением конфигурации электрических сетей. Элементы электроэнергетических систем имеют множество внутренних и наружных связей, которые требуют большого объема информации для расчета и анализа ее режимов. Модель схемы электрической системы характеризует конфигу-

рацию электрической сети. Электрическая схема моделируется с помощью схем замещения элементов системы. Схемы замещения содержат продольные и поперечные пассивные параметры линий электропередач, трансформаторов. Пассивные параметры образуют Z-матрицу обобщенных параметров сети. С этой точки зрения усложняется управление режимов электроэнергетических систем. Один из важных задач управления режимами, является обеспечение в узлах

электроэнергетической (электрической) системы допустимый уровень напряжения в соответствии с ГОСТ-13109-97.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Узловые напряжения системы зависят от падения напряжения в линиях электропередач. Уравнения узловых напряжений в матричной форме будет [3]:

$$\dot{U} = \dot{U}_{0Б} + Z \cdot \dot{I}, \quad (1)$$

где  $\dot{U}_{0Б}$  – вектор-столбец, каждый элемент которого равен напряжению базисного узла;  $\dot{U}$  и  $\dot{I}$  – вектор-столбцы узловых комплексных напряжений и токов;  $Z = Y^{-1}$  – узловая комплексная матрица собственных и взаимных сопротивлений.

Возможности компьютерных технологий позволяют моделировать режимы электрических систем, учитывая формулы обобщенных параметров [6-8].

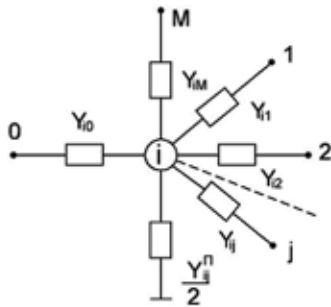


Рис. 1. Схема узла ЭЭС

Представляя линию электропередачи (ЛЭП) моделью  $Y$ , для взаимных комплексных проводимостей получим:

$$\begin{aligned} Y_{i0} &= (Z_{i0})^{-1}, Y_{i1} = (Z_{i1})^{-1}, \\ Y_{i2} &= (Z_{i2})^{-1}, \dots, Y_{ij} = (Z_{ij})^{-1}, Y_{iM} = (Z_{iM})^{-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Полные комплексные сопротивления ветвей определяются в виде:

$$\begin{cases} Z_{i0} = \dot{W}_{B,i0} sh \dot{\gamma}_{0,i0} l_{i0}, Z_{i1} = \dot{W}_{B,i1} sh \dot{\gamma}_{0,i1} l_{i1}, \\ Z_{i2} = \dot{W}_{B,i2} sh \dot{\gamma}_{0,i2} l_{i2}, Z_{i3} = \dot{W}_{B,i3} sh \dot{\gamma}_{0,i3} l_{i3}, \\ \dots \\ Z_{ij} = \dot{W}_{B,ij} sh \dot{\gamma}_{0,ij} l_{ij}, Z_{iM} = \dot{W}_{B,iM} sh \dot{\gamma}_{0,iM} l_{iM}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\dot{W}_{B,i0}, \dot{W}_{B,i1}, \dot{W}_{B,i2}, \dots, \dot{W}_{B,ij}, \dot{W}_{B,iM}$  – комплексные величины волновых сопротивлений ЛЭП;  $\dot{\gamma}_{B,i0}, \dot{\gamma}_{B,i1}, \dot{\gamma}_{B,i2}, \dots, \dot{\gamma}_{B,ij}, \dot{\gamma}_{B,iM}$  – комплексные коэффициенты распространения волны ЛЭП;  $l_{B,i0}, l_{B,i1}, l_{B,i2}, \dots, l_{B,ij}, l_{B,iM}$  – длины ЛЭП.

Учитывая узловую  $Z$ -матрицу сопротивлений, обобщенные коэффициенты падения напряжения, модифицированную  $Z$ -матрицу, перепад напряжения определяется по формуле [9-11]:

$$K_{U_{ij}}^{0Б} = \sqrt{\frac{(1 + K_{\Delta i}^{0Б})^2 + (K_{\delta i}^{0Б})^2}{(1 + K_{\Delta j}^{0Б})^2 + (K_{\delta j}^{0Б})^2}}, \quad (4)$$

где  $K_{\Delta i}^{0Б}, K_{\delta i}^{0Б}$  – коэффициенты продольной составляющей падения напряжения  $i$ -го и  $j$ -го узла соответственно, относительно базисного узла с индексом «0»;  $K_{\Delta j}^{0Б}, K_{\delta j}^{0Б}$  – коэффициенты поперечной составляющей падения напряжения  $i$ -го и  $j$ -го узла соответственно, относительно базисного узла с индексом «0».

Формула (4) необходимо усовершенствовать при учете продольных и поперечных элементов схемы ЭЭС.

**Постановка задачи.** Предлагается оценить падение напряжения с применением  $Z$ -матрицы обобщенных параметров схемы электроэнергетической системы (ЭЭС), учитывая:

1. Продольные пассивные параметры линий электропередач: активные и реактивные сопротивления.
2. Продольные и поперечные пассивные параметры линий электропередач: активные и реактивные сопротивления, активные и реактивные проводимости.
3. Пределы применения расчетов напряжения.

**Изложение основного материала исследования.** Предположим, что электроэнергетическая система (ЭЭС) состоит из  $M+1$  узлов (см. рис. 2).

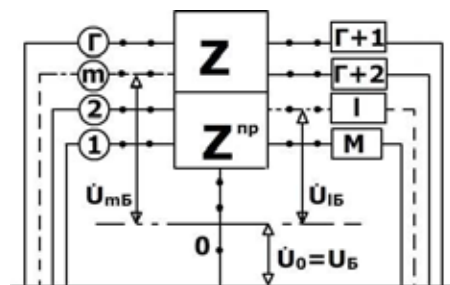


Рис. 2. Схема замещения ЭЭС Z-формой

В качестве базисного (балансного) выбирается узел с индексом «0». Принимается, что мощности узлов станций (1,2,...,Г) и нагрузки (Г+1, Г+2,..., Г+Н=М) приведены на шины повышающих и понижающих трансформаторных подстанций [6]. При этом уравнении состояния электрической системы в  $Z$ -форме принимает следующий вид [10]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_{0Б} + Z_{11} \cdot \dot{I}_1 + Z_{12} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{1M} \cdot \dot{I}_M, \\ \dot{U}_2 &= \dot{U}_{0Б} + Z_{21} \cdot \dot{I}_1 + Z_{22} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{2M} \cdot \dot{I}_M, \\ \dots \\ \dot{U}_M &= \dot{U}_{0Б} + Z_{M1} \cdot \dot{I}_1 + Z_{M2} \cdot \dot{I}_2 + \dots + Z_{MM} \cdot \dot{I}_M. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $\dot{U}_{0Б}, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_M$  – комплексные напряжения узлов 0,1,...,М электрической системы;  $\dot{I}_1,$



$\dot{I}_2, \dots, \dot{I}_M$  – комплексные токи узлов  $1, 2, \dots, M$  электрической системы;  $Z_{12}, \dots, Z_{1M}, Z_{21}, \dots, Z_{2M}, \dots, Z_{M1}, \dots, Z_{MM}$  – взаимные комплексные сопротивления независимых узлов электрической системы;  $Z_{11}, Z_{22}, \dots, Z_{MM}$  – собственные комплексные сопротивления независимых узлов  $1, 2, \dots, M$  электрической системы.

Система алгебраических уравнений установившегося режима электрической системы (5) в компактной форме, принимает вид:

$$\dot{U} = \dot{U}_{0Б} + Z \cdot \dot{I}, \quad (6)$$

где  $\dot{U}_{0Б}$  – вектор-столбец, каждый элемент которого равен напряжению базисного узла,  $\dot{U}$  и  $\dot{I}$  – вектор-столбцы узловых комплексных напряжений и токов,  $Z$  – узловая комплексная матрица собственных и взаимных сопротивлений, обусловленный продольными и поперечными пассивными параметрами линий электропередач.

В электрической системе, учитывая только продольные пассивные параметры линии электропередачи, получаем:

$$\dot{U}^{np} = \dot{U}_{0Б} + Z^{np} \cdot \dot{I}, \quad (7)$$

где  $\dot{U}^{np}$  – вектор-столбец узловых комплексных напряжений, обусловленный продольными пассивными параметрами линий электропередач;  $Z^{np}$  – узловая комплексная матрица собственных и взаимных сопротивлений, обусловленный продольными пассивными параметрами линий электропередач.

Матричные компактные уравнения (6) и (7) представляем с падением напряжения, получаем:

$$\dot{U} = U_{0Б} + d\dot{U}, \quad (8)$$

$$\dot{U}^{np} = U_{0Б} + d\dot{U}^{np}, \quad (9)$$

где  $d\dot{U}$  – матрица узлового падения напряжения, обусловленный продольными и поперечными пассивными параметрами линий электропередач;  $d\dot{U}^{np}$  – матрица узлового падения напряжения, обусловленный продольными пассивными параметрами линий электропередач.

Учитывая продольные и поперечные составляющие падения напряжения, уравнения (8) и (9) принимают следующие виды:

$$\dot{U} = U_{0Б} + \Delta U + \delta \dot{U}, \quad (10)$$

$$\dot{U}^{np} = U_{0Б} + \Delta U^{np} + \delta \dot{U}^{np}, \quad (11)$$

где  $\emptyset$  – матрица продольной составляющей узлового падения напряжения схемы ЭЭС, обусловленный продольными и поперечными параметрами;  $\delta \dot{U}$  – матрица поперечной составляющей узлового падения напряжения схемы ЭЭС, обусловленный продольными и поперечными

параметрами;  $\emptyset U^{np}$  – матрица продольной составляющей узлового падения напряжения схемы ЭЭС, обусловленный продольными параметрами;  $\delta \dot{U}^{np}$  – матрица поперечной составляющей узлового падения напряжения схемы ЭЭС, обусловленный продольными параметрами.

Падение напряжения определяется по следующей формуле:

$$K_{Uij} = \frac{U_i}{U_j}, \quad (12)$$

где  $U_i$  – модуль напряжения  $i$ -го узла,  $U_j$  – модуль напряжения  $j$ -го узла.

Применяя формулу (12), используя матричные уравнения (10) и (11), после соответствующих преобразований, получаем [5]:

$$K_{Uij} = \sqrt{\frac{(1 + K_{\Delta i})^2 + (K_{\delta i})^2}{(1 + K_{\Delta j})^2 + (K_{\delta j})^2}}, \quad (13)$$

$$K_{Uij}^{np} = \sqrt{\frac{(1 + K_{\Delta i}^{np})^2 + (K_{\delta i}^{np})^2}{(1 + K_{\Delta j}^{np})^2 + (K_{\delta j}^{np})^2}}, \quad (14)$$

где  $K_{\Delta i}, K_{\delta i}$  – коэффициенты продольной составляющей падения напряжения  $i$ -го и  $j$ -го узла соответственно, при наличии продольных и поперечных элементов схемы ЭЭС;  $K_{\delta i}, K_{\delta j}$  – коэффициенты поперечной составляющей падения напряжения  $i$ -го и  $j$ -го узла соответственно, при наличии продольных и поперечных элементов схемы ЭЭС;  $K_{\Delta i}^{np}, K_{\delta i}^{np}$  – коэффициенты продольной составляющей падения напряжения  $i$ -го и  $j$ -го узла соответственно, при наличии продольных элементов схемы ЭЭС;  $K_{\delta i}^{np}, K_{\delta j}^{np}$  – коэффициенты поперечной составляющей падения напряжения  $i$ -го и  $j$ -го узла соответственно, при наличии продольных элементов схемы ЭЭС.

$$\left. \begin{aligned} K_{\Delta i} &= \frac{\Delta U_i}{U_{0Б}}, \\ K_{\Delta j} &= \frac{\Delta U_j}{U_{0Б}}, \\ K_{\delta i} &= \frac{\delta U_i}{U_{0Б}}, \\ K_{\delta j} &= \frac{\delta U_j}{U_{0Б}} \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{\Delta i}^{np} &= \frac{\Delta U_i^{np}}{U_{0Б}}, \\ K_{\Delta j}^{np} &= \frac{\Delta U_j^{np}}{U_{0Б}}, \\ K_{\delta i}^{np} &= \frac{\delta U_i^{np}}{U_{0Б}}, \\ K_{\delta j}^{np} &= \frac{\delta U_j^{np}}{U_{0Б}} \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

Исследование проводилось для макромодели ЭЭС Армении. Для решений уравнения установившегося режима применяется метод простой итерации. Результаты исследований представлены в таблицах 1-4.

Таблица 4

**Коэффициенты падения напряжения при наличии продольных элементов схемы ЭЭС**

$K_{ij}$	$K_{\varnothing}^{np}$	$K_{\delta i}^{np}$	$K_{\varnothing j}^{np}$	$K_{\delta j}^{np}$	$K_{Uij}^{np}$
01	0	0	-0.0367	-0.0281	1.0376
03	0	0	-0.0437	-0.0376	1.0449
12	-0.0367	-0.0281	-0.024	-0.0135	0.9873
14	-0.0367	-0.0281	-0.0431	-0.0355	1.0064
24	-0.024	-0.0135	-0.0431	-0.0355	1.0193
34	-0.0437	-0.0376	-0.0431	-0.0355	0.9994

Таблица 1

**Падение напряжения при наличии продольных и поперечных элементов схемы ЭЭС**

Узел	$\dot{U}_i$ , кВ	$ U_i $ , кВ	$d\dot{U}$ , кВ
1	211.8832 – j6.2059	211.974	-8.1168 – j6.2059
2	214.6686 – 2.9924	214.6895	-5.3314 – j2.9924
3	210.353 – j8.3088	210.517	-9.647 – j8.3088
4	210.4592 – j7.8454	210.6054	-9.5408 – j7.8454

Таблица 2

**Падение напряжения при наличии продольных элементов схемы ЭЭС**

Узел	$\dot{U}_i^{np}$ , кВ	$ U_i^{np} $ , кВ	$d\dot{U}_i^{np}$ , кВ
1	211.9235 – j6.1845	212.0137	-8.0765 – j6.1845
2	214.7136 – 2.9704	214.7341	-5.2864 – j2.9704
3	210.3859 – j8.2911	210.5492	-9.6141 – j8.2911
4	210.4991 – j7.8234	210.6444	-9.5009 – j7.8234

Таблица 3

**Коэффициенты падения напряжения при наличии продольных и поперечных элементов схемы ЭЭС**

$K_{ij}$	$K_{\varnothing}$	$K_{\delta i}$	$K_{\varnothing j}$	$K_{\delta j}$	$K_{Uij}$
01	0	0	-0.0368	-0.0282	1.0377
03	0	0	-0.0438	-0.0377	1.045
12	-0.0368	-0.0282	-0.0242	-0.0136	0.9874
14	-0.0368	-0.0282	-0.0433	-0.0356	1.0065
24	-0.0242	-0.0136	-0.0433	-0.0356	1.0193
34	-0.0438	-0.0377	-0.0433	-0.0356	0.9995

**Выводы.** Таким образом, получены такие выводы:

1. расчет напряжений с применением Z-матрицы в ЭЭС с сетями 110-220 кВ без учета поперечных пассивных параметров ЛЭП, не вносит существенные изменения, а лишь усложняет процесс расчета;

2. значение коэффициента падения напряжения соответствует требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ-13109-97,  $K_{Uij}^{220}$  " 1.15;

3. расчет напряжений и оценка падения напряжения с применением Z-матрицы в ЭЭС с сетями 110-220 кВ, может осуществляться без учета поперечных пассивных параметров ЛЭП;

4. составленная в среде Java компьютерная программа обеспечивает высокую точность расчетов и широкие границы применения.

**Перспективы дальнейших исследований:**

1. исследование расчета напряжений с применением Z-матрицы в системообразующих электрических сетях с учетом поперечных пассивных параметров ЛЭП;

2. исследование расчета потерь мощности с применением Z-матрицы в электрических сетях с учетом поперечных пассивных параметров ЛЭП.

**Список литературы:**

1. Аракелян В.П., Акопян Л. А. Новый подход к определению Y-матрицы электроэнергетической системы. Известия НАН РА и ННУА. Сер. технических наук. 2012. Т. LXV, № 2. С. 184–189.
2. Xi-Fan Wang, Yonghau Song, Malcolm Irving Modern Power Systems Analysis. Springer Science + Business Media. New York, 2008. 569 p.
3. Аракелян В.П. Применение нового Z-матрицы для расчета потерь напряжения электроэнергетической системы. ВИАА. 2012.Т.9, № 3. С. 530–531.
4. Аракелян В.П., Акопян Л. А. Новая характеристика перепада напряжения линии электропередач. ВИАА. 2010. Т.7, № 3. С. 464–465.
5. Аракелян В.П. Модифицированные формулы перепада напряжений электроэнергетической системы при замене базисной электростанций. ВИАА 2016.Т.13, № 1. С. 54–58.
6. Аракелян В.П., Акопян Л. А. Новый подход к определению Y-матрицы электроэнергетической системы. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2012. Т. LXV, № 2. С. 184–189.

7. Xi-Fan Wang, Yonghau Song, Malcolm Irving Modern Power Systems Analysis.-Springer Science + Business Media. New York, 2008. 569 p.
8. Duncan Glover J., Mulukutla Sarma S., Overbye Thomas J. Power system analysis and design. 4<sup>th</sup>. ed. Thomson Australia. Brazil. Canada. Mexico. Singapore. United Kingdom. United States. 2008. 767 p.
9. Аракелян В.П., Акопян Л.А. Новая характеристика перепада напряжения линии электропередач. ВИАА. 2010. Т.7, № 3. С. 464–465.
10. Аракелян В.П. Модифицированные формулы перепада напряжений электроэнергетической системы при замене базисной электростанций. ВИАА. 2016.Т.13, № 1. С. 54–58.
11. Ramana N. V. Power System Analysis. Chennai. Delhi. Chandigarh. Pearson. 2011. 445 p.

### **Arakelyan P.A. ESTIMATION OF THE VOLTAGE DROP IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM USING A Z-MATRIX OF A NEW TYPE**

*Introductory speech on the research topic: management of electrical power systems is carried out with a change in the parameters of the regime and scheme. The regime of the system is characterized by parameters that can be changed in the process of maintaining the regime. Voltage is considered one of the important parameters of the system regime. During studies of the system regimes, it is necessary to consider the effect of the voltage drop on the quality of electricity.*

*The electrical system circuit model characterizes the electrical network configuration. The electrical circuit is modeled using replacement schemes for system elements. The equivalent circuits contain longitudinal and transverse passive parameters of power lines, transformers. Passive parameters form a Z-matrix of generalized network parameters.*

*The purpose of scientific research – estimation of the voltage drop using the Z-matrix of generalized parameters of the scheme of the electric power system. Description of scientific and practical significance of the work: the scientific value of the work: a new approach is presented, the basis of which is the use of the Z-matrix of generalized parameters. Practical significance: provides versatility for assessing the quality of electricity in the supply and system-forming electrical networks.*

*Description of the research methodology: taking into account the different types of modeling of power transmission lines of modern power systems, the complexity of the schemes of electrical networks, using the Z-matrix, new formulae for voltage drops were obtained. Main results, conclusions of the research work: the study was conducted for the macromodel of electric power system of Armenia. The analysis shows that the proposed formulae are acceptable for supply networks. The formulae consider the synthesis of voltage drop components and circuit parameters.*

*The value of the conducted research (what contribution of this work to the relevant branch of knowledge): the proposed approach extends the definition of the boundaries of the interaction of generalized parameters and voltage. Practical significance of the results of work: the obtained compact formulae allow for a comprehensive analysis coefficient voltage drop.*

*The conclusion from this study is that the calculation of voltages using Z-matrix in electric power grids with networks of 110-220 kV without taking into account the transverse passive parameters of the transmission lines, does not make significant changes, but only complicates the calculation process. The value of the voltage drop ratio meets the requirements of the interstate standard GOST-13109-97,  $K_{Uij}^{220} \leq 1.15$ . The calculation of voltages and the estimation of voltage drop with the use of a Z-matrix in electric power grids with 110-220 kV networks can be carried out without taking into account the transverse passive parameters of the transmission lines, and Java software ensures high accuracy of calculations and wide application scope.*

*Prospects of further research shall be directed to studying the calculation of voltages using Z-matrix in the backbone electrical networks, taking into account the transverse passive parameters of power lines and to studying of calculating power losses using the Z-matrix in electric networks, taking into account the transverse passive parameters of power lines.*

**Key words:** electric power system, generalized parameter, transverse parameter, longitudinal parameter, voltage drop.

**Бошкова И.Л.**

Одесская национальная академия пищевых технологий

**Волгушева Н.В.**

Одесская национальная академия пищевых технологий

**Колесниченко Н.А.**

Военная академия (г. Одесса)

**Бошков Л.З.**

Одесская национальная академия пищевых технологий

**Паскаль А.А.**

Одесская национальная академия пищевых технологий

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАГРЕВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ

*Розглядаються питання оцінки енергетичної ефективності перетворення енергії мікрохвильового поля у внутрішню енергію рослинного матеріалу, що обробляється. Відзначається важливість зниження витрат енергії при збереженні якості продукту. Підкреслюється, що універсальним критерієм оцінки ефективності теплових процесів є коефіцієнт корисної дії ККД, визначення якого є відправною точкою в дослідженнях, проведених з метою оптимізації теплопереносу. Аналізується вид для загального енергетичного ККД перетворення мікрохвильової енергії, що включає ККД магнетрона й ККД робочої камери. Наведено результати експериментів і теплових розрахунків ККД мікрохвильової камери для ряду зернових матеріалів. Отримано, що раціональна організація шару матеріалу здатна істотно збільшити ККД камери. Показано, що в межах завантаження з однією масою велике значення має співвідношення площі відкритої поверхні до товщини шару. Відзначається складність оцінки аналітичним шляхом напруженості електричного поля в мікрохвильовій камері з матеріалом, що обробляється. Наведено залежність, що дозволяє визначати величину напруженості електричного поля за результатами експериментальних досліджень. Проведені теплові розрахунки дають можливість визначити умови для підвищення рівня перетворення мікрохвильової енергії у внутрішню енергію матеріалу. Запропоновано залежність для оцінки величини напруженості електричного поля за рівнем вихідної потужності магнетрона й характеристик матеріалу, що закладається в камеру. Показано, що питома потужність, що виділяється у вигляді тепла в одиниці об'єму матеріалу, може бути розрахована з урахуванням ККД мікрохвильової камери. Для визначення ККД мікрохвильової камери доцільно встановити залежність цієї величини від виду матеріалу, що обробляється, та об'єму, що він займає.*

**Ключові слова:** тепловий ефект, коефіцієнт корисної дії, мікрохвильова камера, зерно, шар, напруженість електричного поля.

**Постановка проблеми.** Вопрос энергетической эффективности является определяющим для большинства технологических процессов. Одной из задач, возникающих при разработке новых технологий, является снижение затрат потребляемой энергии при соблюдении требований к качеству конечного продукта. В настоящее время методы оценки энергоэффективности отличаются разнообразием, они могут включать такие характеристики, как теплофизические свойства, качество энергии, производительность и прочее, однако

при всем многообразии подходов, определяемых спецификой конкретных разработок, универсальным критерием оценки эффективности тепловых процессов является коэффициент полезного действия КПД, определение которого является отправной точкой в исследованиях, проводимых с целью оптимизации теплопереноса. В рамках рассматриваемой темы одной из ключевых проблем являлось определение условий, при которых энергия микроволнового электромагнитного поля с максимальной эффективностью поглощалась

(преобразовывалась во внутреннюю энергию) исследуемого материала.

**Анализ современных исследований и публикаций.** В исследованиях, составляющих основу данной работы, изучались эффекты микроволнового взаимодействия с диэлектрическими материалами растительной природы, которые проявлялись при сушке [1-3], экстрагировании [4-5], биостимуляции семян [6-7], термической обработке растительного материала [8-9], термообработке глиняных изделий [10]. Особенности нагрева в микроволновом поле и специфика структуры диэлектрического материала (в основном – органического происхождения) определяет ряд ограничений, непосредственно связанных с требованиями к качеству конечного продукта. Особую сложность представляет определение напряженности электрического поля в материале. Аналитические представления для расчета этой величины сложны и малопригодны. Однако для расчета микроволновой энергии, преобразованной в тепловую, необходимо значение напряженности электрического поля. Удельная мощность, выделяющаяся в виде тепла в единице объема материала, находящегося в микроволновом поле, выражается уравнением (1) и связана с его диэлектрическими характеристиками, частотой МВ поля и напряженностью [11]:

$$q = 5,56 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot E^2, \text{ Вт/м}^3, \quad (1)$$

Применение зависимости (1) достаточно проблематично, но анализ всех величин, входящих в него, и сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований их влияния на эффективность использования микроволновой энергии, изменений этих величин при изменении условий проведения опыта и в процессе опыта позволяют понять физические особенности преобразования микроволновой энергии.

**Цель работы** – определение условий повышения энергетической эффективности преобразования энергии микроволнового поля при нагреве растительных материалов.

**Изложение основного материала и обоснование результатов исследования.** Для анализа специфики поглощения микроволновой энергии материалом большое значение имели исследования зависимости величины поглощенной микроволновой энергии от загрузки камеры. Выражение общего энергетического КПД [12] представляется в следующем виде:  $\eta = \eta_m \cdot \eta_k$ , где  $\eta_m$  – КПД магнетрона,  $\eta_k$  – КПД микроволновой камеры. Значение  $\eta_m$  показывает, с каким КПД магнетрон преобразует энергию электрического

поля промышленной частоты (50 Гц) в энергию с частотой микроволнового поля. Эта величина является паспортной. Значение  $\eta_k$  зависит от условий согласования магнетрона с волноводом и загружаемым материалом, вследствие сложности ее предсказания возникает необходимость в проведении масштабных экспериментов.

КПД камеры рассчитывался как отношение теплоты, преобразованной материалом, при расчете которой учитывалось значение полезного теплового потока  $Q_{\text{пол}}$ , потери в окружающую среду (объем рабочей камеры) в результате естественной конвекции  $Q_{\text{конв}}$  и лучистого теплообмена между образцом и стенками камеры ( $Q_{\Sigma} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{конв}} + Q_{\text{луч}}$ ), к выходной мощности магнетрона:

$$\eta_k = \frac{Q_{\Sigma}}{P_{\text{вых}}}, \quad (2)$$

Материалы растительного происхождения имеют свою специфику, заключающуюся в структурных особенностях и химическом составе, однако для оценки мощности, выделяющейся в виде теплоты, основное значение имеет значение влагосодержания этих материалов. В то же время, поскольку диэлектрические свойства растительных материалов существенно ниже свойств воды, для эффективности микроволновой обработки и обеспечения ее равномерности большое значение имеет объем, масса загрузки, расположение в камере и условия формирования обрабатываемого слоя. Экспериментальные исследования влияния микроволнового поля на растительный материал проводились на лабораторной установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Микроволновая энергия поступала в рабочую камеру прямоугольного сечения через волновод от магнетрона с частотой генерации 2,45 ГГц и регулируемой мощностью 80-800 Вт. Конструкция микроволновой камеры позволяла одновременно с подводом МВ энергии осуществлять продувку воздуха над слоем.

Методика проведения исследований заключалась в следующем. В экспериментальную ячейку помещался исследуемый материал, включался магнетрон. Через определенные интервалы времени, шаг которых варьировался в зависимости от величины подводимой мощности в пределах от 30 с до 5 мин, весовым методом определялось количество испарившейся влаги и рассчитывалось влагосодержание. Измерения температуры производились с помощью медь-константановых термопар в комплекте с вольтметром универсальным В7-21, которые помещались в слой зерна

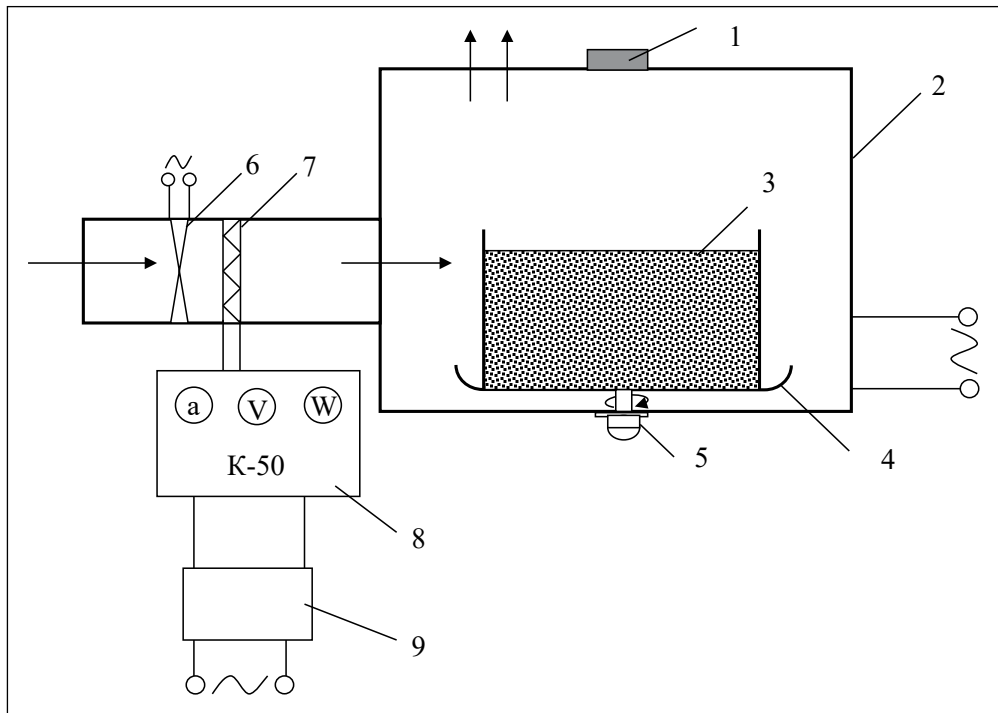


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования процесса нагрева и сушки в микроволновом поле: 1 – волновод; 2 – рабочая камера; 3 – экспериментальная ячейка; 4 – подставка; 5 – механизм привода; 6 – вентилятор; 7 – нагреватель; 8 – измерительный комплект; 9 – регулятор напряжения

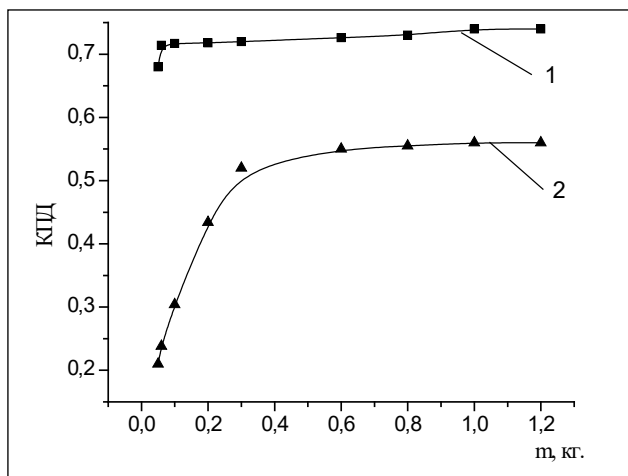


Рис. 2. Зависимость КПД МВ камеры (2) и коэффициента использования тепловой энергии (1) от массы зерна (гречиха)

непосредственно сразу после выключения магнетрона. Измерения повторялись с четырех- и пятикратным повторением. Погрешность определения среднеинтегрального влагосодержания составила  $\pm 1,4\%$ , средней температуры слоя  $\pm 1,2$ .

Результаты расчетов коэффициентов использования тепловой энергии, а также КПД МВ камеры в зависимости от массы материала (зерно гречихи) при подводимой мощности  $P_{\text{вых}}=160$  Вт представлены на рис. 2. Коэффициент использо-

вания тепловой энергии  $\eta_t$  определяется следующим соотношением:

$$\eta_m = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\Sigma}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{пол}} + Q_{\text{ном}}} \quad (3)$$

Как видно из рис. 2, линия 1, коэффициент использования тепловой энергии практически не зависит от массы для области значений 0,06-1,2 кг. КПД МВ камеры с ростом массы возрастает, достигая постоянного значения 0,56 при массе 1,2 кг. Верхняя кривая показывает, что микроволновая энергия, поступающая от генератора, используется недостаточно полно.

При изменении массы образца от 0,05 кг до 1,2 кг и изменении относительного объема  $V_{\text{обр}}/V_k$  от 0,003 до 0,07 и при толщине слоя  $16 < \delta < 66$  мм КПД камеры описывается с погрешностью  $\pm 1,5\%$  соотношением (4) [12]:

$$\eta_k = 0,56 \left( 1 - \frac{4,63}{5,87 + e^{182V_{\text{обр}}/V_k}} \right), \quad (4)$$

Данные, приведенные на рис. 2, получены при сушке зерна гречихи в условиях, при которых слой был сформирован нерационально: его толщина не превышала 0,01 м. Видно, что КПД камеры не превышал 55%. Для зерновых с влагосодержанием 20% наивысшие значения КПД достигаются при сопоставимости характерного размера поверхности (диаметр для круглой формы) и толщины слоя (табл. 1).

Таблица 1

**КПД микроволновой камеры  $\eta_k$  при различных соотношениях диаметра экспериментальной ячейки и толщины слоя (гречиха нешелушенная).**

**Выходная мощность магнетрона P=160 Вт**

№	m, кг	$V_m / V_k$	d, м	$\delta$ , м	$Q_{\Sigma}$ , Вт	$\eta_k$
1	0,05	0,0012	0,055	0,008	41,5	0,26
2	0,05	0,0012	0,040	0,016	49,6	0,31
3	0,05	0,0012	0,028	0,032	56	0,35
4	0,1	0,0024	0,055	0,016	60,8	0,38
5	0,1	0,0024	0,040	0,032	65,6	0,41
6	0,1	0,0024	0,01	0,048	40	0,25
7	0,2	0,0048	0,105	0,009	51,2	0,32
8	0,2	0,0048	0,055	0,032	91,2	0,57
9	0,2	0,0048	0,045	0,048	92,8	0,58
9	0,31	0,0076	0,13	0,009	59,2	0,37
10	0,31	0,0076	0,096	0,016	96	0,60
11	0,31	0,0076	0,055	0,048	100,8	0,63
12	1,2	0,029	0,11	0,048	107,2	0,67
13	1,2	0,029	0,098	0,056	108,8	0,68

Для ряда зерновых материалов (овес, пшеница, ячмень, гречиха) получена эмпирическая зависимость, которая учитывает полноту загрузки камеры за счет введения симплекса  $V_m / V_k$ , где  $V_m$  – объем, занимаемый материалом,  $V_k$  – объем камеры:

$$\eta_k = 0,67 \left( 1 - \frac{0,45}{1 + e^{\left( \frac{V_m/V_k - 0,003}{0,0017} \right)}} \right) \left( \frac{u}{u_0} \right)^{1,3}, \quad (5)$$

Зависимость (5) учитывает влияние влагосодержания:  $u$  – текущее влагосодержание,  $u_0 = 0,2$ . Погрешность зависимости (5) составляет  $\pm 17\%$  для диапазона изменения относительного объема  $V_m / V_k$  от 0,0015 до 0,03.

Сопоставление зависимостей (4) и (5) показывает, что рациональная организация слоя может увеличить КПД на 15 % для зерновых материалов.

При проведении исследований на зерновых материалах толщины слоя не превышали удвоенной глубины проникновения. Для оценки глубины проникновения СВ поля в слой применялись известные теоретические зависимости [11]. Коэффициент ослабления  $\alpha$  определяется зависимостью [11]:

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left[ \frac{1}{2} \cdot \varepsilon' \left[ \sqrt{1 + tg\delta^2} - 1 \right]^{1/2} \right]^{-1}, \quad (6)$$

где  $\lambda_0$  – длина электромагнитной волны в вакууме.

Для СВ поля с частотой 2450 МГц  $\lambda_0 = 12,24$  см. К примеру, для зерна гречихи, диэлектрические характеристики которого при температуре 20°C и влагосодержанию 0,16 кг/кг соответствовали зна-

чениям:  $\varepsilon' = 9,04$ ,  $tg\delta = 0,26$ , коэффициент ослабления:

$$\alpha = \frac{2\pi}{12,24 \cdot 10^{-2}} \left[ \frac{1}{2} \cdot 9,04 \left[ \sqrt{1 + 0,26^2} - 1 \right]^{1/2} \right] = 19,88 \text{ м}$$

Зная коэффициент ослабления, можно определить глубину проникновения  $\Delta$  расчетным путем [13]:

$$\Delta = \frac{1}{\alpha} \Rightarrow \Delta = \frac{1}{19,88} = 0,05 \text{ м}, \quad (7)$$

Оценка значений напряженности электрического поля  $E$  даже при существенной идеализации процесса взаимодействия твердых тел с проникающими электромагнитными полями не приводят к удовлетворительным результатам. Для определения зависимости  $E$  от формы образца, его массы и диэлектрических характеристик, можно применять формулу (1) и данные экспериментов, в ходе которых контролировалось изменение температуры  $\Delta t$  материала массой  $m$  и теплоемкостью  $c$ , изменение массы тела за счет испарения  $\Delta m$  (если этот процесс имел место). С использованием уравнения теплового баланса (без учета потерь в окружающую среду) значение напряженности электрического поля выражается следующей зависимостью:

$$E = \sqrt{\frac{q_{\text{пол}}}{5,56 \cdot 10^{-11} f \cdot \varepsilon' \cdot tg\delta}} = \sqrt{\frac{cm\Delta t + \Delta m r}{5,56 \cdot 10^{-11} f \cdot \varepsilon' \cdot tg\delta \cdot V \cdot \tau}}, \text{ В/м}, \quad (8)$$

где удельный тепловой поток  $q_{\text{пол}}$ , затрачиваемый на нагрев исследуемого образца объемом  $V$  и испарение влаги за время  $\tau$ , определяется зависимостью:

$$q_{\text{пол}} = (c \cdot m \cdot \Delta t + \Delta m \cdot r) / (V \cdot \tau), \text{ Вт/м}^3, \quad (9)$$

Зависимость (8) можно уточнить, учтя потери в окружающую среду, которые определяются лучистой  $Q_{\text{луч}}$  и конвективной  $Q_{\text{конв}}$  составляющей. Кроме того, точность расчета зависит также от точности определения величин диэлектрических постоянных и от равномерности распределения электромагнитного поля в материале. Результаты показывают, что уменьшение объема загрузки способствует увеличению напряженности электрического поля, но при этом КПД камеры снижается. В пределах загрузки с одной массой большое значение имеет соотношение площади открытой поверхности к толщине слоя.

Зависимость (8) позволяла определять  $E$  по результатам экспериментальных исследований, полученные значения дают возможность определить условия для повышения уровня преобразования СВ энергии во внутреннюю энергию материала. Для оценки величины  $E$  по уровню выходной мощности магнетрона и характеристик закладываемого в камеру материала авторы рекомендуют следующую зависимость:

$$\bar{E} = \sqrt{\frac{P_{\text{вих}} \cdot \eta_k}{(5,56 \cdot 10^{-11} f \cdot \varepsilon' \cdot \text{tg} \delta) \cdot V}}, \quad (10)$$

Значение  $\eta_k$  предлагается находить по соответствующим эмпирическим зависимостям. Тогда для оценки теплоты, преобразованной в материале при помещении его в микроволновое поле, можно применить следующую зависимость:

$$q = \frac{P_{\text{вих}} \cdot \eta_k}{V}, \text{ Вт/м}^3, \quad (11)$$

где  $V$  – объем, занимаемый материалом.

Зависимости (10, 11) предлагаются к практическому использованию при оценке эффективности использования микроволновой энергии.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Таким образом, тепловой КПД микроволновой камеры, являющийся характеристикой энергетической эффективности преобразования

микроволновой энергии в тепловую, зависит от вида материала, его влагосодержания, массы загрузки, а также толщины слоя и площади поверхности. КПД камеры принимает наивысшие значения для зерна с влагосодержанием 0,2 при массе загрузки выше 0,3 кг, при условии, что толщина слоя не превышает удвоенной глубины проникновения  $2\Delta$ . Рациональная организация слоя, определяемая соотношением площади открытой поверхности материала к его толщине, способна увеличить КПД для зерновых материалов на 15%. Для оценки теплоты, преобразованной различными диэлектрическими (растительными) материалами при помещении в микроволновую камеру, необходимо проведение дополнительных исследований с целью получения зависимости КПД конкретной рабочей камеры от геометрических и физических характеристик обрабатываемого материала.

#### Список литературы:

1. Feng H., Yin Y., Tang J. Microwave Drying of Food and Agricultural Materials : Basics and Heat and Mass Transfer Modeling. *Food Engineering Reviews*. 2012. Vol. 4, No. 2. P. 89–106.
2. Gursoy S., Choudhary R., Watson D.G. Microwave drying kinetics and quality characteristics of corn. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2013. Vol. 6, No. 1. P. 90–99.
3. Alibas, I. Determination of drying parameters, ascorbic acid contents and colour characteristics of nettle leaves during microwave-, air- and combined microwave-air-drying. *Journal of Food Process Engineering*. 2009. № 33. P. 210–233.
4. Бошкова І.Л., Волгушева Н.В., Коломійчук С.Г., Дементьева Т.Ю. Доцільність мікрохвильового екстрагування біологічно активних речовин як природних пестицидів з рослинної сировини. *Донецьк : ДонНУЕТ : Обладнання та технології харч. виробництва*. 2010. № 24. С. 146–153.
5. Георгиев Е.В., Хлиева О.Я., Кузнецов И.О. Перспективы использования экстрактов аира обыкновенного и тысячелистника обыкновенного в качестве инсектицидов. *Актуальні проблеми енергетики і екології. Наук. пр. ОНАХТ*. 2006. Вип. 45, Т. 1. С. 105–110.
6. Калинин Л.Г., Бошкова И.Л. Эффекты воздействия микроволнового электромагнитного поля на семена сельскохозяйственных культур. *Наук. пр. ОНАХТ*. 2002. № 24. С. 17–20.
7. Калінін Л.Г., Тучний В.П., Левченко Є.А., Кіндрук М.О., Вішневський В.В. Визначення впливу мікрохвильового поля на посівні і урожайні якості насіння злакових, олійних і овочевих культур. *Одеса : Микроволновые технологии в народном хозяйстве*. 2000. № 2-3. С. 66–73.
8. Калинин Л.Г., Бошкова И.Л., Панченко Г.И., Коломійчук С.Г. Разработка микроволновой технологии подготовки субстрата для дереворазрушающих грибов. *Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры, науч.-техн.* 2007. № 1. С. 100–104.
9. Woo S.L., Di Benedetto P., Senatore M., Abadi K., Gigante S., Soriente I., Ferraioli S., Scala F., Lorito M. Identification and characterization of *Trichoderma* species aggressive to *Pleurotus* in Italy. *J. of Agriculture and Life Sciences*. 2004. Vol. 30. P. 469–470.
10. Козлов П.В., Лелевкин В.М. Микроволновой нагрев и стационарные тепловые состояния керамической пластины. *Теплофизика и теор. теплотехника. Вестн. КРСУ*. 2006. Т.6, № 5. С. 20–29.
11. Editors H., Yang J. *Advances in Agricultural Science and Technology*. London : World Scientific, 2002. 172 p.
12. Волгушева Н.В. Кинетика сушки плотного слоя дисперсного материала (на примере гречихи) при различных способах подвода теплоты : дис... канд. техн. наук: 05.14.06, Одесская гос. академия холода. Одеса, 2005. 225 с.
13. Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В., Дементьева Т.Ю. К оценке эффективности сушки зерновых культур в неподвижном слое при различных режимах подвода энергии. *Наук. пр. ОНАХТ*. 2011. Вип. 39. Т. 2. С. 211–215.



**Boshkova I.L., Volgusheva N.V., Kolesnichenko N.F., Boshkov L.Z., Paskal A.A.**

**ENERGY EFFICIENCY OF HEATING DIELECTRIC MATERIALS IN A MICROWAVE FIELD**

*The issues of estimating the energy efficiency of the energy conversion of the microwave field into the internal energy of the processed plant material are considered. The importance of reducing energy costs while maintaining product quality is noted. It is emphasized that the universal criterion for evaluating the effectiveness of thermal processes is the efficiency coefficient of efficiency. Determination of this coefficient efficiency is the starting point in research conducted to optimize heat transfer. The total energy efficiency of microwave energy conversion is analyzed, which includes the efficiency of the magnetron and the efficiency of the working chamber. The results of experiments and thermal calculations of the microwave chamber efficiency for a number of grain materials are presented. It is obtained that the rational organization of the layer of material can significantly increase the efficiency of the camera. It was shown that for the sample with one mass, the ratio of the open surface area to the layer thickness is of great importance. It is noted that it is difficult to evaluate analytically the electric field strength in a microwave chamber with the material being processed. The dependence is given, allowing determining the magnitude of the electric field intensity by the results of experimental studies. The performed thermal calculations make it possible to determine the conditions for increasing the level of microwave energy conversion into the internal energy of the material. Dependence is proposed for estimating the magnitude of the electric field intensity from the level of the output power of the magnetron and the characteristics of the material put into the chamber. It is shown that the specific power released as heat per unit volume of material can be calculated taking into account the efficiency of the microwave chamber. To determine the efficiency of the microwave chamber, it is advisable to establish the dependence of this quantity on the type of material being processed and the volume occupied by it.*

**Key words:** thermal effect, efficiency, microwave chamber, grain, layer, electric field strength.

**Кобзар С.Г.**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

**Коваленко Г.В.**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

## ЗАВИХРЕННЯ ВТОРИННОГО ПОВІТРЯ В ПАЛЬНИКАХ КОТЛА ЯК СПОСІБ ВПЛИВУ НА ПРОЦЕС УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ<sup>1</sup>

*Вугілля є тим джерелом енергії, яке може забезпечити Україні енергетичну незалежність. Ставши членом Європейського енергетичного товариства, наша держава взяла на себе зобов'язання виконувати жорсткі європейські вимоги щодо захисту навколишнього середовища.*

*Метою роботи є комп'ютерне моделювання утворення оксидів азоту в зоні горіння котла ТПП 312 при різних закручуваннях вторинного повітря в пальниках котла. Організація вихрового потоку дає змогу знизити генерацію оксидів азоту шляхом утворення зворотної течії, яка баластує зону горіння продуктами окислення. Обмеженням такого прийому є зниження температури горіння, яке може привести до виникнення недопалу.*

*Завданням дослідження є визначення утворення оксидів азоту на основі комп'ютерного моделювання газодинаміки вогневого простору котла ТПП 312 ДТЕК Ладизинської ТЕС під час спалювання газового вугілля з використанням лопаток, що закручують вторинне повітря в каналах пальників.*

*Досліджувалися такі варіанти течії вторинного повітря в пальниках: 1) без закручування потоку, як у зовнішніх кільцевих каналах, так і у внутрішніх каналах пальників (варіант прийнятий за базовий для порівняння); 2) 8 лопаток у зовнішніх кільцевих каналах у разі їх відсутності у внутрішніх каналах; 3) 24 лопатки в зовнішніх кільцевих каналах при їх відсутності у внутрішніх каналах; 4) по 8 лопаток, як у зовнішніх кільцевих каналах, так і у внутрішніх каналах; 5) по 24 лопатки, як у зовнішніх кільцевих каналах, так і у внутрішніх каналах.*

*Зі збільшенням кількості лопаток збільшувався перепад тиску, необхідний для подолання їх опору. Найбільша ефективність застосування завихрювальних лопаток спостерігається в діапазоні їх сумарної кількості від 8 до 16.*

*Завихрення вторинного повітря дає змогу знизити утворення оксидів азоту на величину до 12%.*

**Ключові слова:** спалювання вугілля, захист навколишнього середовища, оксиди азоту, пальники із завихренням потоку, елементи завихрювачів потоку.

**Постановка проблеми.** Вугілля є тим джерелом енергії, яке може забезпечити Україні енергетичну незалежність. Ставши членом Європейського енергетичного товариства, наша держава взяла на себе зобов'язання виконувати жорсткі європейські вимоги щодо захисту навколишнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із методів зменшення генерації оксидів азоту є зниження температури процесу спалювання, зменшення концентрації кисню в критичних зонах горіння.

Застосування завихрення окислювача в пальниках належить до первинних методів зниження оксидів азоту і широко застосовується в сучасних котлах для спалювання газоподібного, рідкого та твердого палива. Організація вихрового потоку дає

змогу знизити рівень генерації оксидів азоту шляхом утворення області зворотної течії, яка забезпечує баластування зони високої температури продуктами горіння, чим знижується концентрація кисню в зоні, що сприяє утворенню оксидів азоту за термічним механізмом [1, с. 4].

**Постановка завдання.** Сучасні потужні котли ТЕС обладнані багатьма пальниками, які розташовані в один – два ряди, часто ряди пальників розташовані навпроти. Актуальним залишається питання впливу завихрення повітря в системі пальників на рівень утворення оксидів азоту, тому що зменшення температури горіння обмежене небезпекою виникнення недопалу.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження впливу завихрення потоку повітря в системі пальників котла на газодинаміку вогневого простору топки котла та процес утворення оксидів азоту в активній зоні горіння.

<sup>1</sup> Роботу підготовлено в межах виконання бюджетної теми 1.7.888 «Розвиток наукових засад термогазодинаміки енергетичних установок та моніторингу викидів забруднюючих речовин»

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Комп'ютерне моделювання проводилося на прикладі енергетичного котла ТПП 312. Котлоагрегат ТПП 312 виробництва Таганрогського котельного заводу має П-подібну компоновку. Топка котла відкритого типу з рідким шлаковидаленням. Котел оснащений 16 пальниками, що розташовані у два яруси [2, с. 88] (рис. 1).

Котли ТПП 312 на ДТЕК Ладизинська ТЕС працюють на вугіллі марок Г та ДГ. Аналіз даних щодо якості вугілля, яке приходить на станцію згідно із сертифікатами на вугілля марок Г (Г0-100 енергетичне) та ДГ (ДГ 0-100 енергетичне), дав змогу вивести осереднені характеристики вугілля, які використовувалися з метою вдосконалення моделі горіння пакету прикладних програм [3, с. 64; 4, с. 371; 5, с. 81].

На рис. 2 наведено схему пальника, які застосовуються в котлі ТПП 312. Було побудовано комп'ютерну модель газового тракту котла ТПП 312. Проведено окреме дослідження гідродинаміки завихреного потоку в моделі пальника котла ТПП 312 із різною кількістю лопатей для завихрення вторинного повітря.

На рис. 3 показано поля температур у топці котла ТПП 312 за відсутності закрутки повітря в пальниках. Вони характеризується значною нерівномірністю і порівняно високим значенням максимальних температур – більше 2000 К. Ці обставини сприяють утворенню оксидів азоту ( $NO=0,2939 \text{ кг/с}$ ). (Параметри процесу за відсутності закрутки повітря в пальниках для порівняння інших варіантів конструкцій прийняті як базові).

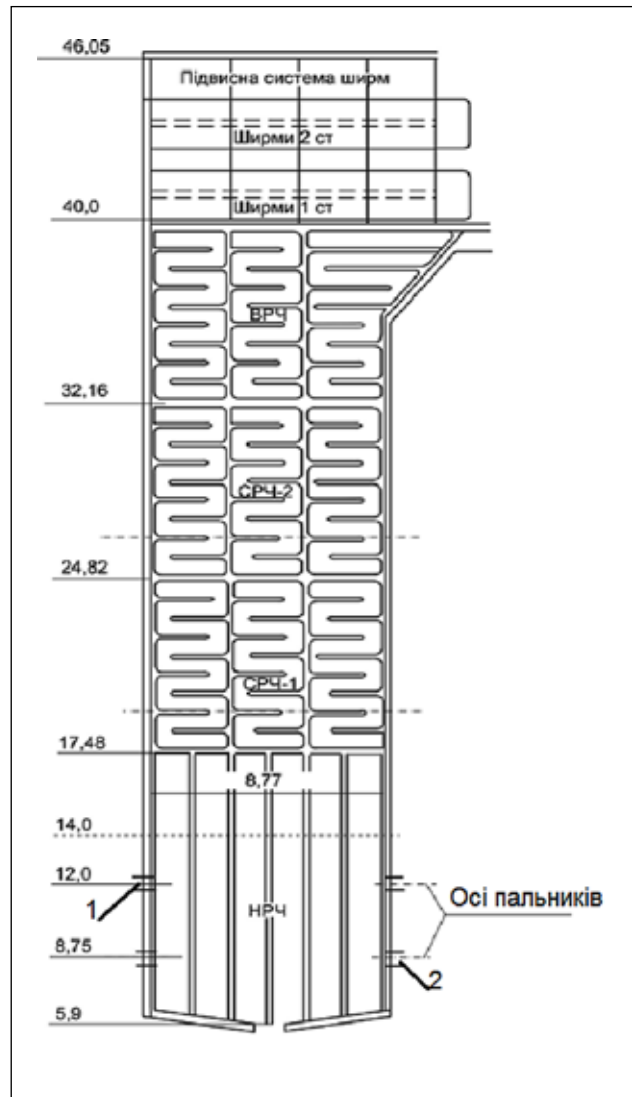
Епюра температур біля передньої і задньої стін топки на рівні другого ярусу пальників виявляється більш нерівномірною, ніж на рівні першого ярусу. Збільшена температура газів біля середини задньої стінки топки зберігається (як буде показано далі) аж до повороту в горизонтальну частину газоходу, де розміщені перегрівачі пари.

У моделі пальника використовувалися лопаті з кутом повороту потоку на 57 градусів. На рис. 4 наведено лінії швидкості для пальника з 24 лопатями для завихрення периферійного вторинного повітря (зовнішній кільцевий канал).

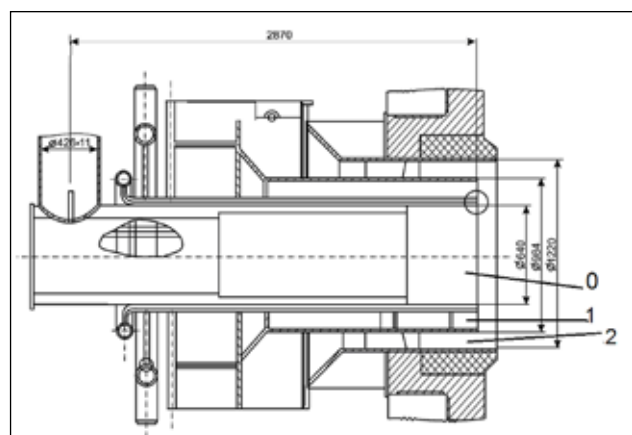
Число завихрення потоку визначалася на виході з кожного кільцевого каналу за формулою (1).

$$S = \frac{\int_{R_i}^{R_o} v \cdot w \cdot r \cdot dr}{\int_{R_i}^{R_o} v^2 r \cdot dr}, \quad (1)$$

де  $R_i$  – внутрішній радіус кільцевого каналу;  
 $R_o$  – зовнішній радіус кільцевого каналу;



**Рис. 1. Схема компоновки котла ТПП 312: 1 – пальники на фронтальній стіні котла; 2 – пальники на задній стіні котла**



**Рис. 2. Схема пальника котла ТПП 312: 0 – первинне повітря з вугільним пилом; 1 – вторинне повітря (внутрішній кільцевий канал; 2 – вторинне повітря (зовнішній кільцевий канал)**

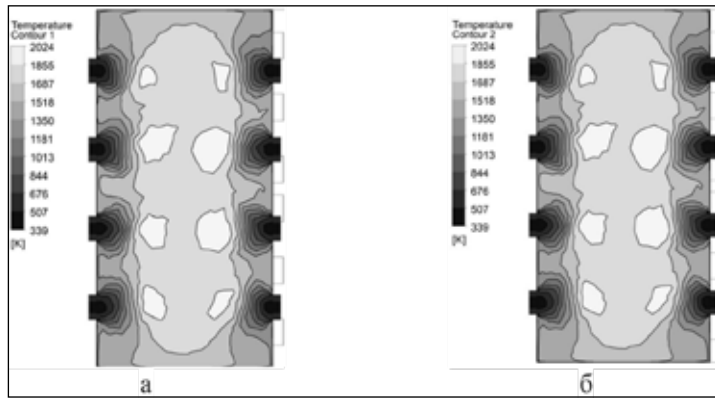


Рис. 3. Поля температур у топці котла ТПП 312 за відсутності закрутки повітря в пальниках на першому (а) і другому (б) ярусах

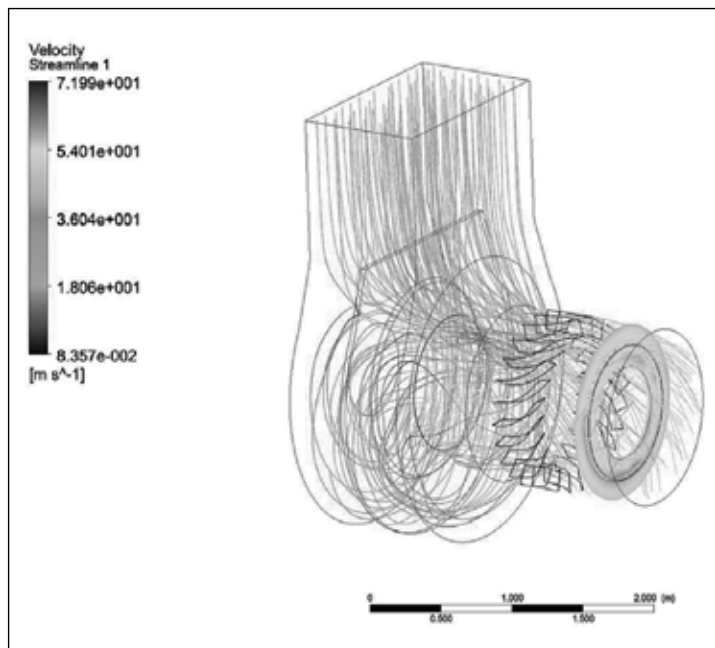


Рис. 4. Лінії швидкості в пальнику з 24 лопатями для завихрення периферійного вторинного повітря

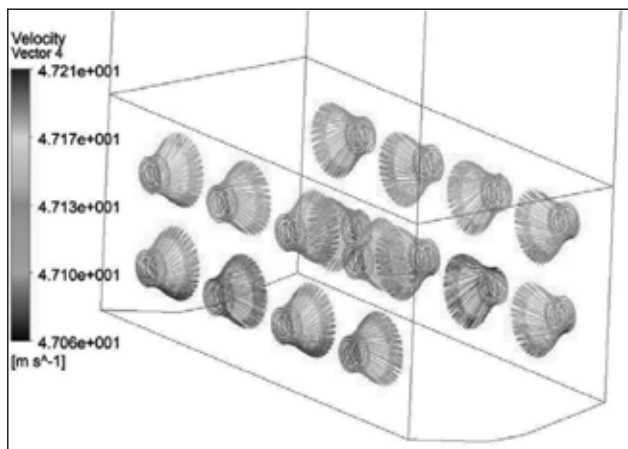


Рис. 5. Вектори швидкості на виході з пальників для випадку пальника із 8 лопатями завихрення вторинного повітря

$w$  – осьовий складник швидкості,  $v$  – тангенційний складник швидкості.

Коефіцієнти витрати визначалися на виході з кожного кільцевого каналу як відношення маси повітря, що проходить через канал, до загальної маси повітря, що подається в пальник. Індекс 1 відповідає внутрішньому каналу вторинного повітря, індекс 2 – зовнішньому. Надлишковий тиск, необхідний для проходу повітря через пальник, визначався на вході в пальник. Результати дослідження впливу кількості лопатей на структуру потоку на виході з пальника наведено в таблиці 1. Результати таблиці 1 використовували для задавання граничних умов на зрізі пальників під час розрахунку газодинаміки котла ТПП 312.

Було проведено чисельне моделювання процесу горіння вугілля в комп'ютерній моделі котла, визначено вплив ступеня завихрення та його напрямку на газодинаміку вогневого простору топки котла та процес утворення оксидів азоту в активній зоні горіння.

На рис. 5 представлені вектори швидкості на виході з пальників для випадку пальника з 8 лопатями завихрення вторинного повітря.

Напрямок завихрення вторинного повітря вибирався таким чином, щоб не заважати пальнику на протилежному боці котла (рис. 6). Коридорне розміщення пальників зумовлює більший підігрів у пальниках верхнього ярусу. Результати дослідження впливу завихрення потоку вторинного повітря на екологічні характеристики котла надано в таблиці 1.

Результати завихрення потоку вторинного повітря залежно від кількості лопатей показано на рис. 8.

Відносна зміна величини викидів оксидів азоту визначалась за формулою (2)

$$dNO = (NO_i - NO_o) \cdot 100 / NO_o \quad (2)$$

Збільшення кількості лопатей у пальнику робить закручування потоку більш досконалим, у результаті можна зазначити деяке зменшення викидів оксидів азоту. Найбільший ефект досягається в інтервалі кількості завихрювальних лопатей від 8 до 16. Максимальні температури залишаються практично на тому самому рівні, а перепади тиску ростуть майже вдвічі швидше, ніж концентрація оксидів азоту.

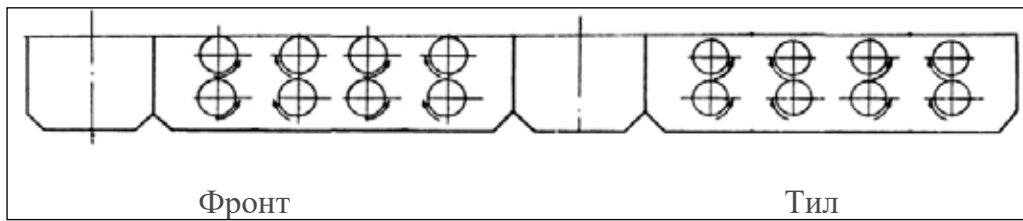


Рис. 6. Напрямок завихрення потоку в пальниках

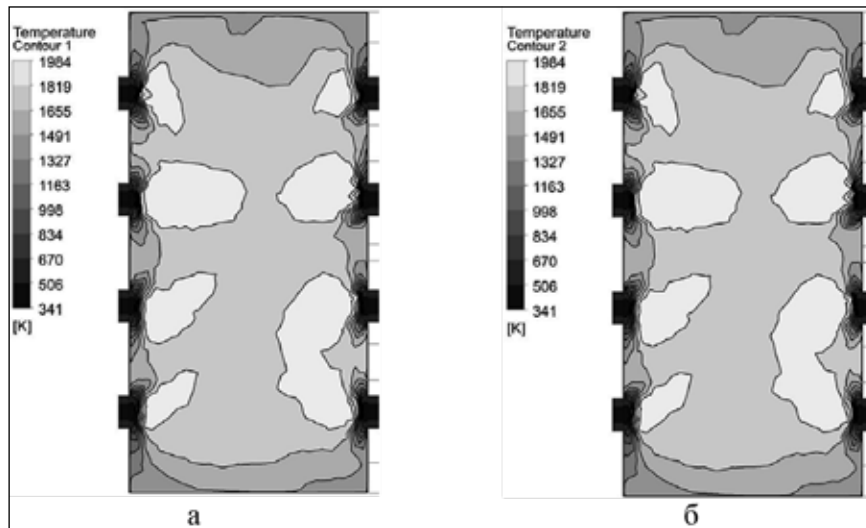


Рис. 7. Поля температур у топці котла ТПП 312 при закрутці вторинного повітря в пальниках із 24 лопатями на першому (а) і другому (б) ярусах

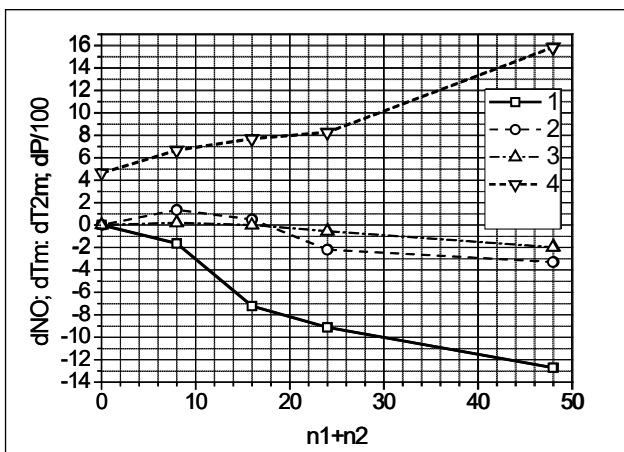


Рис. 8. Відносні зміни параметрів процесу горіння пилويدного вугілля при різних кількостях лопатей у каналах вторинного повітря: 1 – відносна швидкість утворення оксидів азоту, 2 – відносна максимальна температура на виході з першого і 3 – другого каналів вторинного повітря, 4 – перепад тиску в пальнику

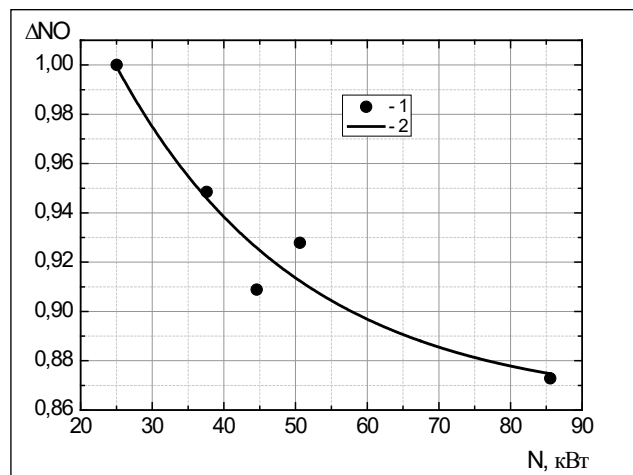


Рис. 9. Відносна зміна величини викидів оксидів азоту залежно від потужності вентилятора, який створює закручення вторинного повітря в пальниках котла: 1 – результати розрахунків; 2 – числа апроксимація

Детальніше вплив завихрювання вторинного повітря на генерацію оксидів азоту показаний на рис. 9.

Закручування вторинного повітря в зовнішньому кільцевому каналі (24 лопаті) виявилось

більш ефективним, ніж помірне закручування в двох каналах (8 лопатей у внутрішньому каналі і 8 лопатей у зовнішньому каналі).

На рис. 8 представлено результати дослідження у вигляді залежності кількості оксидів азоту, на

## Вплив кількості лопатей на енергетичну та екологічну характеристики котла ТПП 312 на номінальному навантаженні

Кількість лопатей тракту вторинного повітря		Перепад тиску на пальнику, Па	Коефіцієнт витрати		Число завихрення потоку		Середня осьова швидкість на виході з каналу, м/с		NO, кг/с	T <sub>max</sub> , К 1 ряд пальників	T <sub>max</sub> , К 2 ряд пальників
n1	n2		m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>			
0	0	464	0,41	0,59	0,6	0,21	33,5	38,3	0,2950	2006	2024
0	8	697	0,48	0,52	0,56	0,83	39,9	33,3	0,2798	2033	2028
0	24	826	0,55	0,45	0,5	1,2	45,76	28,9	0,2681	2016	2024
8	8	938	0,45	0,55	0,96	0,82	37,0	35,6	0,2737	1962	2013
24	24	1585	0,45	0,55	1,32	1,24	37,3	34,8	0,2575	1940	1984

яку зменшено викиди від енергетичних витрат на прокачування пальників котла для навантаження 280 МВт. Потужність вентиляторів визначалась як добуток об'ємної витрати вторинного повітря на перепад тиску на тракті вторинного повітря в пальнику. Відносна кількість оксидів азоту визначалась за формулою (3).

$$\Delta NO = 1 - (NO_0 - NO_i) / NO_0, \quad (3)$$

Результати числової апроксимації результатів проведеного дослідження дали змогу отримати еколого-енергетичну характеристику котла ТПП 312 для номінального навантаження. Зниження утворення оксидів азоту, зумовлене завихреннями вторинного, залежить від потужності вентилято-

рів, що забезпечують прокачування необхідної для спалювання вугілля кількості повітря:

$$\Delta NO = 0,86 + 0,36 \exp(-3,9 \cdot 10^{-5} N), \quad (4)$$

де N – потужність вентиляторів, Вт.

**Висновки.** Результати проведеного дослідження показали, що під час спалювання газового вугілля в котлі ТПП 312:

– організація завихрення вторинного повітря дає змогу отримати зниження оксидів азоту на величину до 12%;

– застосування більше 16 лопатей для завихрення вторинного повітря нераціональне, тому що призводить не до суттєвого зниження оксидів азоту, а до збільшення гідравлічного опору пальника.

## Перелік умовних скорочень

m – коефіцієнт витрати  
n – кількість лопатей завихрювача  
NO<sub>x</sub> – витрата оксиду азоту  
r – радіус каналу  
R – радіус  
S – число завихрення потоку  
T – температура

v – тангенційний складник швидкості  
w – осьова швидкість  
Нижні індекси:  
o – зовнішній  
i – внутрішній  
max – максимальний  
1, 2 – номери каналу вторинного повітря

## Список літератури:

1. Окислы азота в продуктах сгорания топлив : Сборник науч. Трудов. Киев : Наукова думка, 1981. 204 с.
2. Кобзар С.Г., Халатов А.А. Визначення ефективності зниження викидів оксидів азоту системою ступеневого спалювання вугілля котла ТПП–312 блоку № 6 ДТЕК Ладжинська ТЕС. *Вісник НТУУ ХПИ. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2014. № 13(1056). С. 85–91.
3. Кобзарь С.Г., Халатов А.А. Аprobация упрощенной модели расчета горения и формирования оксидов азота при сжигании жидкого топлива. *Промислова теплотехніка*. 2006. Т. 28, № 3. С. 62–66.
4. Подовження ресурсу екранів топки котла ТПП 312 шляхом зменшення високотемпературної газової корозії за допомогою керування структурою течії в об'ємі топки при спалюванні вугілля / Кобзар С.Г., Халатов А.А. *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин* : Збірник наукових статей. Київ : Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2015. 816 с. URL: <http://www.patonpublishinghouse.com/rus/compilations#winsresurs2015/>.
5. Кобзар С.Г., Коваленко Г.В., Халатов А.А. Комп'ютерне моделювання ерозії конвективних поверхонь нагріву котла ТПП 312. *Промислова теплотехніка*. 2017. Т. 39. № 5. С.78–83.

**Kobzar S.G., Kovalenko G.V. SWIRLING OF SECONDARY AIR IN BOILER COMBUSTORS AS A METHOD OF INFLUENCE ON THE PROCESS OF NITROGEN OXIDE PRODUCTION**

*The aim of the work is computer simulation of the formation of nitrogen oxides in the combustion zone of the boiler of the TPP 312 with different twists of secondary air in the boiler burners. The organization of the vortex flow allows reducing the generation of nitrogen oxides due to the formation of a return flow, which ballasts the combustion zone by oxidation products. The limitation of this technique is to reduce the combustion temperature, which can lead to underburning.*

*The objective of the study is to determine the formation of nitrogen oxides based on computer simulation of the gas dynamics of the firing space of the boiler TPP 312 DTEK Ladyzhinskaya TPP when burning gas coal using spinning blades in the secondary air channels of the burners.*

*The following variants of the secondary air flow in the burners were investigated: 1) without twisting the flow, both in the outer annular channels and in the internal channels of the burners (the variant is taken as the baseline for comparison); 2) 8 blades in the outer annular channels in their absence in the internal channels; 3) 24 blades in the outer annular channels in their absence in the internal channels; 4) 8 blades each, both in the outer annular canals and in the internal canals; 5) 24 blades, both in the outer annular canals, and in the internal canals.*

*With an increase in the number of blades, the pressure drop increased, which was necessary to overcome their resistance. The greatest effectiveness of the use of turbulent blades is observed in the range of their total number from 8 to 16.*

**Key words:** *pulverized coal boiler TPP 312, formation of nitrogen oxides, curling of the secondary air flow.*

**Михайленко О.Ю.**

Криворізький національний університет

**Карабут Н.О.**

Криворізький національний університет

**Мельник О.Є.**

Криворізький національний університет

**Кузьменко А.С.**

Криворізький національний університет

**Коломіц Г.В.**

Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НИЗЬКОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ

*Стаття присвячена питанню оцінки ефективності інтеграції локальної вітроелектростанції з вітроенергетичними установками низької потужності у структуру електричних мереж міста на прикладі Індустріального мікрорайону м. Кривого Рогу. Для проведення порівняльного аналізу розглядалося оснащення вітроелектростанції вітрогенераторами українського виробництва та виробництва КНР з однаковою номінальною потужністю. Агрегати в межах прилеглої до житлового масиву території розміщувалися за двома конфігураціями: рівномірною та шаховою. При визначенні очікуваного рівня виробництва електроенергії використовувалися статистичні моделі вітрових умов місцевості. Результати дослідження дали змогу встановити, що застосування вітчизняних вітроенергетичних установок, за умови їх рівномірного розташування, вимагає найбільших капіталовкладень та витрат на обслуговування обладнання, проте забезпечує покриття практично 9% потреб споживачів мікрорайону в електроенергії завдяки найвищому середньорічному обсягу генерації.*

*Незалежно від типу установки, шахова конфігурація забезпечує менші обсяги генерації електроенергії через можливість встановлення меншої кількості агрегатів порівняно з рівномірним розташуванням. При цьому загальна вартість обладнання та витрати на його обслуговування також значно нижчі. Наведені річні витрати на 1 кВт та собівартість виробництва електроенергії для двох порівнюваних варіантів конфігурації практично не відрізняються.*

*Застосування вітроенергетичних установок виробництва КНР продемонструвало найменшу собівартість виробництва однієї кВт·год, нижчі витрати на зведення та експлуатацію електростанції, проте рівень забезпечення споживачів мікрорайону електроенергією не перевищує 5,3%.*

*Разом із тим проведений аналіз показав, що собівартість виробництва електроенергії перевищує чинний «зелений» тариф, тому впровадження локальної вітроелектростанції спрямоване здебільшого на покращення екологічних та соціальних аспектів життя населення.*

*Рентабельність локальної вітроелектростанції може бути забезпечена у разі застосування більш дешевого обладнання, яке при цьому забезпечує вищі обсяги генерації електроенергії, що призведе до зниження собівартості її виробництва.*

**Ключові слова:** *відновлювана енергетика, вітроенергетичні установки низької потужності, вітроелектростанція, система електропостачання міста, виробництво електроенергії, ефективність, собівартість.*

**Постановка проблеми.** Нині серед нетрадиційних методів виробництва електроенергії, що використовують відновлювані енергоресурси, найбільше поширення отримали геліо- та вітроенергетичні методи. При цьому в умовах міст і

селищ, перевага надається геліоенергетичним установкам. Це зумовлюється, насамперед, невеликою вартістю окремих фотоелектричних перетворювачів, можливістю їх розташування безпосередньо в межах будівель та придомових



територій, що виключає необхідність передачі електроенергії на значні відстані. Разом із тим такі системи не позбавлені недоліків: їхня ефективність суттєво знижується при значній захмареності, у темний час доби та при високому рівні запиленості, що характерна для великих міст. У результаті середньорічне вироблення електроенергії знаходиться на низькому рівні й не забезпечує потреби побутових споживачів.

Альтернативою для геліоенергетики є застосування вітроенергетичних установок (ВЕУ). Проте через особливості їх конструкції та умов експлуатації вони практично не застосовуються у межах території міст. Так, для забезпечення номінального режиму роботи ВЕУ номінальною потужністю 2 МВт необхідна швидкість вітру становить 14 м/с, що в умовах міста є аномальним значенням через наявність значної кількості перешкод у вигляді багатоповерхових будинків. Додатковим обмеженням виступає необхідність дотримання вимог безпеки. Враховуючи, що ВЕУ містять обертові частини значної площі та мають високу вагу, їх необхідно розташовувати на відстані від будівель та споруд у десять разів більшій, ніж висота щогли, на якій розміщений вітрогенератор, котра, своєю чергою, становить від 100 до 160 м. Також небезпечним для здоров'я населення є високий рівень ультразвуку, що генерують агрегати. Таким чином, ВЕУ великої потужності доцільно встановлювати на відкритій місцевості, що достатньо віддалена від міста. У результаті виникає необхідність передачі електроенергії на значну відстань, яка завжди супроводжується втратами.

Виключити вищезазначені недоліки дає змогу застосування ВЕУ низької потужності до 20 кВт, висотою щогли до 20 м та з номінальною швидкістю вітру до 10 м/с. Зазначені параметри дають змогу розташовувати вітрогенератори на територіях значної площі в безпосередній близькості від будівель. Таких майданчиків у межах міст України достатня кількість з огляду на особливості проектів забудови жилих масивів.

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

Питання аналізу ефективності застосування ВЕУ низької потужності в міському середовищі розглядається у достатньо великій кількості статей [1–9]. Так, наприклад, робота [1] присвячена розміщенню таких агрегатів у м. Лондон, [2] – у південних містах Італії, [3] – на будівлі міжнародного торговельного центру в Бахрейні, [4] – у м. Джок'якарта (Індонезія).

При цьому більшість досліджень [3–9] орієнтована на визначення особливостей виробництва

електроенергії під час встановлення обмеженої кількості ВЕУ безпосередньо на дахах і стінах багатоповерхових будинків. Це зумовлюється тим, що сучасні міста характеризуються щільним характером забудови і, як наслідок, відсутністю територій придатних до встановлення великої кількості ВЕУ. У результаті рівень генерації електроенергії через низьку кількість агрегатів у таких системах залишається доволі низьким. Форма будівлі, особливо її даху, впливає на аеродинамічні характеристики [7; 8], а взаємне розташування будівель – на вітрові умови [6]. Окремо в роботі [3] автори зазначають, що конструкція будівлі має витримувати додаткові механічні навантаження, котрі виникають під час роботи ВЕУ. Тому необхідно посилювати конструкцію наявних будинків або враховувати ці навантаження під час проектування та зведення нових. Це призводить до значних капіталовкладень за відсутності перспективи повернення коштів шляхом продажу виробленої електроенергії.

Таким чином, концепцію розміщення ВЕУ на будинках доцільно реалізовувати у процесі побудови нових житлових масивів, враховуючи усі розглянуті особливості.

Зазначимо, що в наведених роботах [1–9] не визначається рівень забезпечення споживачів будівель електроенергією, а лише приводяться очікувані обсяги генерації.

В умовах України перевагу надають розміщенню ВЕУ потужністю від 1 МВт у південних областях, зокрема, Херсонській, Одеській та Запорізькій. У результаті вдосконаленню систем електропостачання міст шляхом інтеграції локальних вітроелектростанцій (ЛВЕС), на яких встановлюють агрегати потужністю до 20 кВт, приділяється мало уваги, що зумовлює актуальність роботи.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягає в дослідженні ефективності інтеграції локальних вітроелектростанцій із вітроенергетичними установками низької потужності в електричну мережу міст на прикладі мікрорайону Індустріальний м. Кривого Рогу.

Досягнення мети роботи вимагає вирішення таких завдань:

- розрахунок очікуваного рівня вироблення електроенергії в різних вітропотенційних зонах мікрорайону Індустріальний з огляду на отримані в роботі [10] статистичні моделі вітрових умов;
- визначення схеми розташування ВЕУ у межах території ЛВЕС;
- визначення техніко-економічних показників ефективності застосування ВЕУ низької

потужності для генерації електроенергії в умовах мікрорайону Індустріальний.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для виконання оцінки ефективності впровадження ЛВЕС із ВЕУ низької потужності необхідно вибрати енергетичні агрегати, котрі будуть використовуватись на електростанції. Доцільно розглянути застосування малих ВЕУ з максимальним значенням вихідної потужності. Порівняльний аналіз запропоновано здійснювати для двох ВЕУ потужністю 20 кВт марки FLAMINGO AERO WES-20 українського виробництва та MG-H20KW виробництва КНР. Технічні характеристики агрегатів наведено у табл. 1.

Аналіз характеристик показує, що вітрогенератор WES-20 має більший на 3 м діаметр вітроколеса та меншу на 1 м/с швидкість вітру, при якій агрегат буде працювати в номінальному режимі. Проте установка MG-H20KW має більш ніж у два рази меншу вартість.

Таблиця 1

**Технічні характеристики вітроенергетичних установок низької потужності**

Тип вітрогенератора	WES-20	MG-H20KW
Потужність, кВт	20	20
Максимальна частота обертання ротора, об/хв	100	120
Діаметр вітроколеса, м	13	10
Мінімальна швидкість вітру, м/с	3	3
Номінальна швидкість вітру, м/с	8	9
Висота щогли, м	20	18
Вартість, у.о.	48 222	21 400

Попередньо визначити економічні показники використання розглянутих ВЕУ можна, виходячи з припущення, що у структурі ЛВЕС буде застосований лише один агрегат такого типу. За допомогою методики, наведеної в роботі [11], для обох варіантів розраховані приведені річні витрати на 1 кВт встановленої потужності та собівартість вироблення 1 кВт·год електроенергії. При цьому було прийнято, що витрати на зведення ЛВЕС становлять 20%, а витрати на її експлуатацію – 1% від вартості обладнання. Обслуговуючий персонал складається з двох осіб із заробітною платою 10 000 грн/міс. Результати обчислень зведені в табл. 2.

Отримані дані демонструють, що застосування WES-20 забезпечує більші на 37,9% і 38,1% відповідно наведені річні витрати на 1 кВт потужності більші та собівартість генерації порівняно з MG-H20KW. Це, насамперед, пояснюється тим, що

за однакового середньорічного рівня виробництва електроенергії визначальним параметром, за яким здійснюється розрахунок, є вартість обладнання.

Таблиця 2

**Показники ефективності роботи ВЕУ**

Тип вітроенергетичної установки	WES-20	MG-H20KW
Вартість обладнання, грн.	1237 858,74	549 338
Термін експлуатації основного обладнання, років	20	20
Середній рівень виробництва електроенергії, кВт·год/рік	60 000	60 000
Загальні капіталовкладення, грн	1 485 430,5	659 205,6
Річні експлуатаційні витрати, грн/рік	388 543,05	305 920,56
Наведені річні витрати на 1кВт потужності, грн/кВт	23 140,73	16 944,04
Собівартість вироблення електроенергії, грн/кВт·год	7,71	5,65

Зазначимо, що особливість методики, запропонованої в [11], полягає в тому, що вона не враховує конструктивні параметри ВЕУ та вітрові умови місцевості, в якій вона буде розміщуватися.

Уточнений середньорічний рівень виробництва електроенергії для певного місцерозташування ЛВЕС доцільно визначити шляхом інтегрування добутку щільності розподілу ймовірностей виникнення швидкостей вітру та функції залежності вихідної потужності ВЕУ від швидкості вітру [12]:

$$P_{cep} = \int_0^{v_{max}} P(v) \cdot PDF(v) dv, \quad (1)$$

де  $PDF(v)$  – теоретична щільність розподілу ймовірностей виникнення певних швидкостей вітру;  $P(v)$  – залежність вихідної потужності ВЕУ від швидкості вітру, котру можна визначити за виразом [13]:

$$P(v) = 0,5C_p(\lambda, \alpha) \rho S v^3, \quad (2)$$

де  $C_p(\lambda, \alpha)$  – коефіцієнт продуктивності турбіни;  $\lambda$  – відношення частоти обертання вітроколеса до швидкості вітру;  $\alpha$  – кут повороту лопатей вітроколеса;  $S$  – площа обдуву вітроколеса, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт продуктивності ВЕУ за аналітичним виразом [13]:

$$C_p(\lambda, \alpha) = C_1(C_2 - C_3\alpha - C_4\alpha^{1,5} - C_5)e^{-C_6}; \quad (3)$$

Відповідно до [13] параметри коефіцієнтів приймаємо рівними  $C_1=0,5$ ,  $C_2=116/\lambda_i$ ,  $C_3=0,4$ ,  $C_4=0$ ,  $C_5=5$  та  $C_6=21/\lambda_i$ , де:

$$\lambda_i = \frac{(\alpha^3 + 1) - 0,035(\lambda + 0,08\alpha)}{(\alpha^3 + 1)(\lambda + 0,08\alpha)}, \quad (4)$$

Змінюючи значення  $\lambda$  та  $\alpha$ , побудуємо статичну характеристику вітроустановок, наведену на рис. 1. Отриманий графік демонструє, що максимальне значення коефіцієнту продуктивності досягається при  $\alpha=0^\circ$  та  $\lambda=8,12$  і становить  $C_{pmax}=0,478$ .

Попереднє дослідження авторів [10] було присвячене отриманню адекватних статистичних моделей розподілу ймовірності виникнення швидкості вітру певного значення для майданчиків [10, с. 34, рис. 2] розташованих біля мікрорайону Індустріальний м. Кривого Рогу. Як вихідні дані використовувалися результати річних вимірювань вітрових умов. Встановлено, що найкращі показники якості апроксимації емпіричного розподілу теоретичним має двопараметричний розподіл Вейбулла при інтервалі групування швидкості вітру 0,3 м/с. Тому при подальших дослідженнях у формулі (1) для виразу складника  $PDF(v)$  доцільно застосувати зазначену статистичну модель з оптимальними коефіцієнтами, отриманими в результаті параметричної ідентифікації.

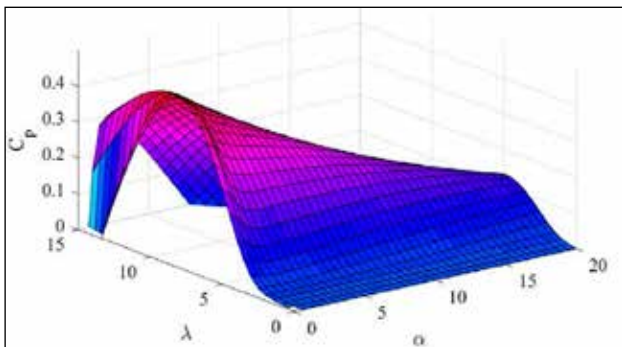


Рис. 1. Статична характеристика вітротурбіни

З використанням величини  $C_{pmax}$  та конструктивних параметрів порівнюваних ВЕУ за виразом (2) побудуємо їх криві потужностей (рис. 2).

Результати розрахунків середньорічного рівня виробництва електроенергії у вітрових умовах

мікрорайону Індустріальний із використанням виразу (1) для різних майданчиків ймовірного розміщення ЛВЕС зведені у табл. 3.

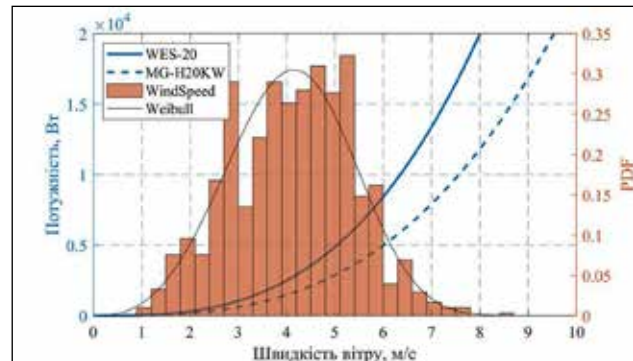


Рис. 2. Криві потужностей ВЕУ та розподіл ймовірностей виникнення певних швидкостей вітру для західного майданчика з територією сільгосп призначення

Аналіз даних показує, що найбільше середньорічне виробництво електроенергії може бути досягнуте за умови розміщення ВЕУ типу WES-20 на всій території західного майданчика, що пояснюється більш сприятливими вітровими умовами, зумовленими особливостями рельєфу та відсутністю завод. Розташування ЛВЕС, оснащеної WES-20, на частині західного майданчика, що не включає територію сільськогосподарського (с/г) призначення, призведе до зменшення обсягів генерації на 28,6%, на східному майданчику – на 20,2% та на всій прилеглий території – на 7,2%.

У разі вставлення ВЕУ типу MG-H20KW обсяги генерації знижуються на 40,8%, аніж у разі використання WES-20 у всіх чотирьох випадках територіального розміщення. Таким чином, незважаючи на вдвічі більшу вартість, ВЕУ WES-20 дає змогу виробляти більше електроенергії порівняно з аналогічною за потужністю установкою MG-H20KW.

Окремо зазначимо, що в найбільш сприятливих умовах вихідна потужність вітрогенератора

Таблиця 3

Електроенергетичні показники роботи ВЕУ у вітрових умовах мікрорайону

Територія	Вихідна потужність, кВт		Виробництво електроенергії, кВт·год/рік	
	WES-20	MG-H20KW	WES-20	MG-H20KW
Західний майданчик (без с/г)	2,454	1,452	21204,5	12547,04
Західний майданчик (із с/г)	3,435	2,033	29680,36	17562,34
Східний майданчик	2,74	1,621	23675,73	14009,31
Загальна територія	3,189	1,887	27557,82	16306,4

Показники ефективності роботи ВЕУ

Територія	Наведені річні витрати на 1кВт потужності, грн/кВт		Собівартість вироблення електроенергії, грн/кВт·год	
	WES-20	MG-H20KW	WES-20	MG-H20KW
Західний майданчик (без с/г)	188596	233389	21,83	27,01
Західний майданчик (із с/г)	134735	166690	15,59	19,3
Східний майданчик	168910,4	209056,7	19,55	24,19
Загальна територія	145128,4	179587,1	16,79	20,78

WES–20 не перевищує 3,435 кВт, а MG-H20KW – 2,033 кВт, що на 82,8% і 89,3% менше за їх номінальну потужність, відповідно. Отже, спостерігається низький рівень завантаження агрегатів.

Використавши отримані результати, виконаємо розрахунок економічних показників (див. табл. 4).

Отримані дані демонструють суттєве збільшення приведених річних витрат та собівартості виробництва електроенергії порівняно з базовими розрахунками (див. табл. 2). Так, для всього західного майданчика, де забезпечуються найбільші вихідна потужність ВЕУ та обсяги генерації, річні витрати збільшуються у 6,1 раза, а собівартість виробництва – у 2,1 раза. Це пояснюється, насамперед, низьким коефіцієнтом завантаження вітрогенератора і, як наслідок, невідповідністю середньорічного виробництва електроенергії у вітрових умовах мікрорайону, заявленому виробниками.

Використання у структурі ЛВЕС однієї ВЕУ, яке розглядалося до цього часу, призводить до нераціонального використання території її потенційного розташування. Заради підвищення ефективності ЛВЕС необхідно збільшити кількість агрегатів, що входять до її складу, без зміни або з незначним зростанням кількості обслуговуючого персоналу.

Беручи до уваги, що за результатами проведеного аналізу найбільш перспективним місцем розташування ЛВЕС біля мікрорайону Індустріальний є західний майданчик із територією с/г призначення, усі подальші дослідження проводимо для цієї площі.

Задля визначення максимальної кількості ВЕУ, котрі можуть бути розміщені у межах території ЛВЕС, необхідно врахувати вимоги безпеки, раціональну орієнтацію у просторі робочої поверхні вітротурбіни та взаємне розташування окремих агрегатів для виключення їх впливу один на одного.

Згідно з вимогами безпеки, для горизонтальних ВЕУ з обертовими частинами, відстань від будівель, місць потенційного знаходження людей (автомобільних та залізних доріг), а також повітряних і кабельних ЛЕП, газопроводів, відкритих об'єктів для транспортування води та теплової енергії має

перевищувати десятикратну висоту щогли, на якій знаходиться вітрогенератор.

Найбільш ефективним із точки зору максимального використання потенційної енергії вітру є розташування робочої поверхні ВЕУ під кутом 0–10° зустрічно до напрямку руху вітру [14]. Приймаємо кут 5°.

Для визначення орієнтації розміщення ВЕУ під час проведення вимірювань [10] додатково за допомогою цифрового флюгера здійснювалася фіксація напрямку вітру. За отриманими результатами побудована діаграма розподілу напрямку вітру за частотою виникнення (рис. 3).

З графіка видно, що рух вітру здійснюється переважно з південного сходу. Зазначимо, що найбільшого спостерігався вітер у напрямках, обмежених півднем та сходом.

У роботі [15] вказується, що для мінімізації взаємного впливу між окремими ВЕУ доцільно розташовувати їх рядами або один за одним, або в шаховому порядку. При цьому відстань між агрегатами приймаємо  $7D$ , де  $D$  – діаметр вітроколеса, а між рядами установок –  $10D$  [16]. У разі шахової конфігурації відстань між сусідніми ВЕУ та рядами агрегатів встановимо  $15D$  [15].

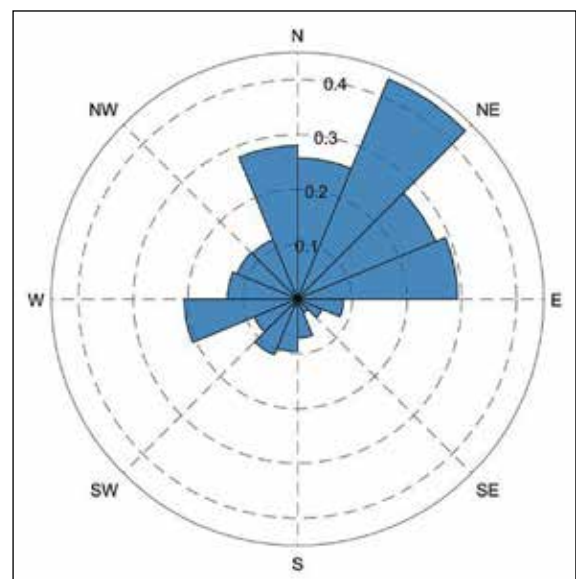


Рис. 3. Роза вітрів на території розміщення ЛВЕС

З огляду на вищевикладене, для проведення порівняльного аналізу було запропоновано розглянути дві схеми розташування ВЕУ в межах території ЛВЕС, що наведені на рис. 4. На площі розглянутого майданчика можна максимально розмістити до 123 вітрогенераторів при рівномірному розташуванні та 43 – при шаховому.

Для оцінки очікуваного рівня покриття потреб споживачів в електроенергії необхідно було визначити орієнтовне середньорічне енергоспоживання мікрорайону. Загальна кількість квартир у 20 будинках житлового масиву становить 1539. Максимальне навантаження на одну квартиру прийняте рівним 5 кВт. У результаті максимальне годинне енергоспоживання становить 7695 кВт·год. З огляду на те, що протягом доби цей показник суттєво коливається,

для визначення середньодобових показників було використано типовий графік електричних навантажень трансформаторної підстанції міської електричної мережі [17]. Щодо обчисленого максимального енергоспоживання визначені відповідні погодинні значення та нанесені на діаграму (рис. 5).

За графіком встановлено, що середнє годинне споживання потужності побутовими споживачами становить 4721,65 кВт·год, тоді середнє добове – 113319,64 кВт·год/день, середнє річне – 40795073,28 кВт·год/рік.

Визначимо середньорічний обсяг виробництва електроенергії, рівень забезпечення споживачів мікрорайону електроенергією та відповідні економічні показники для запропонованих варіантів конфігурації вітроелектростанції. Результати розрахунків зведені в табл. 5.

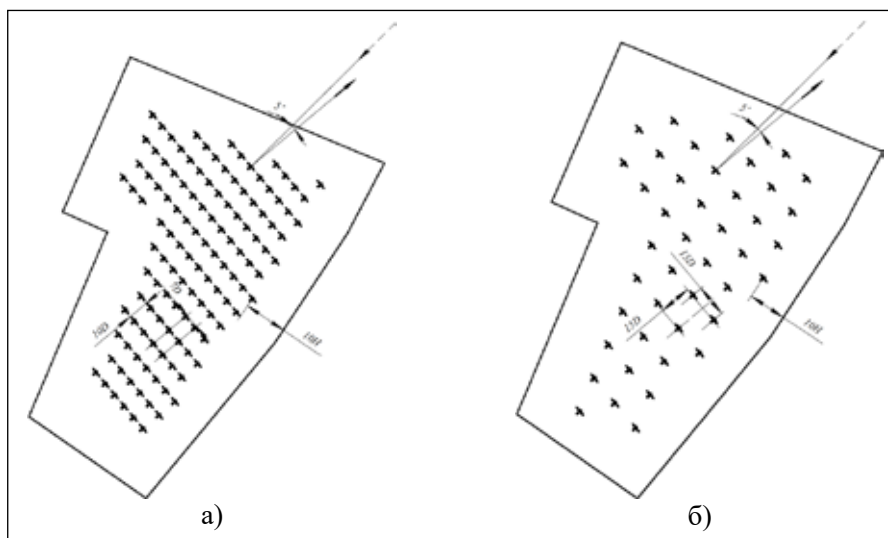


Рис. 4. Схеми розташування вітроенергетичних установок на території ЛВЕС

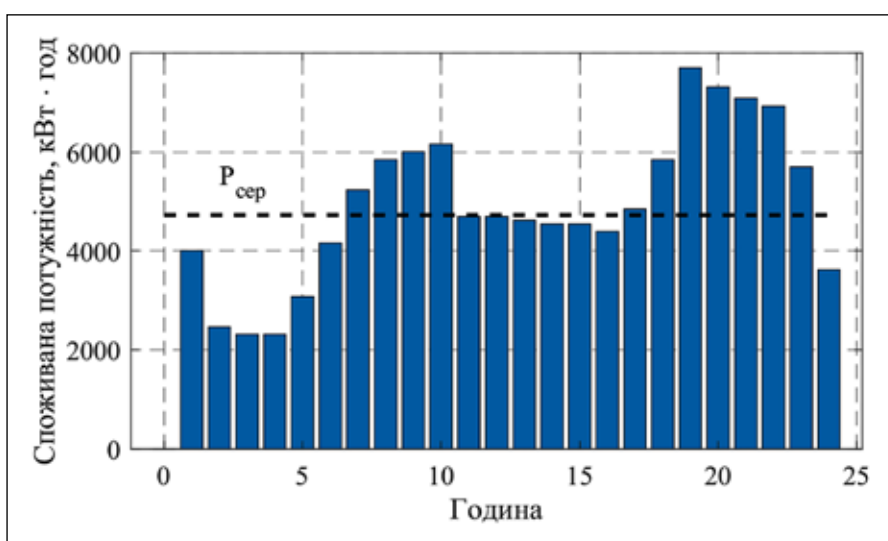


Рис. 5. Графік електричних навантажень мікрорайону

## Показники ефективності роботи ЛВЕС

Показник	Тип ВЕУ	Схема розташування та кількість ВЕУ	
		Рівномірна, 123 ВЕУ	Шахова, 43 ВЕУ
Загальні капіталовкладення, млн грн	WES-20	182,708	63,874
	MG-H20KW	81,082	28,346
Річні експлуатаційні витрати, млн грн/рік	WES-20	18,511	6,627
	MG-H20KW	8,348	3,075
Загальна середня вихідна потужність електростанції, кВт	WES-20	422,51	147,7
	MG-H20KW	250,06	87,4
Загальне середньорічне вироблення електроенергії електростанцією, кВт·год/рік	WES-20	3650684,28	1276255,48
	MG-H20KW	2160167,82	755180,62
Рівень забезпечення споживачів мікрорайону електроенергією, %	WES-20	8,95	3,13
	MG-H20KW	5,3	1,85
Наведені річні витрати на 1кВт потужності, грн/кВт	WES-20	65434	66490,82
	MG-H20KW	49597,67	51383,29
Собівартість вироблення електроенергії, грн/кВт·год	WES-20	7,57	7,69
	MG-H20KW	5,74	5,95

Отримані дані демонструють, що у разі рівномірної схеми розміщення вітрогенераторів типу WES-20 необхідні у 2,86 рази вищі загальні капіталовкладення, ніж у разі шахової. Таке співвідношення за цим показником зберігається й за умови використання установок типу MG-H20KW. При цьому комплектація ЛВЕС агрегатами виробництва КНР вимагає на 55,6% нижчих капіталовкладень порівняно із застосуванням вітчизняних ВЕУ за обома варіантами конфігурації. Також висока кількість ВЕУ, яку можна розмістити за рівномірною схемою, вимагає очікувано більших річних експлуатаційних витрат, ніж шаховий варіант: для установок типу WES-20 вищих у 2,79 рази, для MG-H20KW – у 2,71 рази. При цьому витрати на обслуговування MG-H20KW менші на 54,9% для рівномірного розміщення і на 53,6% – для шахового, порівняно з WES-20.

Разом із тим через особливості конструктивного виконання оснащення ЛВЕС установками WES-20 дає змогу забезпечити вищу вихідну потужність агрегатів та середньорічний рівень виробництва електроенергії електростанцією, ніж у разі використання більш дешевої ВЕУ. Так, за умови рівномірного розміщення WES-20, порівняно з MG-H20KW, вихідна потужність і середньорічний обсяг генерації у 1,69 рази вищі. Для шахової конфігурації таке співвідношення зберігається. При цьому останній варіант схеми розташування ВЕУ забезпечує на 65,04% менше середньорічне виробництво електричної енергії електростанцією. Наведені річні витрати на 1 кВт потужності та собівартість виробництва елек-

троенергії для двох варіантів конфігурації ЛВЕС відрізняються несуттєво. Так, для шахового розміщення WES-20 питомі витрати на 1,62%, а собівартість виробництва на 1,59% більші ніж для рівномірного. При використанні MG-H20KW вони на 3,6% і 3,66% відповідно вищі. Проте розміщення MG-H20KW, порівняно з WES-20, за обома схемами забезпечує на 24,2% нижчі питомі витрати та на 22,7% меншу собівартість генерації однієї кВт·год.

Собівартість виробництва електроенергії у всіх розглянутих випадках перевищує середній чинний «зелений» тариф [18] для виробників електроенергії з енергії вітру, що становить 3,0288 грн/кВт·год, мінімум у 1,9 рази. При застосуванні надбавки за використання обладнання WES-20 вітчизняного виробництва, що становить 30,42 коп./кВт·год, відношення мінімальної собівартості до «зеленого» тарифу становить 1,72.

Окремо зазначимо, що рівень покриття ЛВЕС потреб побутових споживачів в електроенергії є доволі низьким та для схеми рівномірного розміщення ВЕУ типу WES-20, котра забезпечує найбільший обсяг генерації в межах розглянутої території, становить 8,95%.

**Висновки.** Проведений аналіз ефективності впровадження локальних вітроелектростанцій у структуру електричних мереж міста на прикладі Індустріального мікрорайону м. Кривого Рогу продемонстрував, що, незважаючи на суттєві капіталовкладення та річні експлуатаційні витрати, застосування ВЕУ вітчизняного виробництва за умови рівномірного їх розміщення в межах роз-



глянутої території дає змогу забезпечити вищу середню вихідну потужність та середньорічне виробництво електроенергії порівняно з агрегатами виробництва КНР. Разом із тим собівартість виробництва електроенергії у всіх розглянутих випадках не покривається коштом «зеленого» тарифу, що діє нині.

Отже, дослідження показало, що впровадження ЛВЕС поряд із житловим мікрорайоном сприяє здебільшого покращенню соціального та екологічного аспектів життя населення. Це досягається шляхом підвищення надійності електропостачання через впровадження резервного джерела живлення та внаслідок зниження рівня

шкідливих викидів при виробництві електроенергії. Разом із тим економічна ефективність залишається на доволі низькому рівні. Одним із напрямів її підвищення є здешевлення генеруючого та акумулюючого обладнання, що дасть змогу знизити загальні капіталовкладення та експлуатаційні витрати. Інший полягає в оптимізації конструкції ВЕУ та удосконаленні систем керування їх електромеханічним обладнанням задля підвищення вихідної потужності вітрогенератора в конкретних вітрових умовах і, як наслідок, збільшення обсягів генерації електроенергії. Комплекс цих заходів дасть змогу знизити собівартість виробництва електроенергії.

#### Список літератури:

1. Drew D.R. Estimating the potential yield of small wind turbines in urban areas: A case study for Greater London, UK / D.R. Drew, J.F. Barlow, T.T. Cockerill. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2013. Vol. 115. P. 104–111.
2. Messineo A. Evaluating the Performances of Small Wind Turbines. A Case Study in the South of Italy. *Energy Procedia*. 2012. Vol. 16. P. 137–145.
3. Stathopoulos T. Urban wind energy: Some views on potential and challenges / T. Stathopoulos, H. Alrawashdeh, A. Al-Quraan et al. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2018. Vol. 179. P. 146–157.
4. Saria D.P. A Technical Review of Building Integrated Wind Turbine System and a Sample Simulation Model in Central Java, Indonesia / D.P. Saria, W.B. Kusumaningruma. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 47. P. 29–36.
5. Micallef D. A Review of Urban Wind Energy Research: Aerodynamics and Other Challenges / D. Micallef, G. Van Bussel. *Energies*. 2018. Vol. 11(9), 2204. 27 p.
6. Ng E. Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: A study in Hong Kong / E. Ng, C. Yuan, L. Chen, C. Ren, J.C. Fung. *Landscape and Urban Planning*. 2011. Vol. 101. P. 59–74.
7. Calautit K. A Review of Numerical Modelling of Multi-Scale Wind Turbines and Their Environment / K. Calautit, A. Aquino, J.K. Calautit. *Computation*. 2018. Vol. 6(1), 24. 37 p.
8. Anup KC Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review / Anup KC, J. Whale, T. Urmee. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 131. P. 268–283.
9. Van Bussel G.J.W. Small wind turbines for the built environment / G.J.W. van Bussel, S.M. Mertens. *In Proceedings of The Fourth European & African Conference on Wind Engineering*. Prague, 11–15 July, 2005. P. 1–9.
10. Михайленко О.Ю. Структурна та параметрична ідентифікація статистичної моделі розподілу швидкості вітру в міському середовищі / Н.О. Карабут, В.П. Щокін, О.Є. Мельник, А.С. Кузьменко. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2019. Т. 30 (69). № 2, Ч. 2. С. 31–41.
11. Лукутин В.Б. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников. Томск : Издательство ТПУ, 2015. 128 с.
12. Chaouachi A. Multi-criteria selection of offshore wind farms: Case study for the Baltic States / A. Chaouachi, C.F. Covrig, M. Ardelean. *Energy Policy*. 2017. Vol. 103. P. 179–172.
13. Heier S. *Grid Integration of Wind Energy: Onshore and Offshore Conversion Systems*. John Wiley & Sons, 2014. 494 p.
14. Gumula S. Evaluation of the impact of adjusting the angle of the axis of a wind turbine rotor relative to the flow of air stream on operating parameters of a wind turbine model / S. Gumula, M. Piaskowska-Silarska, K. Pytel, H. Noga, W. Kulinowski. *Proceedings of E3S Web of Conferences*. 2017. Vol. 14. 01016.
15. Півняк Г.Г. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков. Дніпропетровськ : НГУ, 2015. 335 с.
16. Hansen K.S. The impact of turbulence intensity and atmospheric stability on power deficits due to wind turbine wakes at Horns Rev wind farm / K.S. Hansen, R.J. Barthelmie, L.E. Jensen, A. Sommer. *Wind Energy*. 2012. Vol. 15(1). P. 183–196.
17. Тарнижевский М.В. Электрооборудование предприятий жилищно-коммунального хозяйства : справочник / М.В. Тарнижевский, Е.И. Афанасьева. Москва : Стройиздат, 1987. 368 с.

18. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва для суб'єктів господарювання : Постанова № 1240 від 27.06.2019 р. Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=42422>.

**Mykhailenko O.Yu., Karabut N.O., Melnyk O.Ye., Kuzmenko A.S., Kolomits H.V. THE EFFECTIVENESS RESEARCH OF USING SMALL WIND TURBINES IN CITIES POWER GRIDS**

*The paper presents effectiveness research results of the integration of a local wind farm with small wind turbines into the cities power grid. For example, the Industrial microdistrict of Kryvyi Rih was taken. The equipment of the wind farm with Ukrainian and Chinese wind turbines with the same nominal power was considered. Wind turbines inside the wind farm were located in two configurations: uniform and chess. The area wind condition statistical models are used to determine power generation.*

*The research results showed that the use of Ukrainian wind turbines at uniform location requires the largest investment and maintenance costs, but covers consumer demand for electricity by 9%.*

*Without reference to wind turbine type, the chess configuration provides less power generation. This is due to the placement of fewer wind turbines compared to a uniform location. The total equipment and maintenance costs are also significantly lower. It should be noted, that the specific costs for 1 kW wind farm power and the power generation cost, for the two comparable configurations almost identical.*

*The use of Chinese wind turbines showed the lowest production cost per kWh, lower costs for the construction and operation of the wind farm. However, consumers demand for electricity satisfied by no more than 5.3%.*

*At the same time, the research results showed that the power generation cost exceeds the current "Green tariff" in Ukraine. Therefore, the local wind farm implementation is aimed, in the majority, at improving the environmental and social aspects of the microdistrict residents' life. Small wind turbines advisable to place near residential areas where possible electricity cuts to improve power system reliability. Also, local wind farms should be installed in cities where high level of air pollution from traditional methods of electricity production is observed.*

*In the considered wind conditions, small wind turbines economic efficiency is low. The wind farm profitability can be achieved by using cheaper equipment, which at the same time provides higher power generation, which will reduce the cost of electricity production.*

**Key words:** *renewable energy, small wind turbine, wind farm, cities power grids, power generation, efficiency, cost price.*



УДК 536.24:541.11

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/05>**Халатов А.А.**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

**Коваленко Г.В.**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

**Мулярчук М.А.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Степанюк О.Ю.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ОБТІКАННЯ ПОВІТРЯМ ЦИЛІНДРА ЗІ СПІРАЛЬНОЮ КАНАВКОЮ

Для кругового циліндра критичне число Рейнольдса, при якому зменшується його гідравлічний опір, суттєво залежить від шорсткості його поверхні. У перехідній зоні швидкостей це явище може бути використане для раціонального проектування теплообмінників.

Метою роботи є комп'ютерне моделювання теплообміну та гідродинаміки при обтіканні повітрям кругового циліндра з гвинтовою канавкою прямокутного перерізу на його зовнішній поверхні.

Комп'ютерне моделювання гідродинаміки і теплообміну циліндра зі спіральною канавкою проводилося для чисел Рейнольдса  $1400 \leq Re_D \leq 49000$ . Приймались такі граничні умови: постійна швидкість потоку з температурою  $22\text{ }^\circ\text{C}$  на вході в канал і атмосферний тиск на виході. На поверхні досліджуваного циліндра задавалися граничні умови першого роду –  $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$ , на решті сторін каналу задавалися симетричні граничні умови. Кількість розрахункових елементів у моделі становила 11,5 млн. В результаті порівняння з експериментальними даними з'ясовано, що найкращу відповідність із ними показує модель турбулентності SSG, яка і була використана.

Для тестування моделі проводились розрахунки для обтікання гладкого циліндра при числах Рейнольдса  $Re_D = 2921$  і  $Re_D = 21912$ .

Похибка у визначенні середнього коефіцієнта тепловіддачі порівняно із даними В.П. Ісаченко не перевищувала 17,9%.

За циліндром зі спіральною канавкою в кожному місці проходження канавки через перетин, розміщений перпендикулярно потоку і такий, що проходить через вісь циліндра, утворюється тонка вихрова «шпилька», по якій ковзають «муфтоподібні» вихори з діаметрами, меншими, ніж діаметр циліндра, що захоплюються потоком. Напрямок обертання сусідніх «муфтоподібних» вихорів зустрічний. Сумарна ширина утвореного вихрового сліду не перевищує 1,1 діаметра циліндра. Вихровий слід не суцільний. Протилежна направленість обертання «муфтоподібних» вихорів і їх шахове розташування забезпечують наявність у кормовій частині циліндра з канавкою більших швидкостей, ніж у разі обтікання гладкого циліндра.

Таким чином, наявність спіральної канавки на зовнішній поверхні циліндру дає змогу в деякому діапазоні розмірів її кроку керувати структурою потоку («нав'язувати» розмір вихорів у сліді за циліндром) і впливати на тепловіддачу в найбільш проблемній частині теплообмінної поверхні.

У разі використання циліндрів із канавками в пучках можливий взаємний вплив (у тому числі і негативний) на тепловіддачу сусідніх циліндрів при неконтрольованому розташуванні проходів канавок через щілини між циліндрами, особливо при малому поперечному кроці циліндрів у ряду. Це може спричинити додаткові вимоги у процесі монтування теплообмінників із використанням циліндрів із канавками.

Приріст тепловіддачі при застосуванні канавок на поверхні циліндрів перевищує збільшення площі тепловіддачі.

Загалом застосування циліндрів із канавками є перспективним напрямом інтенсифікації теплообміну.

**Ключові слова:** гідродинаміка, теплообмін, циліндр, спіральні канавки, комп'ютерне моделювання.

**Постановка проблеми.** Поперечне обтікання циліндрів – поширене явище в багатьох галузях техніки. Залежно від швидкості потоку воно може характеризуватись різними особливостями. Імпактне натікання в лобовій точці, утворення і розвиток примежового шару, його відрив і приєднання, поява вихорів із характерними для них розмірами і частотою – далеко не повний перелік особливостей, які впливають на поведінку і навіть довговічність конструкцій [1, с. 31]. Для кругового циліндра критичне число Рейнольдса, при якому зменшується його гідравлічний опір, суттєво залежить від шорсткості його поверхні [1, с. 618]. У перехідній зоні швидкостей цей аспект може бути використаний задля раціонального проектування теплообмінників різноманітного призначення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із перспективних типів великомасштабної шорсткості є заглиблення на поверхні, які не тільки збільшують площу теплообміну, інтенсифікують теплообмін, але в деякому діапазоні швидкостей зменшують гідравлічний опір теплообмінної поверхні [2, с. 12; 3, с. 550; 4, с. 21]. Окремим перспективним типом великомасштабної шорсткості є спіральна канавка на зовнішній поверхні циліндра. У цьому випадку також відбувається інтенсифікація теплообміну при зменшених втратах тиску [5, с. 63].

**Постановка завдання.** Метою роботи є комп'ютерне моделювання теплообміну та гідродинаміки у процесі обтікання повітрям гладкого кругового циліндра і циліндра зі спіральною канавкою прямокутного перерізу на його зовнішній поверхні (глибина канавки – 1,8 мм, ширина канавки – 3 мм, крок спіралі – 40 мм). Метод дослідження – комп'ютерне моделювання.

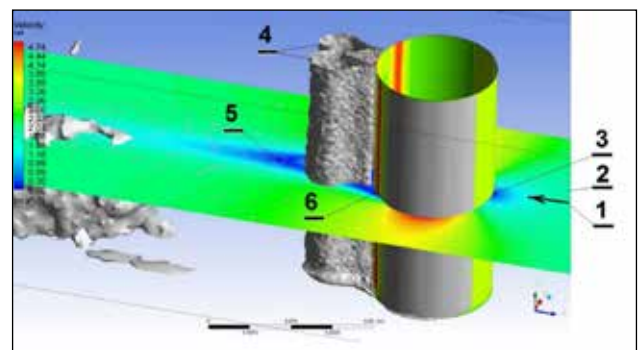
**Виклад основного матеріалу дослідження.**  
**Обтікання гладкого циліндра.** Розрахунки проводилися для чисел Рейнольдса  $1400 \leq Re_D \leq 4,9 \cdot 10^4$ . Приймались такі граничні умови: постійна швидкість потоку, що набігає, температура повітря 22°C на вході в канал і атмосферний тиск на виході, на поверхні досліджуваного циліндра задавалися граничні умови першого роду –  $t = 0^\circ C$  (в досліді [5, с. 67] використовувався циліндр-калориметр із льодом, що тоне), на решті сторін каналу задавалися симетричні граничні умови.

Дискретизація розрахункової області здійснювалась у вбудованому редакторі сіток ANSYS Mesh. На поверхні стінки створювалися шари призматичних чарунок, які дають змогу більш якісно описувати процеси, що відбуваються у примежовому шарі і канавці, тим самим зменшують

похибку розрахунку. Основні параметри дискретизації розрахункової області: число шарів призматичних чарунок – 10, коефіцієнт переходу – 0,2 мм, фактор приросту призматичних шарів – 1,05. Максимальний розмір чарунок у досліджуваній моделі становив 5 мм, кількість елементів у моделі становила 11,5 млн. Теплофізичні властивості повітря задавалися за допомогою емпіричних формул. Розрахунок припинявся за відсутності змін у п'ятому знаку основних параметрів між послідовними ітераціями.

У дослідженні тестувалися три моделі турбулентності: SST модель Ментера і моделі напружень Рейнольдса – SSG і LRR. У результаті тестування було з'ясовано, що модель турбулентності SSG показує найкращу відповідність експериментальним даним щодо теплообміну [6, с. 224].

На рис. 1 видно, що потік 1 гальмується біля лобової точки 3, але внаслідок імпактного натікання коефіцієнт тепловіддачі досить великий. Найбільші коефіцієнти тепловіддачі спостерігаються в місцях приєднання примежового шару, який попередньо відірвався. Розрахунок підтвердив, що за кормовою частиною циліндру знаходиться зона зворотних течій 5 зі зменшеними швидкостями. Вихори в задній частині циліндру відриваються і виходять у вільний простір. На рис. 2 показано розподіл коефіцієнтів тепловіддачі по колу поперечного перерізу циліндра при числі Рейнольдса  $Re_D = 2921$ . Зони відриву закінчуються на кутовій відстані від лобової точки  $\varphi = 74,7^\circ$ .



**Рис. 1.** Картина швидкостей і коефіцієнтів тепловіддачі біля гладкого одиночного циліндра (комп'ютерне моделювання) ( $Re_D = 2921$ ): 1 – напрям течії; 2 – розрахункова площа для фіксації епюри швидкостей повітря; 3 – лобова точка; 4 – границі вихрових зон з однаковою завихренністю; 5 – зона зворотних течій; 6 – зони максимальної тепловіддачі

Помітно екстремум у місці імпактного натікання (в лобовій точці) і два бічних максимуми. У зв'язку з більшими швидкостями потоку середній

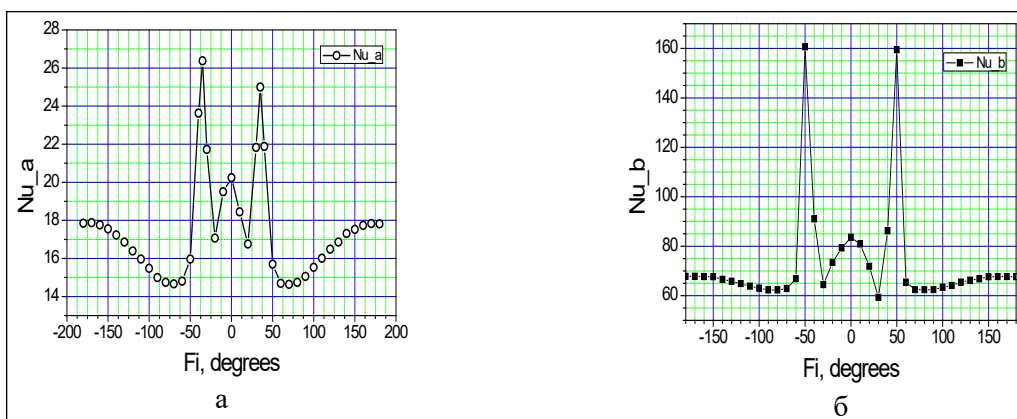


Рис. 2. Розподіл чисел Нусельта на зовнішній поверхні гладкого одиночного циліндра: а –  $Re_D=2921$ ; б –  $Re_D=21912$ . Кут  $\Gamma_i$  відраховується від лобової точки

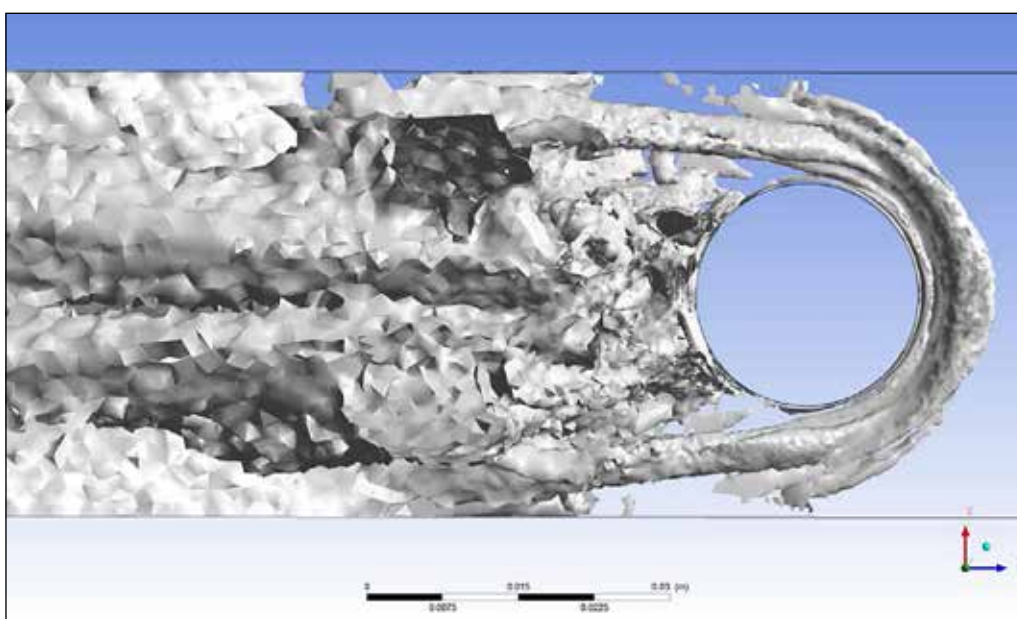


Рис. 3. Вихрові структури при обтіканні гладкого одиночного циліндра.  $Re_D=21912$

коефіцієнт тепловіддачі при  $Re_D=21912$  більший від свого аналога у разі  $Re_D=2921$  в 5,27 рази.

Середній коефіцієнт тепловіддачі з похибкою, що не перевищує 17,9%, описується рівнянням з [6, с. 224]:

$$\overline{Nu}_D = 0,25 Re_D^{0,6} Pr^{0,38} (Pr/Pr_w)^{0,25}, \quad (1)$$

На рис. 3 показані вихрові структури при обтіканні гладкого одиночного циліндра при  $Re_D=21912$ . Область зворотних течій за циліндром має кутовий розмір 170 градусів. Довжина великих вихрових утворень становить 1,66 діаметра циліндра, а ширина (поперек потоку) – 1,32 діаметра циліндра. Ланцюжок вихрових утворень із віддаленням від циліндра збільшується в розмірах і виходить у вільний простір. Вихори за гладким циліндром розташовуються симетрично

щодо площини, що проходить через його вісь уздовж потоку. Числа Струхаля, відповідні діапазону чисел Рейнольдса  $1000 < Re_D < 21000$ , лежать в інтервалі  $0,26 < Sh < 0,35$ .

**Обтікання циліндра зі спіральною канавкою.** Якісно відмінне поле швидкостей можна спостерігати за циліндром зі спіральною канавкою (рис. 4). У кожному місці проходження канавки через перетин, розміщений перпендикулярно потоку і такий, що проходить через вісь циліндра (мідельний перетин), утворюється тонка вихрова «шпилька», по якій ковзають «муфтоподібні» вихори з діаметрами, меншими, ніж діаметр циліндра, що захоплюються потоком. Напрямок обертання сусідніх «муфтоподібних» вихорів зустрічний. Сумарна ширина (розмір поперек потоку) утвореного вихрового сліду не перевищує 1,1 діаметра циліндра. Вихровий слід не

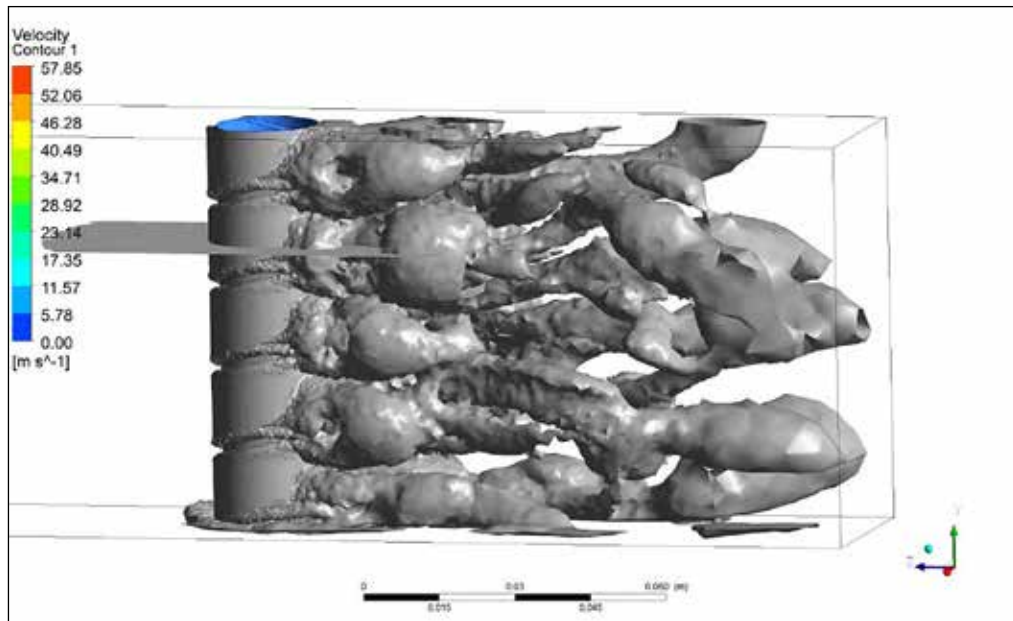


Рис. 4. Вихрові структури при обтіканні циліндра зі спіральною канавкою.  $Re_D=21912$

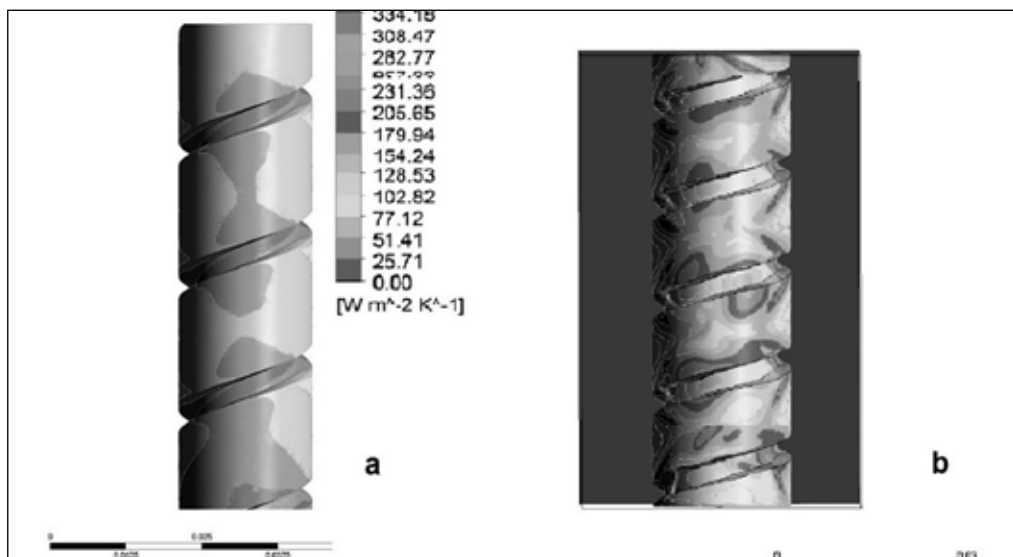


Рис. 5. Розподіл коефіцієнта тепловіддачі на стерновій частині циліндрів при різних кроках спіральної канавки.  $Re_D=21912$ . а –  $S=20$  мм; б –  $S=11$  мм

суцільний. Протилежна направленість обертання «муфтоподібних» вихорів і їх шахове розташування забезпечують наявність у стерновій частині циліндра з канавкою більших швидкостей, ніж у разі обтікання гладкого циліндра.

Розв’язання нестационарної задачі обтікання циліндра із спіральною канавкою дає змогу визначити періодичність сходу «муфтоподібних» вихорів. Числа Струхалія, визначені для діапазону швидкостей обтікання, відповідного числам Рейнольдса  $1000 < Re_D < 10000$ , лежать в інтервалі  $0,26 < Sh < 0,456$ .

Таким чином, наявність спіральної канавки на зовнішній поверхні циліндру дає змогу в деякому діапазоні розмірів її кроку керувати структурою потоку («нав’язувати» розмір вихорів у сліді за циліндром) і впливати на тепловіддачу в найбільш проблемній частині її поверхні.

На рис. 5 представлено розподіл коефіцієнта тепловіддачі на кормовій половині теплообмінної поверхні циліндрів при різних кроках спіральної канавки. Порівняно велика різниця між комп’ютерним моделюванням і експериментом [6, с. 224] пояснюється тим, що для її оцінки

використовувався лише один поперечний переріз циліндра, а з рис. 5 видно, що розподіл коефіцієнта тепловіддачі за висотою суттєво нерівномірний.

Борти канавки заважають розтіканню потоку, що набігає, чим забезпечують збільшення коефіцієнта тепловіддачі. Потік у канавці, обігнувши мідельний перетин циліндра, відчуває складний вплив основної течії, готової відірватися від поверхні, і зони розрідження на кормі. У результаті на кормову поверхню з канавки стікають два обертових вихрових струменя, що перехрещуються посередині ділянки кормової поверхні між сусідніми витками спіральної канавки. Ці струмені і служать основними інтенсифікаторами теплообміну. Максимуми тепловіддачі спостерігаються в канавці на кутовій відстані від лобової лінії, що дорівнює приблизно  $130^\circ$ , а також на сусідній нижче розташованій ділянці циліндричної поверхні.

Зменшення кроку канавки (рис. 5) приводить до зростання кількості зон місцевої інтенсифікації теплообміну і збільшення середнього коефіцієнту тепловіддачі. Розрахункове зменшення кроку канавки з 20 мм до 11 мм викликало зростання середнього коефіцієнту тепловіддачі на 32% при  $Re_D = 15000$ .

**Висновки.** Комп'ютерне моделювання циліндра зі спіральною канавкою ускладнюється необ-

хідністю вживати велику кількість дрібних розрахункових чарунок внаслідок малої ширини канавок, які вживаються на практиці.

Фізична структура поперечного обтікання циліндра з канавками показує причину виникнення поперечної складової частини швидкості, яка зменшує величину застійної зони за циліндром, появу додаткових частот коливання потоку і збільшення тепловіддачі.

Поява великомасштабних вихрових утворень у кормовій частині циліндра з канавками дає змогу прогнозувати виникнення додаткових частот у спектрі коливань потоку за циліндром.

Приріст тепловіддачі у процесі застосування канавок на поверхні циліндрів перевершує збільшення площі тепловіддачі.

У разі використання циліндрів зі спіральною канавкою в пучках можливий взаємний вплив (у тому числі і негативний) на тепловіддачу сусідніх циліндрів при неконтрольованому розташуванні проходів канавок через щілини між циліндрами, особливо при малому поперечному кроці циліндрів у ряду. Це може спричинити додаткові вимоги у процесі монтування теплообмінників із використанням циліндрів із канавками.

Загалом застосування циліндрів зі спіральною канавкою є перспективним напрямом інтенсифікації теплообміну.

### Перелік умовних скорочень

$D$  – діаметр циліндра;  
 $l$  – робоча довжина циліндра;  
 $p$  – тиск;  
 $T$  – температура;  
 $u, v, w$  – складники вектора швидкості потоку;  
 $f$  – частота;  
 $Fi$  – кутова координата від лобової точки;

**Критерії:**  
 $Eu$  – число Ейлера;  
 $Nu$  – число Нуссельта;  
 $Re$  – число Рейнольдса;  
 $Sh$  – число Струхалія;  
**Нижні індекси:**  
 – гладка поверхня;  
 $w$  – стінка;

### Список літератури:

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Москва : «Наука», 1969, 742 с.
2. Kovalenko G.V., Khalatov A.A. Fluid Flow and Heat Transfer Features at a Cross-Flow of Dimpled Tubes in a Confined Space. GT2002-38155 Proceeding of ASME Turbo Expo 2003 June 16–19 2003, Atlanta, Georgia, USA.
3. Коваленко Г.В. Обтекание цилиндров потоком газа при турбулизации пограничного слоя. *Научное обозрение*. 2014. № 8. С. 548–553.
4. Bo Zhou, Xikun Wang, Wei Guo, Wie Min Gho, Soon Keat Tan. Control of flow past a dimpled circular cylinder. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2015. Singapore : Nanyang Technological University, 69, P. 19–26.
5. Халатов А.А., Коваленко Г.В., Мейрис А.Ж. Теплоотдача при поперечном обтекании воздухом однорядного пучка труб со спиральными канавками. *Инженерно-физический журнал*. 2018. Т. 91, № 1, январь-февраль. С. 60–68.
6. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Москва : Энергия, 1975, 488 с.

**Khalatov A.A., Kovalenko G.V., Muliarchuk M.A., Stepaniuk O.Yu. COMPUTER SIMULATION OF CROSS-FLOWING THE CYLINDER WITH A SPIRAL GROVE BY AIR**

*For circular cylinder the critical Reynolds number, which reduces its hydraulic resistance, depends on the roughness of its surface significantly. In the transition zone of velocities this phenomenon can be used for the rational design of heat exchangers.*

*The purpose of this work is a computer simulation of heat transfer and fluid dynamics when flowing the circular cylinder with a spiral groove of a rectangular cross-section on its outer surface by air.*

*Computer simulation of fluid dynamics and heat transfer of a cylinder with a spiral groove was carried out for Reynolds numbers  $1,400 \leq Re_D \leq 49,000$ . The following boundary conditions were accepted: the constant flow velocity with a temperature of 22 °C at the entrance to the channel and the atmospheric pressure at the outlet. On the surface of the investigated cylinder boundary conditions of the first kind –  $t = 0$  °C were set, on the other sides of the channel symmetric boundary conditions were set. The number of computation cells in the model was 11.5 million. As a result comparison with the experimental data, it was found that the best correspondence to them the SSG turbulence model that was used.*

*To test the model, calculations for flowing a smooth cylinder with Reynolds numbers  $Re_D = 2,921$  and  $Re_D = 21,912$  were made.*

*The error in determining of the average heat transfer coefficient in comparison with the data of Isachenko V.P. did not exceed 17.9%.*

*Behind the cylinder with a spiral groove, at each point of the passage of the groove through the intersection located perpendicular to the flow and that one passes through the axis of the cylinder a thin vortex “pin” is formed, on which “muff-like” vortices with diameters smaller than the cylinder diameter are slipping. The directions of rotation of the neighboring “muff-like” vortices are counter. The total width of the formed vortex wake does not exceed 1.1 diameters of the cylinder. The vortex wake is not continuous. The opposite direction of rotation of “muff-like” vortices and their chess location ensure the presence in a stern part of the cylinder with a groove higher velocities than in the case of the flowing a smooth cylinder.*

*Thus, the presence of a spiral groove on the outer surface of a cylinder allows in a certain range of dimensions of its step to control the structure of the flow (“to impose” the size of the vortices in the track behind the cylinder) and to affect the heat transfer in the most problematic part of the heat transfer surface.*

*With the use of cylinders with grooves in bundles, mutual influence (including the negative one) on the heat transfer of adjacent cylinders is possible at the uncontrolled arrangement of passageways of grooves through the cracks between the cylinders, especially at a small transverse step of the cylinders in a row. This may lead to additional requirements for mounting heat exchangers using cylinders with grooves.*

*Growth of heat transfer in the application of grooves on the surface of cylinders exceeds the increase in the area of heat transfer.*

*In general, the use of cylinders with grooves is a promising direction for the of heat transfer enhancement.*

**Key words:** fluid dynamics, heat transfer, cylinder, spiral grooves, computer simulation.



УДК 621.311.24  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/06>

**Чернюк А.М.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Кирисов І.Г.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Сук І.В.**

Київський енергетичний коледж

**Карлова О.М.**

Київський енергетичний коледж

**Білоус І.О.**

Київський енергетичний коледж

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

*У статті розглянуто технологічні схеми альтернативних джерел енергії. Збільшення частки генерації електроенергії альтернативними джерелами енергії в загальній структурі генерації в перспективі буде зростати, тому вплив альтернативних джерел енергії на роботу єдиної енергосистеми України буде збільшуватися. Інтеграції альтернативних джерел енергії в єдину енергетичну систему України перешкоджає низка проблем, а саме: графік видачі електроенергії альтернативними джерелами енергії нерівномірний і залежить від кліматичних і погодних умов; велика частина матеріально-технічної бази наявних потужностей єдиної енергетичної системи України з виробництва електроенергії зношена і неефективна; якість електроенергії, вироблюваної альтернативними джерелами енергії, не завжди відповідає нормативним вимогам. Нормативні документи встановлюють такі показники якості електричної енергії: усталене відхилення напруги, розмах зміни напруги, доза флікера, коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги, коефіцієнт n-ої гармонійної складової частини напруги, коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю, коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю, відхилення частоти, тривалість провалу напруги, імпульсна напруга, коефіцієнт тимчасової перенапруги. Ці показники мали бути тільки у визначених межах.*

*Проаналізовано технологічний процес виробництва електроенергії альтернативними джерелами енергії. Проаналізовано переваги та недоліки кожного виду станцій на альтернативних джерелах енергії. Проаналізовано проблеми, що виникають під час інтеграції альтернативних джерел енергії в єдину енергетичну систему України.*

**Ключові слова:** електрична енергія, альтернативні джерела енергії, електричні мережі, енергосистема, показники якості електроенергії.

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах велике значення приділяється енергетичній незалежності України. Саме тому нагальним питанням української енергетики є збільшення генерації електричної енергії за рахунок власних енергетичних ресурсів. Нині найбільш динамічно зростає сектор генерації електричної енергії на основі альтернативних джерел енергії (АДЕ) (сонячні електростанції, вітрові електростанції, біогазові, малі ГЕС та інші).

Встановлені потужності АДЕ в Україні мають тенденцію до щорічного зростання. Середньо-

річний темп зростання встановленої потужності АДЕ становить 31%. Нині встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики в Україні дорівнює 1117,7 МВт [7]. Сумарний потенціал встановлених потужностей в Україні оцінюється в 408,2 ГВт: вітрова енергетика – 321 ГВт (78%), сонячна енергетика – 71 ГВт (17%), малі ГЕС – 4 ГВт (1%), біомаса – 15 ГВт (4%).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До чинників, які сприятимуть розвитку АДЕ у всьому світі та в Україні зокрема, зараховуємо подальше здешевлення технологій та вартості електростанцій

на АДЕ. До 2025 р. експерти прогнозують суттєве здешевлення вартості встановлення електростанцій: витрати на встановлення сонячних електростанцій (СЕС) промислового масштабу знизяться за 10 років на 57%, а витрати на встановлення вітрових електростанцій (ВЕС) – на 13% [7]. Сумарна частка генерації АДЕ у структурі генерації електричної енергії нині становить близько 1,7% від сумарної генерації єдиною енергосистемою України (таблиці 1, 2; рис. 1).

Відповідно до енергетичної стратегії України до 2035 р. [1] частка генерації електроенергії АДЕ у структурі загальної генерації у 2035 р. становитиме 13%, тому проблема, пов'язана з інтеграцією цих джерел до єдиної енергосистеми, є надзвичайно актуальною (таблиця 3; рис. 2).

Однак інтеграції АДЕ до єдиної енергосистеми перешкоджає низка проблем:

1) графік видачі електроенергії АДЕ нерівномірний і залежить від кліматичних та погодних умов;

2) більша частина матеріально-технічної бази наявних потужностей із виробництва електроенергії в Україні є зношеною та неефективною. За даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України [8], 42,2% ЛЕП напругою 220–330 кВт

Таблиця 1

**Структура генерації електроенергії в Україні різними типами електростанцій**

Виробники електроенергії	Виробництво електроенергії, млн кВт·г						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
АЕС	90 138,20	83 209,00	88 389,30	87 627,50	80 950,10	85 576,10	84 398,2
ТЕС	78 908,40	78 297,80	68 469,50	49 386,30	49 902,30	44 960,00	47 791,5
ТЕЦ, КУ, блок-станції	17 594,20	16 594,40	14 690,90	12 251,80	13 107,20	12 412,20	12 519,8
ГЕС и ГАЕС	10 842,90	14 216,00	9 092,60	6 808,50	9 297,50	10 567,70	12 008,4
АД (ВЕС, СЕС, біомаса)	613,20	1 247,20	1 771,90	1 591,10	1 560,30	1 898,10	2 633
РАЗОМ	198096,90	193564,40	182414,20	157665,20	154817,40	155414,10	159350,9

Таблиця 2

**Структура генерації електроенергії в Україні у відсотках від загального виробництва різними типами електростанцій**

Виробники електроенергії	Частка від загального виробництва, %						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
АЕС	45,5	43	48,4	55,6	52,3	55,1	53
ТЕС	39,9	40,5	37,5	31,3	32,2	28,9	30
ТЕЦ, КУ, блок-станції	8,8	5,6	8,1	7,8	8,5	8	7,8
ГЕС и ГАЕС	5,5	7,3	5	4,3	6	6,8	7,5
Альтернативні джерела (ВЕС, СЕС, біомаса)	0,3	0,6	1	1	1	1,2	1,7
ЗАГАЛОМ	100	100	100	100	100	100	100

Таблиця 3

**Прогноз генерації електроенергії до 2035 р. згідно з Енергетичною стратегією України, затвердженою КМУ 18.08.2017 р.**

Виробники електроенергії	Виробництво електроенергії, млрд кВт·г				
	2015	2020	2025	2030	2035
АЕС	87,6	85	91	93	94
ТЕС, ТЕЦ	61,5	60	64	63	63
ГЕС	6,8	10	12	13	13
Альтернативні джерела (ВЕС, СЕС)	1,6	9	12	18	25
ЗАГАЛОМ	157,5	164	178	185	195



експлуатуються понад 40 років, а 64,4% основного устаткування трансформаторних підстанцій відпрацювали свій розрахунковий технічний ресурс. У розподільчих мережах значна кількість об'єктів також відпрацювала свій ресурс: 40,5% електричних мереж і 37,6% трансформаторних підстанцій потребують реконструкції або заміни;

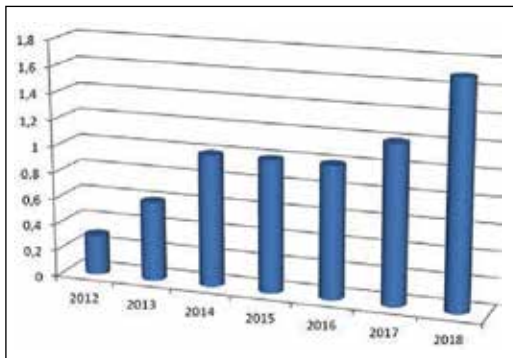


Рис. 1. Зростання частки виробництва електроенергії АДЕ за 2012–2018 р.

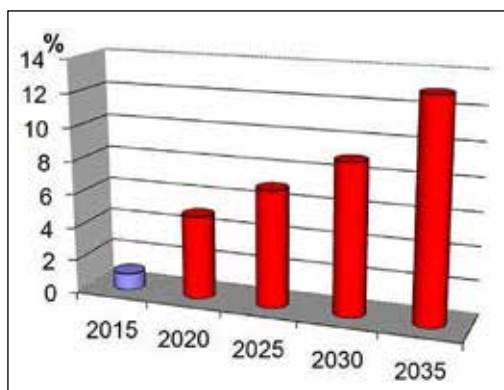


Рис. 2. Зростання частки виробництва електроенергії АДЕ (прогноз до 2035 р.).

3) якість електроенергії, яку виробляють АДЕ, не завжди відповідає нормативним вимогам. Ці вимоги нині зафіксовані в нормативних документах [2].

Стандарт встановлює такі показники якості електричної енергії:

- усталене відхилення напруги  $\delta U_v$ ;
- розмах зміни напруги  $\delta U_t$ ;
- доза флікера  $P_f$ ;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги  $K_U$ ;
- коефіцієнт n-ої гармонійного складника напруги  $K_{U(n)}$ ;
- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю  $K_{2U}$
- коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю  $K_{0U}$ ;
- відхилення частоти  $\Delta f$ ;
- тривалість провалу напруги  $\Delta t_n$ ;

– імпульсна напруга  $U_{\text{імп}}$ ;

– коефіцієнт тимчасової перенапруги  $K_{\text{пер } U}$ .

У стандарті [2] встановлюються норми за показниками якості електричної енергії, в разі дотримання яких забезпечується електромагнітна сумісність електричних мереж систем електропостачання загального призначення, в тому числі АДЕ.

**Постановка завдання.** На сучасному етапі АДЕ є новим класом генерувальних потужностей із певними особливостями роботи, вплив яких на єдину енергетичну систему України варто оцінити. Актуальність аналізу зумовлена збільшенням частки генерації електричної енергії АДЕ в загальній структурі виробництва електроенергії в Україні. Зі збільшенням цього показника вплив на мережу АДЕ буде зростати. Тому оцінка впливу АДЕ на показники якості електричної енергії мережі є актуальною науково-технічною проблемою. Метою статті є проведення попереднього аналізу процесів генерації електроенергії АДЕ, їхніх технологічних схем із метою виявлення суттєвих чинників, які можуть впливати на показники якості електричної енергії.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проаналізуємо технологічні схеми різних типів АДЕ.

#### Вітрова енергетика

Вітроенергетична установка (вітротурбіна) являє собою комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначений для перетворення енергії вітру на інші види енергії (електричну, механічну, теплову та ін.).

Вітроенергетична установка (ВЕУ) складається з таких функціональних частин:

- 1) первинний перетворювач;
- 2) електричний генератор первинний перетворювач та електричний генератор утворюють вітроагрегат;
- 3) опорно-поворотний пристрій;
- 4) система керування ВЕУ.

Загальний вигляд конструктивного компонування ВЕУ з горизонтальною віссю обертання вітроколеса показаний на рис. 3.

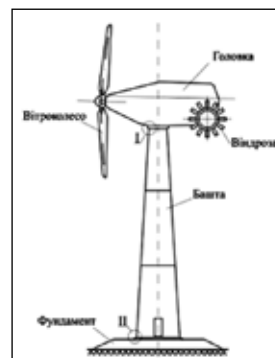


Рис. 3. Конструктивна схема вітроенергетичного агрегату з горизонтальною віссю обертання

Основні функціональні елементи вітрових електроустановок представлені на рис. 4.

Суттєвим недоліком у роботі ВЕУ є їхня нестабільна частота обертання, яка залежить від зміни швидкості вітру. Це питання нині розв'язуються або шляхом системи управління кутом атаки лопатей вітроколеса рис. 5, або шляхом випрямлення та подальшого інвертування отриманої синусоїди. Також є спосіб регулювати частоту обертання шляхом використання автобаласних резисторів.

Структурна схема керування частотою обертання вітроколеса вітроенергетичної установки представлена на рис. 5.

Одна або кілька груп ВЕУ утворюють вітрову електричну станцію (ВЕС), до складу якої входять:

- 1) вітротурбіна;
- 2) система керування ВЕС;
- 3) метеовишка;
- 4) трансформаторні підстанції (ТП);
- 5) підстанція.

Функціональна схема ВЕС на базі типової вітротурбіни великої потужності представлена на рис. 6.

Система керування ВЕС здійснює керування, контроль та облік роботи ВЕС загалом і кожної ВЕУ окремо. Метеовишка призначена для визначення швидкості й напрямку вітру та видачі цієї інформації в систему керування ВЕС. Трансформаторна підстанція обслуговує кілька ВЕУ і забезпечує підвищення напруги від генераторів ВЕУ до величини лінії електропередачі на підстанцію. Підстанція ВЕС призначена для розподілу і передачі енергії від ВЕС в електромережу енергосистеми [3].

Великомасштабне отримання електричної енергії шляхом використання енергії вітру має

здійснюватися у вигляді змінної напруги постійної частоти для можливості подачі електроенергії, що виробляється в мережі наявних енергосистем. Можливі технологічні схеми ефективного отримання електричної енергії завдяки енергії вітру при паралельній роботі ВЕУ з енергосистемою представлені на рис. 7.

Зусилля зі створення ВЕУ великої потужності значною мірою пов'язані з використанням вітродвигуна з постійною частотою обертання, сполученого з синхронним генератором. Під час використання асинхронного генератора забезпечується обертання вітродвигуна з частотою, близькою до постійної.

Останнім часом привертає увагу інший підхід узгодження роботи ВЕУ з енергосистемою, який полягає в тому, щоб дати змогу вітродвигуну обертатися зі змінною оптимальною частотою, регульованою відповідно до зміни швидкості вітру, із застосуванням спеціальних систем генерації, що забезпечують отримання змінної напруги постійної частоти, яка відповідає частоті напруги енергосистеми.

Є багато схем підключення ВЕУ до енергосистеми, основні відмінності яких полягають у конструкції і типі генераторів, а також наявності і типі перетворювальних пристроїв. На рис. 8 показано схеми прямого підключення до енергосистеми ВЕУ із синхронним генератором (рис. 8, а) і асинхронним рис. 8, б генератором із короткозамкненим ротором, підключені до вітродвигуна через мультиплікатор (редуктор)  $n$ . Для реалізації таких схем паралельної роботи ВЕУ з мережею енергосистеми необхідною умовою є постійне підтримання синхронної швидкості обертання ротора СГ і надсинхронної швидкості – для АГ [3].

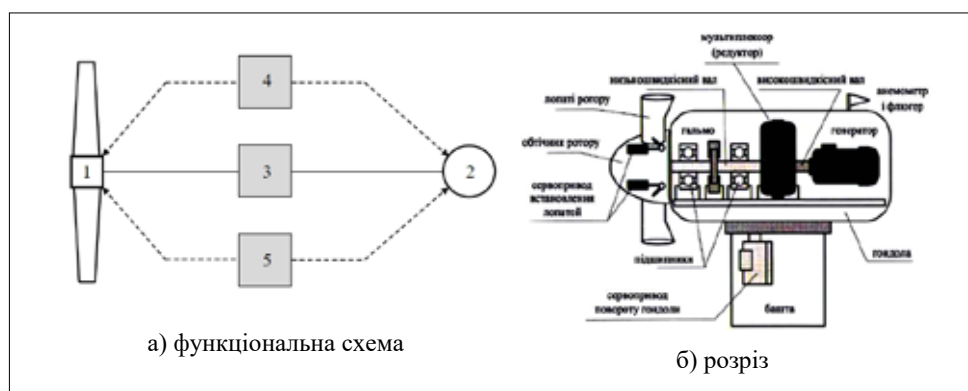


Рис. 4. Основні елементи ВЕУ: 1 – вітровий двигун, 2 – електрогенератор, 3 – механічна передача, 4 – пристрої автоматичного регулювання і керування, 5 – допоміжні пристрої

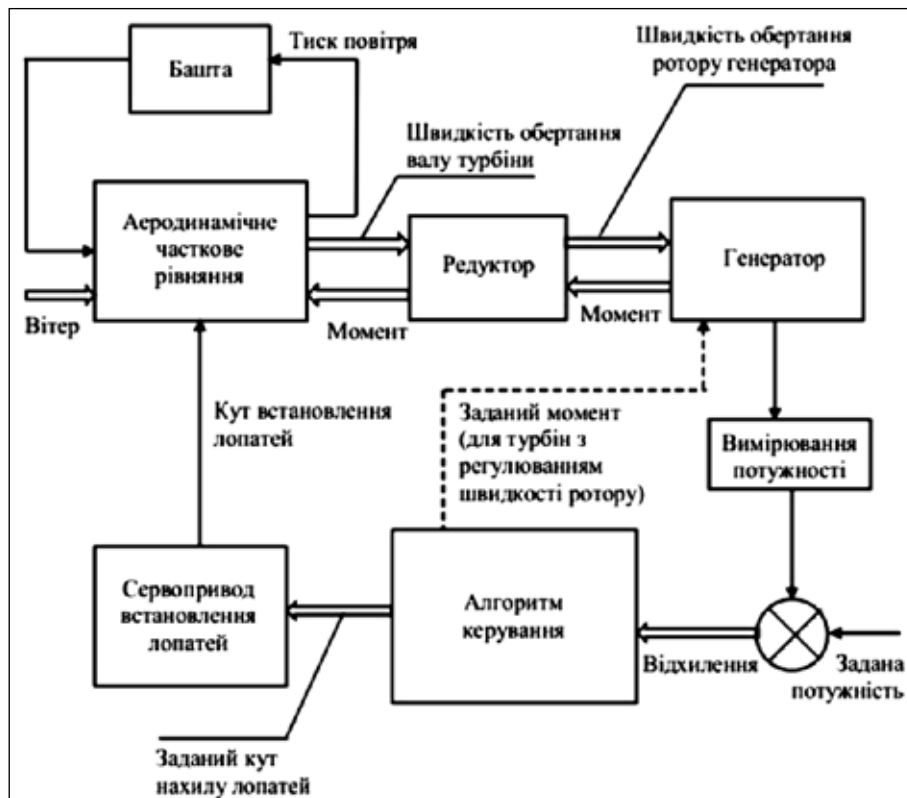


Рис. 5. Загальна структурна схема управління частотою обертання вітроколеса ВЕУ

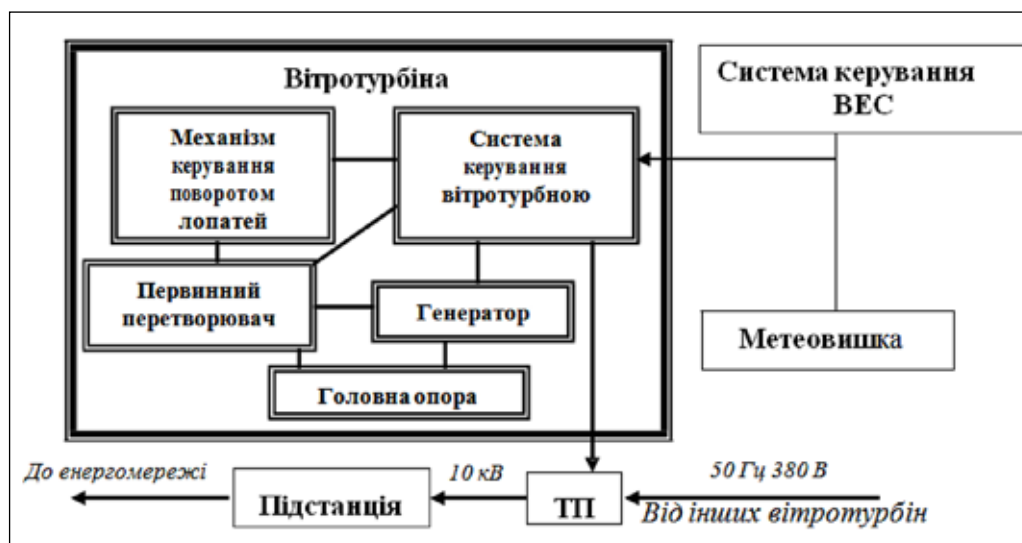


Рис. 6. Функціональна схема ВЕС

На рис. 9, а зображена схема підключення на паралельну роботу з енергосистемою ВЕУ з синхронним генератором. У цій схемі на виході генератора частота струму змінюється в широкому діапазоні відповідно до зміни швидкості вітродвигуна. Далі змінний струм за допомогою випрямляча перетворюється на постійний і двофазним кабелем подається на інвертор, що знаходиться

внизу в башті ВЕУ, де й перетворюється на змінний струм частотою 50 Гц. Тип інвертора, який використовується, ведений мережею. При цьому частота на виході інвертора задається фактично наявною в кожному мить частотою мережі. За допомогою інвертора можна міняти кут між струмом і напругою. Якщо струм відстає від напруги, то генератор споживає реактивну потужність, а якщо

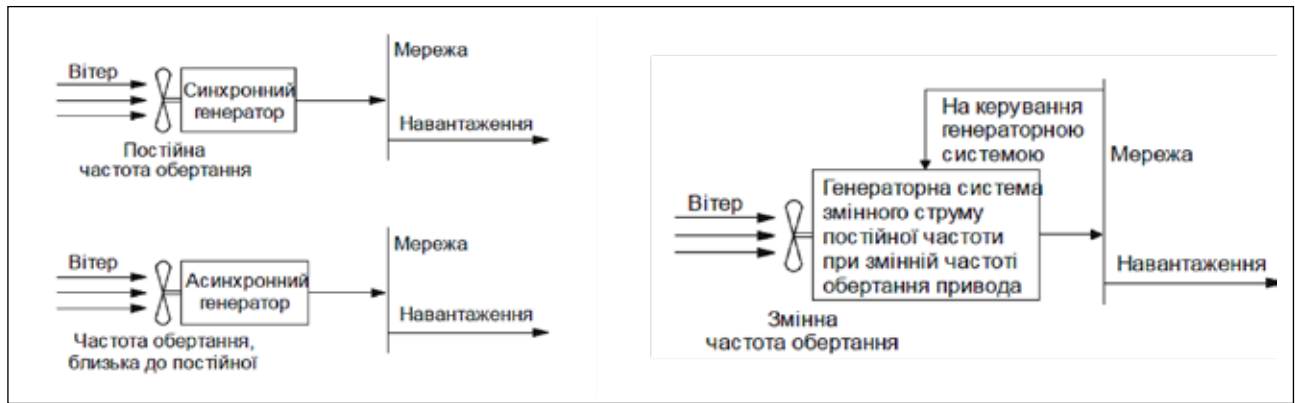


Рис. 7. Структурні схеми систем генерування і використання електроенергії при підключенні ВЕУ до мережі

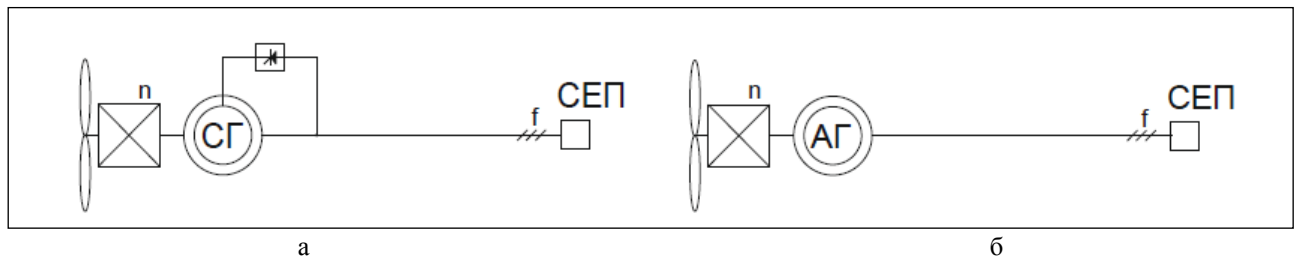


Рис. 8. Безпосереднє підключення ВЕУ із синхронним (а) та асинхронним (б) генератором

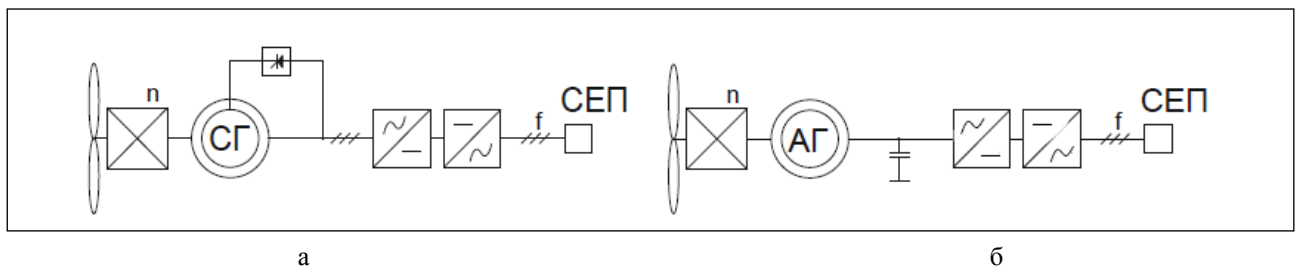


Рис. 9. Підключення ВЕУ до мережі через випрямляч та інвертор із синхронним (а) та асинхронним (б) генератором

струм випереджає напругу, то генератор виробляє поряд з активною й реактивну потужність. Таким чином, вітроустановка може брати участь у регулюванні напруги мережі в точці приєднання ВЕУ до енергосистеми.

На рис. 9, б зображена схема підключення на паралельну роботу з енергосистемою ВЕУ з асинхронним генератором із коротко замкненим ротором. Швидкість вітроподвигуна і частота струму на виході асинхронного генератора також змінюються в широкому діапазоні, а подальше перетворення і видача виробленої ВЕУ електроенергії в енергосистему здійснюється так само, як у схемі рис. 9 а. Оскільки синхронний генератор для намагнічування ротора має споживати реактивну потужність і за рахунок послідовно включених випрямляча та інвертора, не може отримати її з мережі, у схему на вихід генератора включена конденсаторна батарея як джерело реактивної потужності [3].

### Сонячна енергетика

Пряме перетворення сонячної енергії на електроенергію за допомогою сонячних батарей є нині одним із найбільш динамічних напрямів розвитку відновлюваної енергетики. У цьому розвитку істотно сприяє отриманий позитивний досвід практичного застосування сонячних батарей і постійне вдосконалення технологій виготовлення сонячних елементів, пов'язаних із підвищенням їх ККД і зниженням собівартості.

Потужність сонячних батарей, які нині випускаються промисловістю, становить 50–250 Вт. На сонячних електростанціях (СЕС) сонячні батареї з'єднуються у фотоелектричні генератори, які працюють паралельно з мережею, використовуються для промислового вироблення електроенергії. На рис. 10 представлена структурна схема СЕС, яка працює паралельно з мережею.

У СЕС, що працюють паралельно з мережею задля перетворення постійного струму, який виробляється сонячною батареєю, у змінний струм синусоїдальної форми необхідний інвертор. Основними технічними характеристиками інвертора є величина напруги на вході і виході, вихідна частота і потужність. Якісний інвертор має забезпечувати високий ККД і стабілізацію вихідної напруги, низький коефіцієнт гармонік і здатність витримувати можливі перевантаження.

На рис. 11 представлена схема підключення інвертора Fronius до шин низької напруги трансформатора ТМ-1000 сонячної електростанції [4].

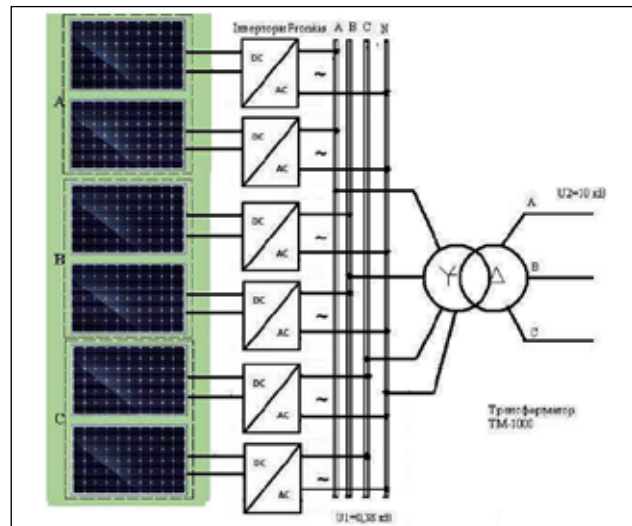


Рис. 11. Принципова схема підключення інвертора Fronius СЕС до шин низької напруги трансформатора ТМ-1000

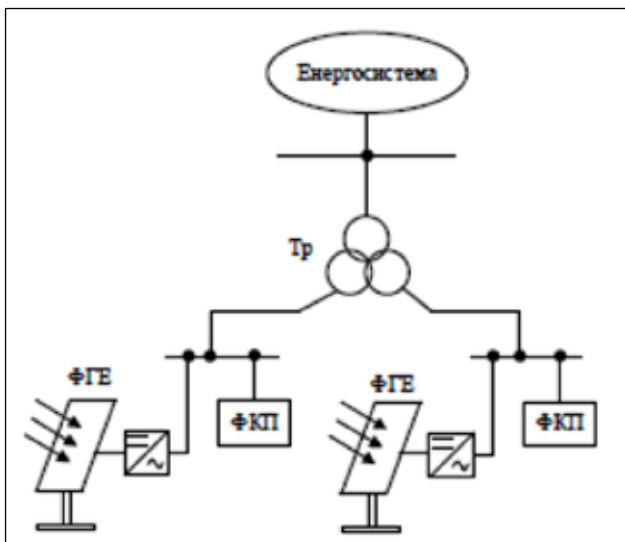


Рис. 10. Структурна схема СЕС

Перевагами СЕС є: безшумність, невичерпність джерела енергії, відсутність деталей, що обертаються, простота та швидкість встановлення, обслуговування, заміни, розширення (збільшення сонячних батарей), простота догляду, строк експлуатації станції 20–30 років.

Недоліками СЕС є: велика вартість сонячних батарей, відчуження великих земельних ділянок, які можуть використовуватися у сільському господарстві, присутність ланки випрямляч-інвертор призводить до спотворення форми синусоїди, робота СЕС без акумуляторних батарей безпосередньо на мережу може створювати небаланс виробленої та спожитої енергії та відхилення напруги.

### Біогаз

Біогаз складається з метану (55–85%) та має теплоту згоряння 5340–6230 ккал/кг (6,21–7,24 кВт·год/кг) та може використовуватися: як

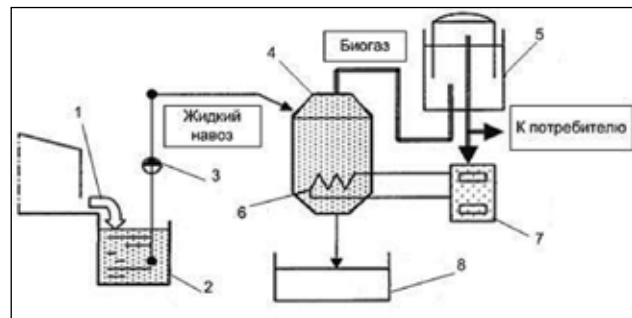


Рис. 12. Схема біогазової установки: 1 – ферма; 2 – резервуар для зберігання гною; 3 – насос; 4 – метантанк; 5 – газгольдер; 6 – теплообмінник; 7 – котел; 8 – сховище добрива

паливо для газогенераторів та газотурбін, для вироблення у подальшому електроенергії чи тепла.

Нині переробка біомаси у паливо здійснюється за трьома напрямками:

1) біоковерсія – розкладення органічних речовин рослинного та тваринного походження без доступу повітря окремими видами бактерій (у спеціальних баках) з утворенням біогазу. При переробці 1 т гною великої рогатої худоби і свиней (з вологістю 85%) можна отримати від 45 до 60 м<sup>3</sup> біогазу, з 1 т курячого посліду (з вологістю 75%) можна отримати до 100 м<sup>3</sup> біогазу. За теплою згоряння 1 м<sup>3</sup> біогазу еквівалентний: 0,8 м<sup>3</sup> природного газу, 0,7 кг мазуту або 1,5 кг дров;

2) термохімічна конверсія (деревини, торфу та вугілля) – нагрівання у камері з контрольованою подачею повітря. При цьому утворюються азот (50–54%), оксид вуглецю (20–22%), водень



(12–15%), двоокис вуглецю (9–12%), метан. Паливо на газ перетворюється у результаті хімічних процесів висушування, піролізу, спалювання (окислення), відновлення;

3) спалювання відходів (макуха, щепи та інше) в котлах спеціальної конструкції [5].

На рис. 12 показана технологічна схема отримання біогазу з відходів тваринництва.

У процесі переробки усіх відходів рослинного та тваринного походження сільськогосподарства України можна отримати біля 3,5 млрд м<sup>3</sup> метану.

### Малі ГЕС

Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлювальних джерел електроенергії, дає змогу використати значний гідроенергетичний потенціал малих річок і приток систем водопостачання, іригації з видачею електроенергії в енергосистему, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в недостатньо розвинених країнах і в країнах, що розвиваються, з обмеженою системою централізованого електропостачання.

До об'єктів малої гідроенергетики належать малі ГЕС потужністю до 30 МВт, міні-ГЕС – від 0,1 до 1,0 МВт, мікро-ГЕС – не більше 0,1 МВт.

До переваг малих ГЕС належать порівняно невеликий об'єм інвестицій і короткий термін будівництва, що дає змогу прискорити отримання прибутку, забезпечити мінімальну дію на довкілля, надійність і близькість до споживача.

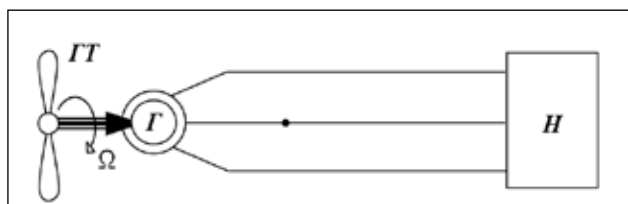


Рис. 13. Структурна схема малої ГЕС: ГТ – гідротурбіна, Г – генератор, Н – навантаження

### Геотермальна енергетика

Геотермальна енергія – енергія тепла, що виділяється із внутрішніх зон Землі. Головними перевагами геотермальної енергії є її практична невичерпність і повна незалежність від умов навколишнього середовища, часу доби і року.

Електростанції, на яких виробляється перетворення теплової енергії термальних вод на електроенергію, отримали назву геотермальних теплових електростанцій (ГеоТЕС).

Геотермальні родовища поділяються на чотири основних типи:

- родовища сухої пари,
- родовища вологої пари;
- родовища гарячої води;
- родовища нагрітих сухих порід.

Україна має значні ресурси геотермальної енергії, потенційні запаси якої оцінюються у 10<sup>22</sup> Дж. Потенційна потужність ГеоТЕС в Україні з урахуванням видобутку запасів та ККД перетворення енергії становить 230 ГВт. Пріоритетними районами, де доцільно будувати ГеоТЕС, є Прикарпаття, окремі райони Харківської, Полтавської та Донецької областей [5].

Розрізняють дві основні технологічні схеми ГеоТЕС: прямим використанням енергії пари та непрямим використанням пари.

Основними недоліками ГеоТЕС є теплове, сольове, газове забруднення навколишнього середовища.

**Висновки.** Збільшення частки генерації електроенергії АДЕ у структурі генерації України в перспективі буде зростати, а отже, вплив цих джерел живлення на роботу єдиної енергосистеми буде лише збільшуватися.

Значний вплив на сукупну генерацію електроенергії АДЕ зумовлює актуальну науково-технічну проблему інтеграції АДЕ до єдиної енергосистеми та суміщення графіків генерації і споживання.

Особливості процесу генерації електроенергії АДЕ, які проаналізовані у статті, безпосередньо зумовлюють їх вплив на баланс та показники якості електроенергії.

### Список літератури:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>
2. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость техническая электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт.
3. Нойбергер Н., Ципленков Д., Півняк Г., Шкрабець Ф., Основи вітроенергетики : підручник. Дніпропетровськ : НГУ. 2015. С. 275–290.
4. Бацала Я.В., Гладь І.В., Николин У.М., Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2013. № 4(49). С. 81–90.
5. Обухов С.Г. Системы генерирования электрической энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов : Учебное пособие. Томск. 2008. С. 130–132.

6. Зысин Л.В., Сергеев В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Часть 1. Возобновляемые источники энергии : Учеб. пособие. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. С. 160–169.

7. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. Звіт 2017.

8. Сайт інституту відновлювальної енергетики. URL: <http://www.ive.org.ua/>

**Chernyuk A.M., Kirisov I.G., Suk I.V., Karlova E.N., Belous I.A. ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL SCHEMES OF ELECTRIC ENERGY GENERATION BY ALTERNATIVE ENERGY SOURCES**

*The article discusses the technological schemes of alternative energy sources. The increase in the share of electricity generation by alternative energy sources in the overall structure of generation will increase in the future, therefore, the influence of alternative energy sources on the operation of the unified energy system of Ukraine will increase. The integration of alternative energy sources into a single energy system of Ukraine is hampered by a number of problems, namely: the schedule for the delivery of electricity by alternative energy sources is uneven and depends on climatic and weather conditions; most of the material and technical base of the existing capacity of the unified energy system of Ukraine for the production of electricity is worn out and inefficient; The quality of electricity generated by alternative energy sources does not always meet regulatory requirements. Regulatory documents establish the following indicators of the quality of electrical energy: steady-state voltage deviation, voltage swing, flicker dose, voltage curve sinusoidal distortion factor, voltage n-th harmonic component, reverse sequence voltage unbalance factor, zero-sequence voltage unbalance factor, frequency deviation, duration of voltage dip, pulse voltage, coefficient of temporary overvoltage of life. These indicators should be within strictly defined limits.*

*Analyzed the technological process of electricity production by alternative energy sources. The advantages and disadvantages of each type of station on alternative energy sources are analyzed. The problems arising from the integration of alternative energy sources into a single energy system of Ukraine are analyzed.*

**Key words:** *electrical energy, alternative energy sources, electrical networks, power system, power quality indicators.*

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.691

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/07>

**Садовенко І.О.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Інкін О.В.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Дерев'ягіна Н.І.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Хрипливець Ю.В.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

## МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ СХОВИЩ ГАЗУ У ВОДОНОСНИХ ШАРУВАТИХ ПЛАСТАХ

У статті оцінюються газогідродинамічні показники експлуатації підземних сховищ газу у водоносних горизонтах у південно-східній частині України. Більшість методик, пов'язаних із розрахунком параметрів роботи підземних сховищ газу, ґрунтується на припущенні однорідності і анізотропності пласта-колектора, однак реальній структурі гірських порід більше відповідає модель неоднорідного пласта, в якому всі компоненти тензора проникності довільні або мають певний вид симетрії. При цьому однією з найпоширеніших моделей анізотропії гірських порід є модель шаруватого пласта, що пояснюється геологічними умовами осадоутворення, які призводять до нашарування пластів із різними колекторськими властивостями. У практиці підземного зберігання газу розгляд такої моделі має особливе значення, адже внаслідок зміни положення газової зони просування границі газоводяного контакту по пропластках із різними фільтраційними характеристиками може значним чином відрізнятися. Тому в роботі розроблена та апробована математична модель сховища газу в водоносному шаруватому пласті із слабопроникним пропластком у разі плоскопаралельної і вісесиметричної фільтрації. Застосовано комплексний підхід, що включає збір, систематизацію та аналіз фактичних даних про фільтраційні та фізико-механічні властивості вміщуючих порід, що впливають на формування природно-техногенних родовищ, а також аналітичні та чисельні методи рішення рівнянь просування газоводяного контакту в різних умовах. Запропонована газогідродинамічна модель підземного сховища газу, створеного в неоднорідному водоносному горизонті, дає змогу розраховувати його циклічну роботу у тришаровому пласті з урахуванням перетоків через слабопроникну перемичку. Отриманий у роботі новий спосіб лінеаризації системи диференціальних рівнянь для визначення тисків у пласті-колекторі є узагальненням використовуваних раніше способів із введенням «граничних схем». Результати проведених розрахунків справляють істотний вплив характеристик шаруватого пористого середовища на просування газоводяного контакту по окремих шарах. Отримані результати можуть бути використані під час проведення оціночних розрахунків на стадії проектування сховищ газу у водоносних пластах.

**Ключові слова:** водоносний пласт, сховище газу, фільтрація, газоводяний контакт, неоднорідність.

**Постановка проблеми.** Актуальність створення нових підземних сховищ газу у водоносних горизонтах південно-східної частини України була детально обґрунтована нами раніше в роботах [1, с. 77–84; 2, с. 22–27; 3, с. 18–24], тому в цій статті зупинимося на оцінці газогідродинамічних показників їх експлуатації в цих умовах.

Необхідно зазначити, що виконання такої оцінки з урахуванням реальної структури водоносних пластів потрібно проводити вже на ранній стадії проектування газосховищ, коли виконується великий обсяг обчислювальних робіт, пов'язаних із техніко-економічним обґрунтуванням проекту. У зв'язку з цим розрахункові методики, які вико-



ристовуються для розрахунку газогідродинамічних показників сховищ газу, мають відповідати певним вимогам: враховувати основні особливості об'єкта; мати достатню простоту в реалізації та необхідну точність, бути апробованими й універсальними.

Нині більшість методик, пов'язаних із розрахунком параметрів роботи підземних сховищ газу, ґрунтуються на припущенні однорідності і анізотропності пласта-колектора. Такий підхід значно спрощує рішення поставлених завдань і в багатьох випадках дає змогу доволі точно моделювати процес багатофазної фільтрації в пористому середовищі [4, с. 358–365; 5, с. 40–45; 6, с. 220–226]. Однак реальній структурі гірських порід більше відповідає модель неоднорідного пласта (середовища, в якому всі компоненти тензора проникності довільні або мають певний вид симетрії). При цьому однією з найпоширеніших моделей анізотропії гірських порід є модель шаруватого пласта, що пояснюється геологічними умовами осадоутворення, які призводять до нашарування пластів із різними колекторськими властивостями. У практиці підземного зберігання газу розгляд такої моделі має особливе значення, адже внаслідок зміни положення газової зони просування границі газоводяного контакту по пропластках із різними фільтраційними характеристиками може суттєво відрізнятись. Своєю чергою, неврахування цієї нерівномірності по потужності пласта приведе до значних втрат газу в результаті його витоків за межі сховища, а також нераціонального використання порового простору і зниження активного об'єму газу.

**Постановка завдання.** У зв'язку з цим метою цієї роботи є розробка та апробація математичної моделі сховища газу у водоносному шаруватому пласті із слабопроникним пропластком для випадку плоскопаралельної і вісесиметричної фільтрації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Плоскопаралельна фільтрація.** Розглянемо тришаровий горизонтальний пласт, що складається із двох добре проникних шарів та одного щільного шару, який їх розділяє (рис. 1). Покрівля і підшва пласта непроникні, пласт обмежений, на контурі його живлення ( $x = L$ ) заданий постійний у часі тиск  $P_k$ . Параметри добре проникних шарів  $k_1, n_1, m_1$  та  $k_2, n_2, m_2$  – відповідно, проникність, пористість і потужність, і параметри перемички  $k_0, n_0, m_0$  також вважаються заданими.

У початковий момент часу ( $t = 0$ ) через галерею, розташовану на лінії ( $x = 0$ ), у пласт, який

повністю зайнятий водою, закачується ідеальний газ. Прийемо, що проникність верхнього шару вища за проникність нижнього ( $k_2 > k_1$ ), проникність перемички  $k_0 \ll k_1$ . Витіснення передбачається поршневим, тиск у всій газовій області для кожного моменту часу – постійним і таким, що дорівнює тиску на галереї  $\bar{P}(t)$ . Область фільтрації умовно розділимо на кілька зон. Зона  $D_{i,1}$  ( $0 \leq x \leq l_1$ ), зона  $D_{i,2}$  ( $l_1 \leq x \leq l_2$ ) та зона  $D_{i,3}$  ( $l_2 \leq x \leq L$ ), індекс  $i$  вказує номер пропластку ( $i = 0, 1, 2$ ). Зони  $D_{1,1}, D_{1,2}$  та  $D_{2,2}, D_{2,3}$  відокремлені одна від одної рухомими межами розділу  $\Gamma_1$  та  $\Gamma_2$ , які в межах добре проникних шарів вважаються вертикальними. Рівняння границі розділу у слабопроникній перемичці запишемо у вигляді:

$$y_0 = m_1 + y(x, t), \quad (1)$$

Тиск у кожній із зон  $D_{i,j}$  будемо позначати  $P_{i,j}(x, y, t)$  ( $i = 1, j = 2, 3; i = 2, j = 3$ ). Завдання полягає у знаходженні розподілу тиску  $P_{i,j}(x, y, t)$ , а також закону руху границь  $\Gamma_1, \Gamma_2$  та  $\Gamma_0$ . Рідина передбачається нестискуваною, а тиск у водяній області задовольняє рівнянню Лапласа.

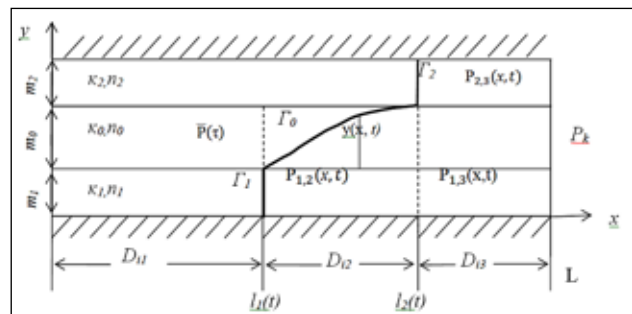


Рис. 1. Модель тришарового пласта

Використовуючи умову  $k_0 \ll k_1$ , горизонтальну складову частину швидкості фільтрації в перемичці можна не враховувати згідно зі схемою Мятієва-Грінського [7, с. 153–169; 8, с. 236–252]. Застосовуючи метод усереднення по потужності пласта і задовольняючи умовам нерозривності потоку на поверхнях контактів шарів із різними значеннями проникності, а також використовуючи умови непроникності покрівлі і підшви, отримаємо диференціальні рівняння для визначення усереднених тисків  $P_{i,j}$  у відповідних зонах  $D_{i,j}$ :

$$\frac{\partial^2 P_{1,2}}{\partial \xi^2} - \bar{\lambda}^2 (P_{1,2} - \bar{P}(\tau)) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial P_{1,3}}{\partial \xi} - \lambda_i^2 (-1)^{i+1} (P_{1,3} - P_{2,3}) = 0, \quad (3)$$

$$\bar{\lambda}^2 = \frac{k_0 L^2}{m_1 (3k_1 y(\xi, \tau) + k_0 m_1)}, \quad (4)$$

$$\lambda_i^2 = \frac{3k_0 k_1 k_2 L^2}{m_i k_i (3m_0 k_1 k_2 + m_i k_0 k_2 + m_2 k_0 k_1)}, \quad (5)$$

$$\xi = \frac{x}{L}; r_i = \frac{l_i}{L}; P_{i,j} = \frac{P_{i,j}}{P_{am}}; \tau = \frac{t}{T}; h_i = \frac{m_i}{m_0}; \bar{P} = \frac{\bar{P}}{P_{am}};$$

де  $P_{am}$  – тмосферний тиск,  $T$  – характерний час процесу (період роботи газосховища).

Граничні умови мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} P_{1,2} &= P_{1,3}; \frac{\partial P_{1,2}}{\partial \xi} = \frac{\partial P_{1,3}}{\partial \xi}, \\ P_{2,3} &= \bar{P}(\tau) \text{ при } \xi = r_2(\tau), \\ P_{1,2} &= \bar{P}(\tau) \text{ при } \xi = r_1(\tau); \\ P_{1,2} &= P_{1,3} = P_k \text{ при } \xi = 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Крім того, на рухливих межах  $r_1(\tau)$  та  $r_2(\tau)$  маємо такі кінематичні співвідношення:

$$\frac{\partial r_i(\tau)}{\partial \tau} = -\frac{\alpha_i \partial P_{i,j}}{\partial \xi} \Big|_{\xi=r_i(\tau)}^{(i=1, j=2; i=2, j=3)}, \alpha_i = \frac{k_i T P_{am}}{\sigma \mu n_i L^2}, \quad (7)$$

де  $\mu$  – в'язкість води,  $\sigma$  – газонасиченість на фронті витіснення.

Додатково для контролю рішення будемо використовувати рівняння матеріального балансу

$$\begin{aligned} P(\tau) \sigma (n_1 h_1 r_1 + (n_2 h_2 + n_1 h_1) r_2 - n_0) \int_{r_1} y(\xi, \tau) d\xi = \\ = \frac{T}{L P_{am} m_0} (V_0 + \int_0^\tau G(\tau) d\tau), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $V_0$  – початковий об'єм газу у пласті,  $G(\tau)$  – витрата газу у пласті.

З огляду на невідомість положення межі в перемичці у  $(\xi, \tau)$  завдання (2) – (8) не може бути вирішене в аналітичному вигляді. Для чисельного рішення поставленого завдання скористаємося підходом, заснованим на введенні «граничних» схем [9; 10]. Відповідно до першої «граничної» схеми передбачається, що в зоні D2 слабопроникна перемичка повністю заповнена рідиною, таким чином

$$y(\xi, \tau) \equiv m_0, \quad r_1 \leq \xi \leq r_2.$$

В іншому випадку (друга «гранична» схема) передбачається, що перемичка в зоні  $D_2$  заповнена газом

$$y(\xi, \tau) \equiv 0, r_1 \leq \xi \leq r_2.$$

Дійсне рішення при цьому може бути оцінено знизу і зверху, що дає змогу визначити межі, в яких закладено точне рішення.

Такий підхід рівносильний лінеаризації задачі (2) – (8), причому в цьому разі система (2) – (3) з граничними умовами (6) має аналітичне рішення. Підставивши знайдене рішення для тиску в рівняння (7), отримаємо систему диференціальних рівнянь руху меж розділу в добре проникних шарах:

$$\begin{cases} \frac{\partial r_1}{\partial \tau} = \alpha_1 \frac{\lambda_N sh(\lambda(1-r_2))(\bar{P}(\tau) - P_k)}{sh(\lambda_1(r_2-r_1))F(r_1, r_2)} \\ \frac{\partial r_2}{\partial \tau} = \alpha_2 \frac{(\lambda_N cth(\lambda_N(r_2-r_1)) sh(\lambda(1-r_2)) + \lambda ch(\lambda(1-r_2)))}{F(r_1, r_2)} \end{cases}, \quad (9)$$

де

$$F(r_1, r_2) = \beta sh(\lambda(1-r_2)) + \lambda(1-\beta)(1-r_1) ch(\lambda(1-r_2)) + \lambda_N(1-r_2) cth(\lambda_N(r_2-r_1)) sh(\lambda(1-r_2)),$$

$$\lambda = \sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}; \beta = \frac{k_1 m_1}{k_1 m_1 + k_2 m_2}; \lambda_N^2 = \frac{3k_0 L^2}{m_1(3k_1 y_N + k_0 m_1)}.$$

$sh, ch, cth$  – відповідно, гіперболічний синус, косинус та котангенс.

Система (9) інтегрується чисельно з початковими умовами

$$r_1(0) = r_2(0) = 0, V(0) = 0, \quad (10)$$

Коефіцієнти  $\lambda_N$  обчислюються відповідно до прийнятих припущень для двох «граничних» схем:

$N = I$  – перша «гранична» схема

$$y(\xi, \tau) = y_I = m_0; \lambda_I = \frac{3k_0 L^2}{m_1(3k_1 m_0 + k_0 m_1)}, \quad (11)$$

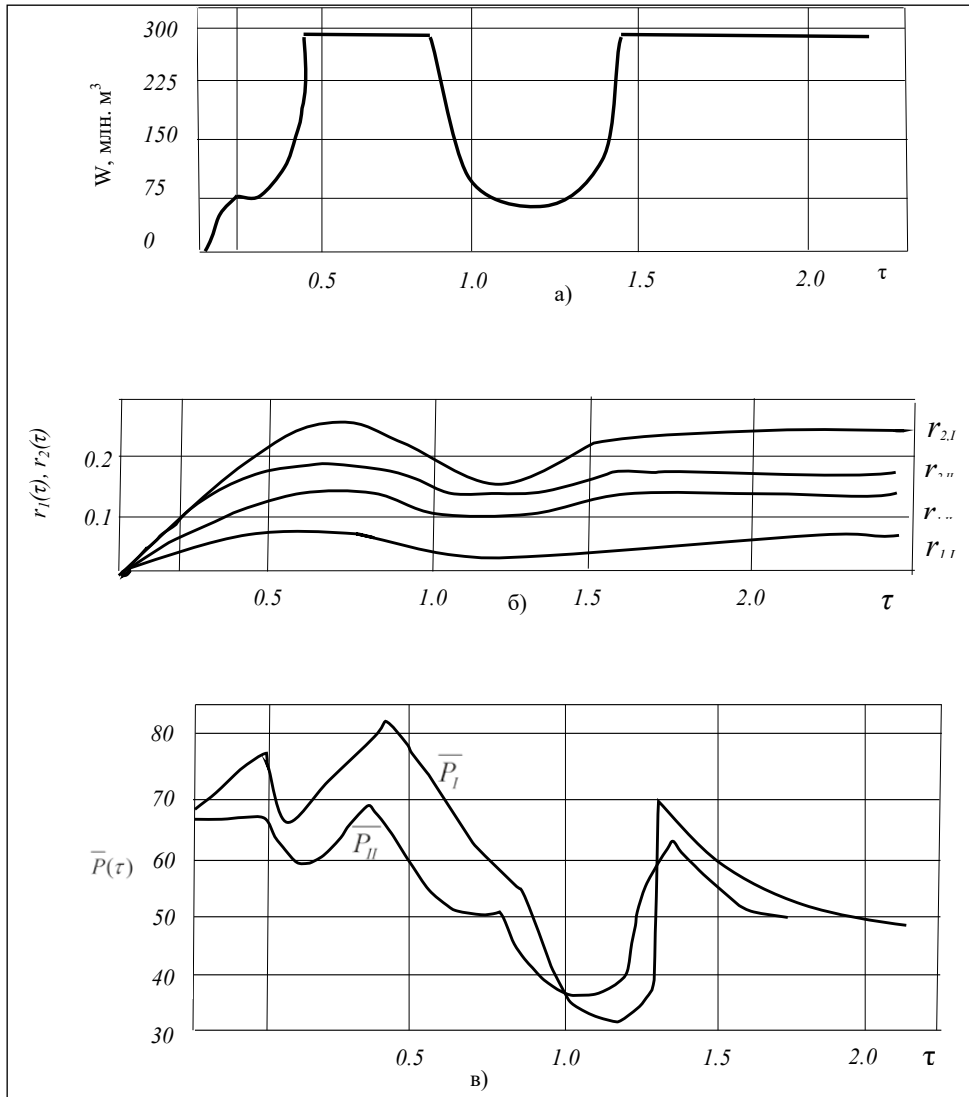
$N = II$  – друга гранична схема

$$y(\xi, \tau) = y_{II} = 0; \lambda_{II} = \frac{3L^2}{m_1^2}$$

Рішення рівнянь (1) – (11) було проведено шляхом чисельного інтегрування у програмному середовищі Mathcad для таких геологічних умов:  $m_1 = m_2 = 30 \text{ м}; m_0 = 10 \text{ м}; k_1 = 0,5 \cdot 10^{-12} \text{ М}^2; k_2 = 2 \cdot 10^{-12} \text{ М}^2; k_0 = 5 \cdot 10^{-18} \text{ М}^2; n_1 = n_2 = 0,2; \bar{\sigma} = 0,3; P_k = 5 \text{ МПа}; L = 10^4 \text{ м}; T = 3,15 \cdot 10^7 \text{ с}$ . На основі виконаних розрахунків на рис. 2 подана залежність зміни в часі об'єму закачаного в пласт і призведеного до нормальних умов газу. Зміни тиску і положення фронтів витіснення для різних моментів часу дані для двох «граничних» схем  $N = I (r_{1,I}, r_{2,I}, \bar{P}_I(\tau))$  та  $N = II (r_{1,II}, r_{2,II}, \bar{P}_{II}(\tau))$ . Як видно з наведених графіків, при заданому відношенні проникностей  $k_2/k_1 = 4$  спостерігається значна відмінність між I та II «граничними» схемами. Причому, як показали розрахунки, така різниця якоюсь мірою також залежить від співвідношень величин  $m_0, m_1$  та  $m_2$ . Однак як оціночні розрахунки застосування «граничних» схем може бути цілком виправданим.

Слід також зазначити, що якщо перемичка в області  $D_2$  зайнята водою (перша «гранична» схема), положення фронтів  $r_1(\tau)$  і  $r_2(\tau)$  різняться в 2–3 рази, це говорить про необхідність врахування шаруватості неоднорідності пласта і суттєвий вплив цього фактора на роботу сховища газу. Необхідно зазначити, що розрахована часова зміна об'єму газу, який надходить у пласт, характерна для циклічної роботи водоносного газосховища.

**Вісесиметрична фільтрація.** Розглянемо рішення задачі про рух газоводяного контакту в шаруватому пласті, який має радіальну симетрію. Введемо такі позначення:  $L$  – радіус контуру жив-



**Рис. 2. Результати розрахунків за I та II граничної схеми для випадку лінійного пласта-колектора: а – в – відповідно, зміна у часі об'єму газу, положення фронту витіснення та тиску у пласт**

лення пласта;  $R_1(t)$  та  $R_2(t)$  – радіус фронту газодляного контакту в першому і другому шарі.

Рівняння нерозривності має вигляд

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left( R \frac{\partial P_{i,j}}{\partial R} \right) + \frac{\partial^2 P_{i,j}}{\partial Z^2} = 0, \quad (12)$$

Сенс індексів  $i$  та  $j$  той самий, що і для випадку плоскопаралельного руху. Використовуючи метод усереднення і припущення при вертикальному характері фільтрації у слабопроникній перемичці, рівняння (12) можна записати в такому вигляді:

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial P_{1,2}}{\partial r} \right) - \lambda^2 (y(r, \tau)) (P_{1,2} - \bar{P}(\tau)) = 0, \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial P_{i,3}}{\partial r} \right) - (-1)^{i+1} \lambda_i^2 (P_{1,3} - P_{2,3}) = 0, \end{cases} \quad (13)$$

Система (13) записана в безрозмірних величинах

$$\begin{aligned} r &= \frac{R}{L}, \quad \tau = \frac{t}{T}, \quad P_{i,j} = \frac{P_{i,j}}{P_{aT}}, \\ h &= \frac{m_i}{m_0}, \quad r_i(\tau) = \frac{R_i(\tau)}{L}, \quad \bar{y}(r, \tau) \end{aligned}$$

Граничні і кінематичні умови на рухомій границі запишемо таким чином

$$\begin{cases} P_{1,3} = P_{2,3} = P_k, (r = 1); \\ P_{1,2} = \bar{P}(\tau), (r = r_1(\tau)); \\ P_{1,2} = P_{1,3}, \frac{\partial P_{1,2}}{\partial r} = \frac{\partial P_{1,3}}{\partial r}, P_{2,3} = \bar{P}(\tau), (r = r_2(\tau)); \end{cases} \quad (14)$$

$$n_i \sigma \frac{dr_i}{d\tau} = - \frac{k_i T}{\mu L^2} \frac{\partial P_{i,j}}{\partial r}, \quad (i = 2, j = 3; i = 1, j = 2), \quad (15)$$

Для замикання системи (12) – (15) запишемо рівняння матеріального балансу

$$\bar{P}\sigma\pi(n_1r_1^2(\tau)h_1 + r_2^2(\tau)(n_2h_2 + n_0h_0) - 2n_0\int_{r_1}^{r_2} ry(r, \tau) dr) =$$

$$= V_0 + \int_0^r q(\tau) d\tau, \quad (16)$$

$$\text{де } q(\tau) = \frac{Q(\tau)T}{m_0L^2P_{am}}, V_0 = \frac{W_0}{m_0L^2P_{am}};$$

$Q(\tau)$  витрата газу, який закачується у пласт та приведений до нормальних умов;  $W_0$  – кількість газу, що перебуває у пласті в момент початку закачування чи відбору.

Лінеаризуючи систему (13) за допомогою введення в розгляд двох «граничних» схем і знайшовши вираз для коефіцієнтів  $\lambda_i$  та  $\lambda_i$  отримаємо рішення задачі щодо невідомих функцій  $\bar{P}(\tau)$ ,  $r_1(\tau)$  та  $r_2(\tau)$ , так само знайдемо розподіл тиску в області, зайнятій водою  $P_{1,2}(r, \tau)$ ,  $P_{1,3}(r, \tau)$  і  $P_{2,3}(r, \tau)$ .

Розглянемо інший підхід до вирішення зазначеного завдання, заснований на лінеаризації вихідної системи рівнянь не у всій області  $D_{1,2}$ , а в підобластях  $D_j$ , на які розбивається вихідна область (рис. 3).

При цьому зона  $D_{1,2}$  ділиться на кінцеве число зон  $D_j$ , для кожної з яких може бути записано рівняння нерозривності

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial P_j}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 P_j}{\partial z^2} = 0, \quad (17)$$

Шляхом усереднення рівняння (17) по потужності отримаємо:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial P_j}{\partial r} \right) - \hat{\lambda}_j^2 (\bar{P}(\tau) - p_j) = 0, (j = 1, 2, \dots, n), \quad (18)$$

де  $P_j$  – тиск області  $D_j$ .

Межа  $y(r; \tau)$  в області  $D_{0,2}$  апроксимується кусково-постійною лінією, яка дає змогу на кожному з відрізків  $(r_{j-1} \leq r \leq r_j)$  визначити коефіцієнти  $\hat{\lambda}_j^2$

$$\hat{\lambda}_j^2 = \frac{3k_0k_1L^2}{m_1(3m_0h_jk_1 + m_1k_0)}, \quad (19)$$

Граничні умови запишемо таким чином:

$$\begin{cases} P_1' = \bar{P}(\tau), \text{ при } r = r_0 = r_1(\tau); \\ P_j' = P_{j+1}', \frac{\partial P_j'}{\partial r} = \frac{\partial P_{j+1}'}{\partial r}, \text{ при } r = r_j'; \\ P_n' = P_{1,3}', \text{ при } r = r_n = r_2(\tau); \end{cases} \quad (20)$$

З метою визначення невідомої функції  $y(r; \tau)$  випишемо закон руху межі розділу  $\Gamma_0$  в перемичці. Використовуючи те, що горизонтальна складова частина швидкості фільтрації дорівнює нулю, маємо:

$$\frac{dh_j}{dt} = - \frac{k_0}{n_0\mu\sigma} \frac{\delta P_j'}{\delta z} \Big|_{z=h_j}, (j = 1, 2, \dots, n), \quad (21)$$

Зазначимо, що система диференціальних рівнянь (21) має вирішуватися спільно з системою (15).

Запропонований спосіб лінеаризації системи (13) є узагальненням розглянутого раніше підходу, заснованого на введенні «граничних» схем, причому обидві «граничні» схеми можуть бути отримані як окремі випадки.

Загальне рішення рівняння (18) запишемо у вигляді

$$P_j(r, \tau) = \bar{P}(\tau) + \alpha_j K_0(\lambda_j r) + \beta_j I_0(\lambda_j r), (j = 1, 2, \dots, n), \quad (22)$$

Використовуючи умови (20), отримаємо рекурентні співвідношення для визначення коефіцієнтів  $\alpha_j$  та  $\beta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ):

$$\alpha_0 = - \frac{\beta_0 I_0(\lambda_0 r_0)}{K_0(\lambda_0 r_0)};$$

$$\beta_j = \frac{(F_{j-1}' K_0(\lambda_j r_j) + \lambda_j F_{j-1} K_1(\lambda_j r_j))}{\lambda_j (I_0(\lambda_j r_j) K_1(\lambda_j r_j) + I_1(\lambda_j r_j) K_0(\lambda_j r_j))}; \quad (23)$$

$$\text{де } F_{j-1}' = \alpha_{j-1} K_0(\lambda_{j-1} r_j) + \beta_{j-1} I_0(\lambda_{j-1} r_j);$$

$$F_{j-1}' = -\lambda_{j-1} (\alpha_{j-1} K_1(\lambda_{j-1} r_j) - \beta_{j-1} I_1(\lambda_{j-1} r_j)), \quad (24)$$

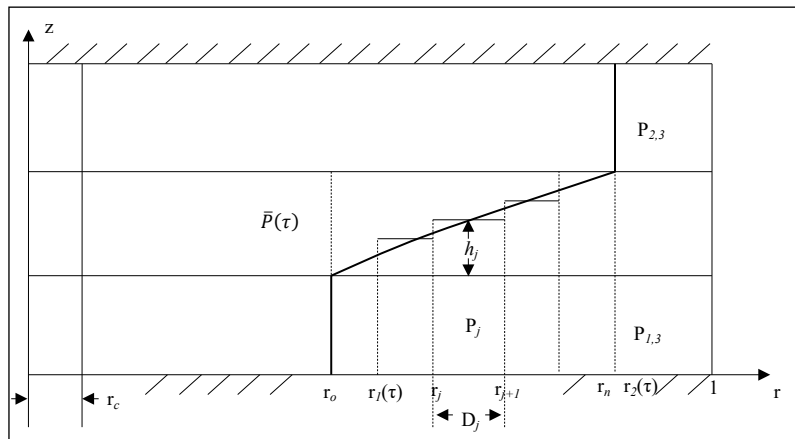


Рис. 3. Схема апроксимації невідомої межі у слабопроникній перемичці

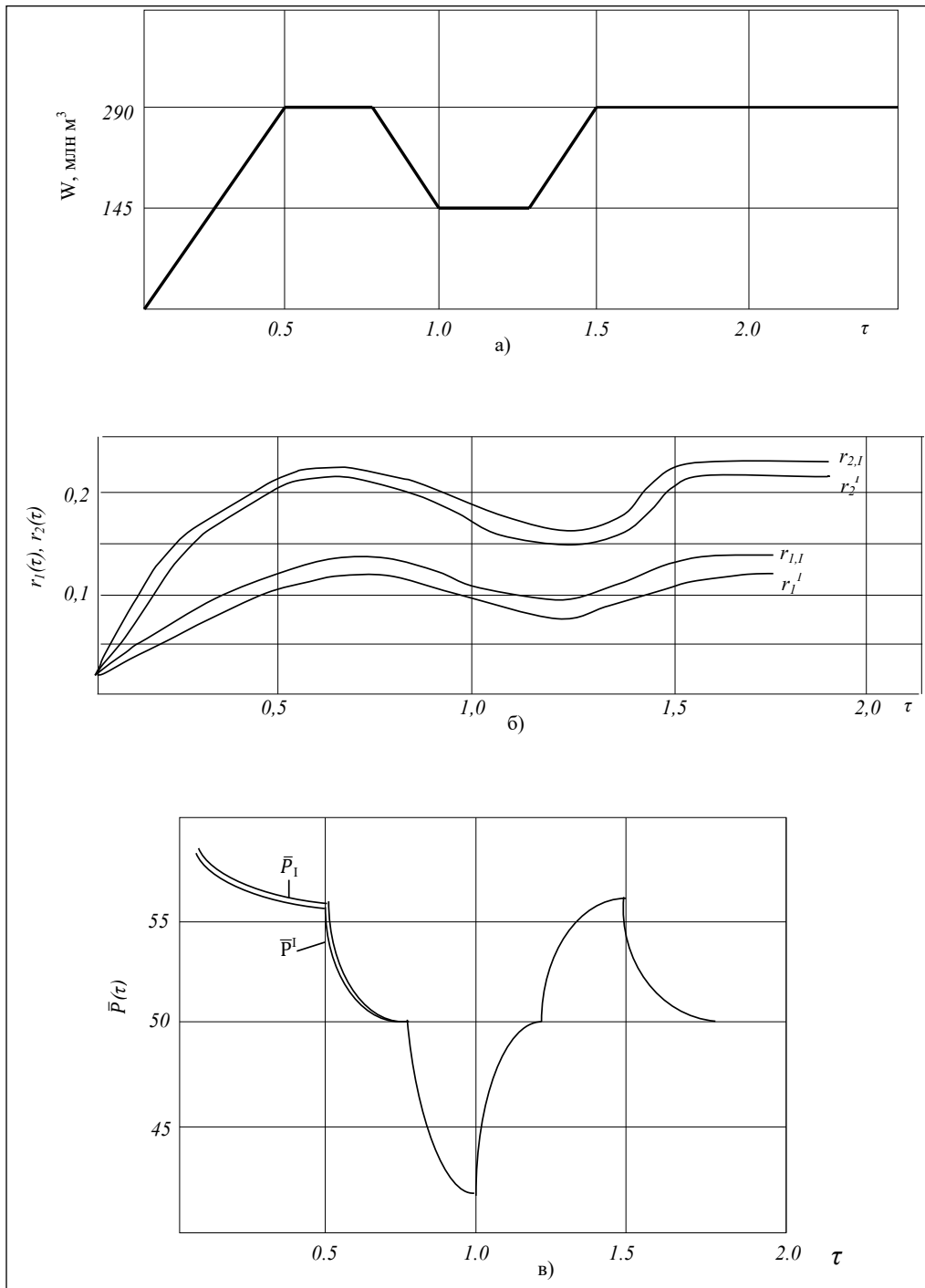


Рис. 4. Результати розрахунків за I-ю граничною схемою і схемою з апроксимацією невідомої межі

де  $I_0, K_0, I_1, K_1$  – модифіковані функції Бесселя і Ганкеля нульового і першого порядку [8, с. 256–269].

Розподіл тиску в областях та  $D_{i,3}$  має вигляд

$$P_j(r, \tau) = \bar{P}(\tau) + \frac{(1-c)\Phi(\lambda_n r_n)F_j(\lambda_j r)}{S(r_0, r_n)}(\bar{P}(\tau) - P_k), \quad (j=1, 2, \dots, n,$$

$$r_{j-1} \leq r \leq r_j), \quad (25)$$

$$(i=1, 2, r_n \leq r \leq 1), \quad (26)$$

де

$$S(r_0, r_n) = F_n'(\lambda_n r_n)\Phi(\lambda_n r_n)r_n \ln r_n(1-c) + cF_n(\lambda_n r_n)\Phi(\lambda_n r_n) - \Phi'(\lambda_n r_n)F_n(\lambda_n r_n)r_n \ln r, \quad (27)$$

$$\Phi(\lambda r) = -\frac{I_0(\lambda)K_0(\lambda r)}{K_0(\lambda)} + I_0(\lambda r), \quad (28)$$

$$\Phi'(\lambda r) = \lambda \left( \frac{I_0(\lambda)}{K_0(\lambda)} K_1(\lambda r) + I_1(\lambda r) \right), \quad (29)$$

Система диференціальних рівнянь (15) з урахуванням виразів (27) – (29) набуде вигляду

$$\begin{cases} \frac{\partial r_0}{\partial \tau} = -\frac{\alpha_1(1-c)\Phi(\lambda_n r_n)F_0(\lambda_0 r_0)}{S(r_0, r_n)}(\bar{P}(\tau) - P_k), \\ \frac{dr_n}{dt} = -\frac{\alpha_2(1-c)}{S(r_0, r_n)}F_n(\lambda_n r_n)\Phi(\lambda_n r_n) - F_n(\lambda_n r_n)\Phi'(\lambda_n r_n) * (\bar{P}(\tau) - P_k), \end{cases} \quad (30)$$

Початкові умови в разі необмеженого пласта

$$r_0(0) = r_n(0) = r_c, \quad (31)$$

де  $r_c$  – радіус свердловини.

Система (30) інтегрується чисельно в програмному середовищі Mathcad методом Рунге-Кутта четвертого порядку. При визначенні  $h_j$ , виходячи зі співвідношення (21) та з урахуванням припущення щодо лінійного розподілу тиску по вертикалі в перемичці, можна використовувати таке співвідношення:

$$\frac{m_0^2 \mu n_0 \sigma}{K_0 TP_{am}} \cdot \frac{dh_j}{d\tau} = \frac{(P_j' - \bar{P}(\tau))}{h_j}, \quad (32)$$

проінтегрувавши яке в інтервалі часу ( $\tau^* \leq \tau \leq \tau^* + \Delta\tau$ ), отримаємо вираз для значення  $h_j$  наприкінці кроку інтегрування

$$h_j \left( \tau^* + \Delta\tau = \sqrt{h_j(\tau^*) + \frac{K_0 TP_{am}}{\mu n_0 \sigma m_0^2} (P_j - \bar{P}(\tau^*))}, \quad (33)$$

Результати розрахунків руху меж розділу в шаруватому пласті з розташованою у центрі свердловиною для зазначених вище геологічних умов представлені на рис. 4. На цих графіках

подано зіставлення розрахунків за I-ою «граничною» схемою (криві  $\bar{P}_1, r_{1,1}, r_{2,1}$ ), а також із використанням кусково-постійної апроксимації межі розділу в перемичці (криві  $\bar{P}'_1, r'_{1,1}, r'_{2,1}$ ). Зіставлення результатів розрахунків для схеми з апроксимацією межі в перемичці та за II-ою «граничною» схемою ( $y(r, \tau) \equiv 0$ ) дало найгірший збіг, що дає змогу вважати I «граничну» схему більш достовірною і рекомендувати її для використання під час проведення оціночних розрахунків.

**Висновки.** Запропонована газогідродинамічна модель підземного сховища газу, створеного в неоднорідному водоносному горизонті, дає змогу розраховувати його циклічну роботу у тришаровому пласті з урахуванням перетоків через слабопроникну перемичку. Отриманий у роботі новий спосіб лінеаризації системи диференціальних рівнянь для визначення тисків у пласті-колекторі є узагальненням використовуваних раніше способів, із введенням «граничних схем». Результати проведених розрахунків показують істотний вплив характеристик шаруватого пористого середовища на просування газоводяного контакту по окремих шарах. Отримані результати можуть бути використані під час проведення оціночних розрахунків на стадії проектування сховищ газу у водоносних пластах.

### Список літератури:

1. Садовенко И.А., Рудаков Д.В., Инкин А.В. Газогидродинамическая оценка параметров хранения газа в водоносном горизонте. *Геотехническая механика* : межвед. сборник научных трудов. 2010. Вып. 91. С. 77–84.
2. Инкин А.В., Деревягина Н.И., Хрипливец Ю.В. Перспективы создания водоносного газохранилища в горно-геологических условиях Левенцовской площади. *Сбірник наукових праць НГУ*. 2014. № 44. С. 22–27.
3. Садовенко И.А., Инкин А.В., Якубовская З.Н. Оценка потерь газа при его хранении в водоносных пластах Западного Донбасса. *Науковий вісник НГУ*. 2012. № 6. С. 18–24.
4. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2005. 496 с.
5. Садовенко И.А., Рудаков Д.В., Инкин А.В. Моделирование теплопереноса в водоносном горизонте при аккумуляции и отборе тепловой энергии. *Науковий вісник НГУ*. 2012. № 1. С. 40–45.
6. Коллинз Р. Течения жидкостей через пористые материалы. Москва : Мир, 1964. 350 с.
7. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Горнопромышленная гидрогеология. Москва : Недра, 1989. 287 с.
8. Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г. Подземная гидравлика. Москва : Недра, 1972. 360 с.
9. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. Москва : Астрель, 2006. 991 с.
10. Кирьянов Д. Самоучитель Mathcad. Санкт-петербург : БХВ-Петербург, 2003. 560 с.

### Sadovenko I.O., Inkin O.V., Dereviahina N.I., Hriplivec Yu.V. MODELING OF GAS-DYNAMICAL INDICATION OF OPERATION OF GAS STORAGE IN WATER-BEARING STRATIFIED SEAMS

*Gas-hydrodynamic indicators of operation of underground gas storages in aquifers in the southeastern part of Ukraine are estimated in this paper. Most of the methods related to a calculation of parameters of underground gas storage facilities are based on an assumption of homogeneity and anisotropy of a layer-collector, but the real structure of rocks is more corresponding with the model of inhomogeneous layer in which all components of a permeability tensor are arbitrary or have a certain form of symmetry. In this case, one of the most common models of anisotropy of rocks is a model of a stratified layer, which is explained by geological*

*conditions of sedimentation, which lead to stratification of layers with different collecting properties. In the practice of underground gas storage, consideration of such a model is of particular importance, since the movement of a boundary of gas-water contact through interlayers with different filtration characteristics as a result of changing the position of a gas zone may differ significantly. Therefore, the mathematical model of gas storage in a water-bearing stratified layer with a low permeability interlayer for a case of plane-parallel and axial-symmetric filtration were developed and implemented in the paper. In order to achieve this aim, a complex approach was applied, including collecting, systematizing and analyzing actual data on filtration and physical-mechanical properties of host rocks and mining and technical conditions of development of seams that affect the formation of natural and technogenic deposits, as well as analytical and numerical methods of solving the equations of gas-water contact under different conditions. The suggested gas-hydrodynamic model of an underground gas storage created in an inhomogeneous aquifer allows calculating its cyclic operation in a three-stratum layer, considering the cross-flows through a low permeability diaphragm. A new method of linearization of a system of differential equations for determining pressures in a layer-collector obtained in the paper is generalization of methods used previously, with the introduction of "boundary schemes". The results of performed calculations indicate a significant influence of characteristics of stratified porous medium on movement of gas-water contact through specific layers. The obtained results can be used in performing estimation calculations at the design stage of gas storages in aquifers.*

**Key words:** *aquifer, gas storage, filtration, gas-water contact, inhomogeneous.*

## ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 669.822

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/08>

**Іванченко А.В.**

Дніпровський державний технічний університет

**Чорнобривець Д.О.**

Дніпровський державний технічний університет

**Дем'янченко О.Є.**

Дніпровський державний технічний університет

**Медвецький В.В.**

Дніпровський державний технічний університет

**Караван Н.А.**

Дніпровський державний технічний університет

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТАДІЙ СОРБЦІЇ ТА ЕКСТРАКЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЗАКИСУ-ОКИСУ УРАНУ

Державне підприємство «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (місто Жовті Води) є єдиним урановидобувним підприємством в Україні. Обробка руди включає такі стадії: видобуток, подрібнювання, вилуговування, сорбцію, екстракцію. Роботу присвячено дослідженню стадій сорбції та екстракції у технології одержання закису-окису урану. У дослідженнях для сорбції урану використано сучасний іоніт європейського зразка Amberlite IRA-910 UCI, дію якого порівнювали зі стандартним марки АМП. Для вивчення стадій сорбції використовували сульфатну кислоту такого складу: масова частка моногідрату ( $H_2SO_4$ ), % – 92,5-94,0; феруму, % – 0,006, оксидів азоту, % – 0,00005. Досліджено кінетику сорбції урану новим Amberlite IRA-910 UCI та цеховим АМП аніонітами, насиченими до 35,9 мг/г при  $C_{рівн.} = 6$  г/дм<sup>3</sup> і концентрації сульфатної кислоти 50 г/дм<sup>3</sup>. Встановлено, що час контакту сорбенту з розчином може бути обмежений 4 годинами. Для досліджуваних сорбентів ступінь досягнення рівноваги понад 80% не перевищує дві години. З підвищенням концентрації урану і зниженням кислотності місткість аніоніту зростає, досягаючи 147 мг/г за концентрації урану 15,9 г/дм<sup>3</sup> і кислотності 50 г/дм<sup>3</sup>. Визначено закономірності середнього вмісту Fe(III) в насиченій органічній фазі від концентрації ди-2-етилгексилфосфатної кислоти та співвідношення «трибутилфосфат: ди-2-етилгексилфосфатна кислота». Аналіз впливу технологічних параметрів на величину концентрації феруму в насиченій органічній фазі показав, що визначальними є концентрація ди-2-етилгексилфосфатної кислоти та відношення «трибутилфосфат: ди-2-етилгексил-фосфатна кислота». Концентрація феруму в органічній фазі зростає з ростом концентрації ди-2-етилгексил-фосфатної кислоти та різко падає зі збільшенням відношення «трибутилфосфат: ди-2-етилгексил-фосфатна кислота» (у 15 разів у вивченому інтервалі значень).

**Ключові слова:** закис-окис урану, сорбція, екстракція, іоніти, трибутилфосфат, ди-2-етилгексилфосфатна кислота.

**Постановка проблеми.** ДП «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (м. Жовті Води) є єдиним урановидобувним підприємством в Україні. Могутня сировинна база України дозволяє забезпечувати атомні електростанції власною сировиною не менше ніж чим 100 років. Обробка руди на

сучасних урановидобувних підприємствах включає такі стадії: видобуток, подрібнювання, вилуговування, сорбцію, екстракцію [1, с. 78]. Іонний обмін – процес, під час якого відбувається стехіометричний обмін іонів одного знака між іонітом і розчином. Він знаходить усе ширше застосування



для вилучення урану з сульфатнокислих розчинів [2, с. 208].

Іоніти являють собою тверді високомолекулярні речовини, здатні поглинати з розчину електроліту позитивні або негативні іони в обмін на еквівалентну кількість інших іонів того ж знаку. На разі, сорбція урану з пульп проводиться АМП-аніонітом, що являє собою аніонообмінну смолу на основі сополімеру стиролу і дивінілбензолу з бензілпіридиноними функціональними групами. Потребує досліджень стадія сорбції урану з руд із використанням сучасних аніонітів, зокрема, Amberlite IRA-910 UCl. Процеси рідинної екстракції, що володіють високою ефективністю та економічністю, знайшли широкого застосування в гідрометалургійних схемах перероблювання уранових руд. Сучасні підприємства випускають закис-окис з кінцевим очищенням урану від домішок за екстракційною технологією.

Екстракція дозволяє досягати значних коефіцієнтів очищення урану від супутніх елементів і отримувати закис-окис урану високої якості. В технології урану широке застосування знайшла екстракція розчину подвійної суміші екстрагентів ди-2-ектигексилфосфатної кислоти (Ди2) з добавкою нейтральних фосфорорганічних сполук, найбільш поширеним представником яких є трибутилфосфат (ТБФ).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пропонується спосіб підвищення ефективності вилуговування урану з руд, що полягає в отриманні тієї частки корисного компонента, яка вважається тією, що не вилучається і належить до експлуатаційних втрат – випадає в осад гідроксиду уранілу. Оцінюються подібні втрати в 10-20 % і більше. Заходи щодо їхнього зниження полягають в регулюванні процесу вилуговування завдяки зміні кислотності середовища та оптимального заповнення реакторів рудним матеріалом [3, с. 4].

Вивчено вплив домішок, які надходять з елюатами іонообмінного вилуговування урано-

вих руд на ефективність стадії екстракційного очищення. Перевищення в розчинах, що очищаються вмісту кремнієвої кислоти, зважених часток, сполук феруму та цирконію в процесі екстракції урану призводить до емульгування водно-органічних сумішей, захоплення екстрагентом домішок і зниження якості закису-окису урану [4, с. 137].

У роботі запропонований спосіб підготовки прес-порошку закису-окису урану з використанням сухих органічних пластифікаторів для подальшого пресування і відновлення в вуглецевому середовищі до діоксиду урану з заданим стехіометричним коефіцієнтом. У процесі дослідження відібрано низку сухих пластифікаторів, визначено їхні фізико-хімічні властивості та вплив на порошок закису-окису урану [5, с. 43].

**Постановка завдання.** В основі даної роботи є дослідження стадій сорбції та екстракції у технології одержання закису-окису урану в умовах ДП «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (м. Жовті Води).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З метою перевірки принципової можливості до насичення аніоніту ураном, що містяться в десорбаті, отриманому після сульфатнокислої регенерації розчином 17-18% сульфатної кислоти, в лабораторних умовах проведені експерименти з використанням урановмісних товарних регенератів, нового аніоніту Amberlite IRA-910 UCl і цехового аніоніту марки АМП.

Сульфатна кислота за якістю повинна відповідати вимогам, наведеними в табл. 1.

Досліджено кінетику сорбції урану новим Amberlite IRA-910 UCl та цеховим АМП аніонітами, насиченими до 35,9 мг/г при  $C_{\text{ривн.}} = 6 \text{ г/дм}^3$  і концентрації кислоти 50 г/дм<sup>3</sup> (рис. 1). Встановлено, що час контакту сорбенту з розчином може бути обмежений 4 годинами. Для досліджуваних сорбентів ступінь досягнення рівноваги понад 80% не перевищує 2 години.

Таблиця 1

Технічні вимоги до якості сульфатної кислоти

Найменування показників	Норма			
	Покращена		Технічна	
	Вищий сорт	1 сорт	1 сорт	2 сорт
Масова частка моногідрату (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), %	92,5–94,0	92,5–94,0	92,5	92,5
Масова частка феруму, %, не більше	0,006	0,03	0,05	не норм.
Масова частка залишку після прожарювання, %, не більше	0,02	0,03	0,05	не норм.
Масова частка оксидів азоту, %, не більше	0,00005	0,00001	не норм.	не норм.

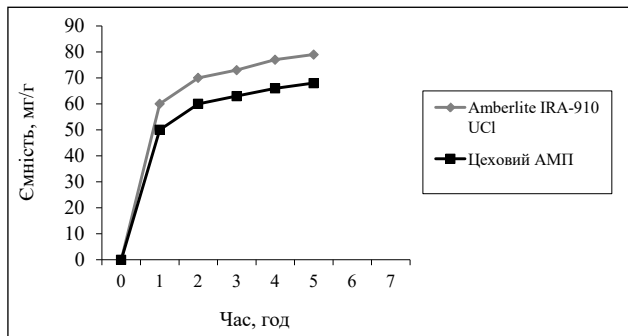


Рис. 1. Кінетика сорбції урану новим і цеховим аніонітами, насиченими до 35,9 мг/г, при  $C_{\text{рівн.}} = 6 \text{ г/дм}^3$  і концентрації сульфатної кислоти 50 г/дм<sup>3</sup>

Дослідження можливостей насичення аніоніту проводили на основі порівняння регенованого і цехового аніонітів марок АМП та нового Amberlite IRA-910 UCI (рис. 2) при сорбції урану з розчинів з різною концентрацією.

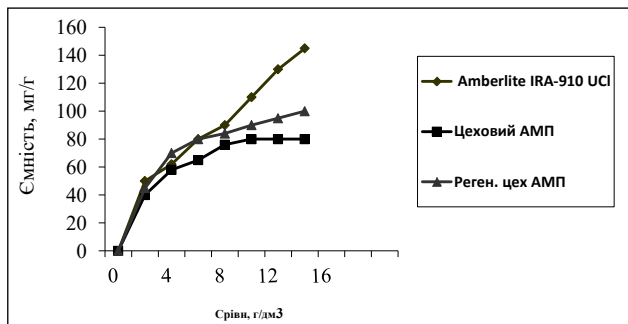


Рис. 2. Ізотерма сорбції урану з товарного регенерату за концентрації сульфатної кислоти 50 г/дм<sup>3</sup>

Отримані дані дозволяють припустити, що кількість функціональних груп, що припадають на одиницю маси цехових іонітів, є нижчими в порівнянні з новим іонітом. Ізотерми сорбції урану новим аніонітом Amberlite IRA -910 UCI з десорбатів з різною концентрацією сульфатної кислоти, представлені на рис. 3.

Результати експерименту свідчать про те, що з підвищенням концентрації урану і зниженням кислотності місткість аніоніту зростає, досягаючи 147 мг/г за концентрації урану 15,9 г/дм<sup>3</sup> і

кислотності 50 г/дм<sup>3</sup>. Статична об'ємна місткість іонітів в стандартних сульфатнокислих розчинах наведена у табл. 2.

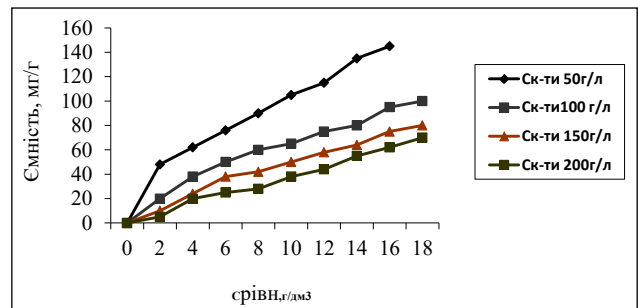


Рис. 3. Ізотерма сорбції урану новим аніонітом Amberlite IRA-910 UCI з товарного регенерату за різної концентрації сульфатної кислоти

В технології урану широке застосування знайшла екстракція розчину подвійної суміші екстрагентів ди-2-ектигексилфосфатної кислоти (Ди2) з добавкою нейтральних фосфорорганічних сполук, найбільш поширеним представником яких є трибутилфосфат (ТБФ). ТБФ є екстракційним агентом і може брати участь в утворенні сполук металів в органічній фазі.

Товарні розчини екстракційного переділу утворюються в результаті десорбції іоніту сульфатнокислим розчином з добавкою нітрат-іону. Основною розчиною домішкою в товарному регенераті, яка повинна бути відокремлена на операції екстракції є тривалентний ферум (0,5-2,5 г/дм<sup>3</sup>).

Для успішного проведення рідинної екстракції товарні розчини повинні відповідати певним вимогам. Основними домішками, які можуть порушити роботу екстрактора є тверді суспензії та кремнієва кислота. Вплив цих забруднювачів достатньо добре вивчено. Встановлено, що для забезпечення стійкої роботи екстракційного каскаду вміст твердої речовини в товарному регенераті не повинно перевищувати 20 мг/дм<sup>3</sup>. А вміст полімерних форм кремнієвої кислоти має бути менш як 50 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблиця 2

Статична об'ємна місткість іонітів в стандартних сульфатнокислих розчинах ( $C_{\text{урану}} = 1,04 \text{ г/дм}^3$ ,  $C_{\text{сульф.кислоти}} = 50 \text{ г/дм}^3$ ,  $\text{pH} = 1,5$ ,  $\tau = 2 \text{ год}$ ,  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

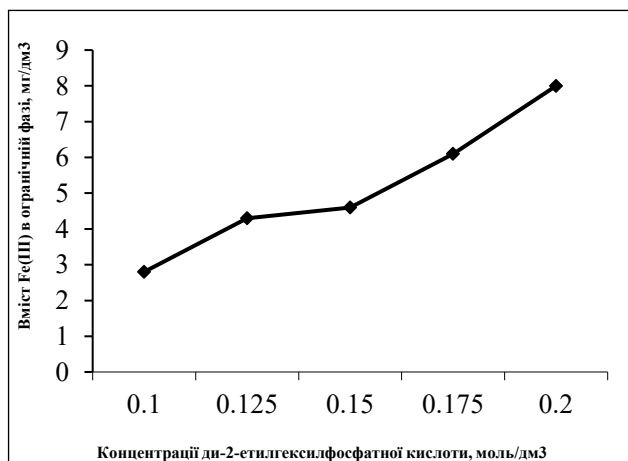
Аніоніт	Концентрація урану, г/дм <sup>3</sup>		Поглинена концентрація, мг/г	Статична об'ємна місткість аніонітів мг/г
	Вихідна	Рівноважна		
Amberlite IRA-910 UCI	1,04	0,584	0,456	91,2
АМП цеховий	1,04	0,724	0,316	68,8

Основними чинниками складу водної фази, що впливають на показники екстракції є концентрації сульфатної кислоти та нітрат-іону. Якісний вплив цих чинників на екстракцію урану полягає у такому: підвищення концентрації  $\text{NO}_3^-$  і зменшення концентрації  $\text{H}_2\text{SO}_4$  збільшують місткість органічної фази за цільовим компонентом.

Однак, вплив кислоти має складніший характер. Підвищення кислотності знижує ступінь екстракції багатьох домішок, наприклад  $\text{Fe(III)}$ , в значно більшому ступені, ніж урану. Оскільки основним завданням екстракційного переділу є отримання готової продукції заданого ступеня чистоти, цей факт має певне значення. Вплив нітрат-іона також необхідно оцінювати в комплексі.

Нами виконані дослідження впливу концентрації  $\text{NO}_3^-$  на місткість екстрагенту за металом і показники розділення  $\text{NO}_3^-/\text{Fe}$  в товарному розчині (табл. 3).

Таким чином, хоча місткість органічної фази за ураном зростає в вивченому інтервалі концентрації нітрат-іона, коефіцієнт розділення  $\text{U}/\text{Fe(III)}$  досягає максимуму при  $\text{NO}_3^- = 23,4 \text{ г/дм}^3$  і надалі знижується, що свідчить про поліпшення екстрагування  $\text{Fe(III)}$  в цих умовах. На рис. 4 та 5 представлена залежність середнього вмісту  $\text{Fe(III)}$  в насиченій органічній фазі від концентрації ди-2-етилгексилфосфатної кислоти та співвідношення «трибутилфосфат:ди-2-етилгексилфосфатна кислота».



**Рис. 4.** Залежність середнього вмісту  $\text{Fe(III)}$  в насиченій органічній фазі від концентрації ди-2-етилгексилфосфатної кислоти

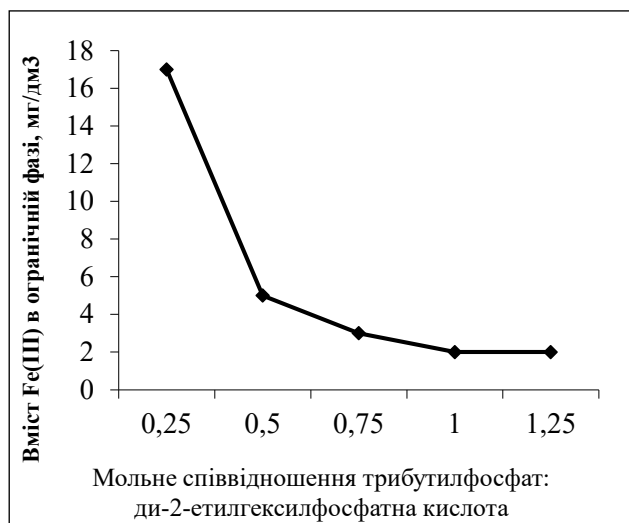
Аналіз впливу вивчених чинників на величину концентрації феруму в насиченій органічній фазі показав, що визначальними є концентрація ди-2-етилгексил-фосфосфатної кислоти і

Таблиця 3

**Вплив концентрації нітрат-іона на ємність екстрагенту за металом і показники розділення  $\text{NO}_3^-/\text{Fe}$  в товарному розчині**

$\text{NO}_3^-$ , г/дм <sup>3</sup>	Місткість органічної фази за ураном, г/дм <sup>3</sup>	Коефіцієнт розділення $\text{U}/\text{Fe(III)}$
7,9	16,0	31
15,7	17,3	66
23,4	19,3	405
31,2	19,3	175
38,9	19,8	129
46,7	20,2	108

відношення «трибутилфосфат:ди-2-етилгексилфосфосфатна кислота», вплив інших параметрів (кислотність товарного розчину, концентрація нітрат-іона) є незначною. Концентрація феруму в органічній фазі зростає з ростом концентрації ди-2-етилгексил-фосфосфатної кислоти і різко падає зі збільшенням відношення «трибутилфосфат:ди-2-етилгексил-фосфосфатна кислота» (більш ніж в 15 разів у вивченому інтервалі значень).



**Рис. 5.** Залежність середнього вмісту  $\text{Fe(III)}$  в насиченій органічній фазі від мольного співвідношення «трибутилфосфат:ди-2-етилгексилфосфатна кислота»

**Висновки.** Отже, експериментально досліджено стадію сорбції урану аніонітами марок АМП та Amberlite IRA-910 UCI. Встановлено, що час контакту сорбенту з розчином може бути обмежений 4 годинами. Для досліджуваних сорбентів ступінь досягнення рівноваги понад 80% не перевищує дві години. З підвищенням концентрації урану і зниженням кислотності місткість аніоніту

зростає, досягаючи 147 мг/г при концентрації урану 15,9 г/дм<sup>3</sup> і кислотності 50 г/дм<sup>3</sup>. Визначальними технологічними параметрами на величину концентрації феруму в насиченій органічній фазі є концентрація ди-2-етилгексил-фосфатної кислоти та співвідношення «трибутилфосфат:ди-

2-етилгексил-фосфатна кислота». Концентрація феруму в органічній фазі зростає з ростом концентрації ди-2-етилгексил-фосфатної кислоти та падає у 15 разів зі збільшенням співвідношення «трибутилфосфат:ди-2-етилгексил-фосфатна кислота».

#### Список літератури:

1. Іванченко А.В., Чорнобривець Д.О., Дем'янченко О.Є., Медвецький В.В. Дослідження процесів сорбції та екстракції у виробництві закиси-окису урану. *Актуальні проблеми сучасної хімії*: зб. тез доповідей III Всеукр. науково-практ. конф., 24 трав. 2019 р., Миколаїв: НУ кораблебудування ім. Адм. Макарова, 2019. С. 78–81.
2. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана: учебное пособие для вузов. Москва: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. 407 с.
3. Овсейчук В.А., Зозуля А.М. Снижение технологических потерь урана при подземном выщелачивании за счет растворения гидроксида уранила. *Вестник ЗабГУ*. 2019. Т. 25. № 4. С. 4–12.
4. Пасенко А.А., Кожура О.В., Чуйко Т.В., Письменный Б.В. Влияние примесей на эффективность экстракционной очистки урановых концентратов. *Вопросы химии и химической технологии*. 2013. № 5. С. 137–140.
5. Власевский Р.М., Зуев Ю.С. Подготовка пресс-порошков закиси-окиси урана и сухих органических пластификаторов для получения диоксида урана с заданным стехиометрическим коэффициентом. *Глобальная ядерная безопасность*. 2016. № 2 (19). С. 43–49.

#### **Ivanchenko A.V., Chornobryvets D.O., Demianchenko O.E., Medvetskyi V.V., Karavan N.A. STUDY OF THE SORPTION AND EXTRACTION STAGES IN TECHNOLOGY OF URANIUM NITROUS OXIDE**

*The State Enterprise «Eastern ore dressing plant» (city of Yellow Waters) is the only uranium-mining enterprise in Ukraine. Processing ores at includes the following stages: extraction, crushing, leaching, sorption, extraction. The work is devoted to the study of the stages of sorption and extraction in the technology for producing uranium nitrous oxide. In the studies for uranium sorption, modern ion exchanger of the European standard Amberlite IRA-910 UCl was used, the effect of which was compared with the standard AMP brand. For the study of the sorption step, the sulfate acid of the following composition was used: mass fraction of monohydrate (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), % – 92,5–94,0; ferrum, % – 0,006; nitrogen oxides, % – 0,00005. The kinetics of sorption of uranium by the new Amberlite IRA-910 UCl and workshop AMP anionites, saturated up to 35,9 mg/g at equilibrium concentration 6 g/dm<sup>3</sup> and sulfuric acid concentration 50 g/dm<sup>3</sup>. Found that contact of the sorbent with the solution may be limited to 4 hours. For the studied sorbents, the degree of reaching equilibrium of more than 80 % does not exceed 2 hours. With an increase in the concentration of uranium and a decrease in acidity, the capacity of the anion exchanger increases, reaching 147 mg/g with a concentration of uranium of 15,9 g/dm<sup>3</sup> and an acidity of 50 g/dm<sup>3</sup>. The regularities of the average content Fe(III) in the saturated organic phase from the concentration di-2-ethylhexylphosphate acid and the ratio «tributyl phosphate: di-2-ethylhexylphosphate acid» were determined. Analysis of the effect of technological parameters on the concentration of iron in the saturated organic phase showed that the concentration of di-2-ethylhexyl-phosphoric acid is decisive and the ratio «tributyl phosphate: di-2-ethylhexyl-phosphoric acid». The concentration of iron in the organic phase increases with an increase in the concentration of di-2-ethylhexyl-phosphoric acid and decreases sharply with an increase in the ratio «tributyl phosphate: di-2-ethylhexyl-phosphoric acid» (15 times in the studied value range).*

**Key words:** uranium nitrous oxide, sorption, extraction, ion exchangers, tributyl phosphate, di-2-ethylhexyl-phosphoric acid.

**Іванченко А.В.**

Дніпровський державний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ З ВІДХОДІВ

Схарактеризовано сировину та сучасні методи виробництва кальцированої соди. Сировиною для отримання кальцированої соди слугують природні речовини, що містять іони  $\text{Na}^+$  та  $\text{CO}_3^{2-}$ . В амоніачному способі, який є найпоширенішим у світовій практиці, кальцивану соду одержують при взаємодії натрій хлориду та амоній гідрокарбонату, на цім осад  $\text{NaHCO}_3$  розкладається з отриманням натрій карбонату, вуглекислого газу та води. У даній роботі запропоновано одержувати кальцивану соду новим методом, шляхом уловлювання вуглекислого газу натрій гідроксидом із біогазу – продукту біохімічної деструкції органо-мінеральних відходів. Зазначено перспективність застосування технологій біохімічного перероблювання органо-мінеральних відходів з отриманням добрив та біогазу в Україні та Європейському Союзі. Для досліджень процесу одержання кальцированої соди використано суміші органо-мінеральних відходів регіонального походження (Дніпропетровської області). Виявлено оптимальний час перебування відходів у реакторі (6-12 діб) залежно від вихідної сировини. Досліджено якість біогазу залежно від початкової сировини. Встановлено залежності виходу карбон(IV) оксиду та соди від тривалості процесу біохімічного перероблювання відходів. Найбільший вихід карбон(IV) оксиду  $0,1904 \text{ м}^3/\text{кг}$  за 6 діб спостерігається під час використання як вихідної сировини  $\text{Ca}_3\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , рослинних відходів, ущільненого активного мулу. Досліджено кінетику утворення кальцированої соди як супровідного продукту процесу біохімічної деструкції відходів. Концентрацію натрій гідроксиду, який використовувався для досліджень варіювали в інтервалі 5-30%. Встановлено, що найвищий ступінь поглинання  $\text{CO}_2$  98,53-98,71% при одержанні кальцированої соди досягається за концентрації  $\text{NaOH}$  10-20%. Відхилення від цього інтервалу концентрацій призводить до зниження ефективності вилучення карбон(IV) оксиду із біогазу.

**Ключові слова:** відходи, біогаз, кальцинована сода, карбон(IV) оксид, натрій гідроксид, перероблювання.

**Постановка проблеми.** Кальцинована сода або натрій карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) належить до стратегічних промислових хімічних продуктів. Найбільшими споживачами соди є енергетична, металургійна, хімічна та інші галузі промисловості. У хімічній промисловості натрій карбонат використовується у виробництві каустичної соди хімічними методами, натрій гідрокарбонату, миючих засобів, сполук хрому, сульфатів і фторидів, фосфатів, натрій нітрату, натрієвої селітри [1, с. 126].

Сировиною для одержання кальцированої соди у промисловості слугують природні речовини, які містять іони  $\text{Na}^+$  та  $\text{CO}_3^{2-}$ . Для отримання соди застосовують низку допоміжних матеріалів – амоніак, пальне, воду та водяну пару [2, с. 175]. Кухонна сіль широко поширена в природі як у твердому вигляді, так і у вигляді розчинів [2, с. 175]. Для одержання карбон(IV) оксиду та вапна на содових заводах застосовують вапняк. Вапняк, що є пористою породою, легко вбирає вологу, на випаровування якої у вапнянково-обпалювальній печі додатково витрачається паливо, що призводить до зниження концентрації  $\text{CO}_2$  у пічному газі

за розрахунок додаткової подачі повітря [2, с. 178].

Одночасно з цим, перспективними в Україні та Європейському Союзі є технології анаеробного біохімічного перероблювання органо-мінеральних відходів з отриманням добрив та біогазу. Біохімічне перероблювання в біогазових установках є одним з ефективних методів перероблювання та безпечної утилізації антропогенних органо-мінеральних відходів. У результаті даного процесу відбувається отримання високоякісного добрива та біогазу, що є поновлюваним енергоносієм. Однак, склад та кількість біогазу не є постійними та залежать від виду сировини та технології виробництва. Карбон, що міститься у органо-мінеральній сировині під час біохімічного перероблювання трансформується у метан та карбон(IV) оксид біогазу, таким чином, підвищується мінеральна складова частини рідкого добрива, що утворюється в процесі деструкції відходів. Для стабілізації складу біогазу та доведення його до якісного, самостійного альтернативного джерела енергії можна використовувати метод уловлювання вуглекислого газу натрій гідроксидом. Продуктом

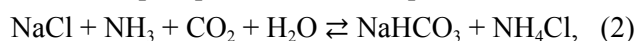
взаємодії вуглекислого газу та натрій гідроксиду є сода. У зв'язку з цим, розробка і дослідження технології анаеробного перероблювання органічно-мінеральних відходів із застосуванням очищення біогазу натрій гідроксидом з отриманням кальцинованої соди є актуальним завданням, рішення якого сприятиме вдосконаленню технологій біохімічного перероблювання відходів і безпечної утилізації парникових газів, до яких належить CO<sub>2</sub>.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

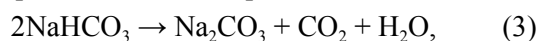
В амоніачному способі, який є найпоширенішим у світовій практиці, кальциновану соду одержують при взаємодії амоній гідрокарбонату та натрій хлориду:



На содових заводах амоній гідрокарбонат одержують з NH<sub>3</sub> та CO<sub>2</sub> безпосередньо у водних розчинах NaCl, тобто з хімічної точки зору отримати амоній гідрокарбонат можна за реакцією:



З огляду на те, що CO<sub>2</sub> погано розчиняється у воді за відсутності амоніаку, то практично спочатку розчин NaCl (розсіл) збагачують амоніаком, а потім отриманий амонізований розсіл обробляють карбон(IV) оксидом, тобто процес проводять у дві стадії. Перша стадія поглинання амоніаку протікає у відділенні абсорбції, а друга – поглинання CO<sub>2</sub> – у відділенні карбонізації. Осад NaHCO<sub>3</sub>, що випав у процесі карбонізації, відфільтровують, а далі він розкладається з отриманням соди:



Залежно від конструкції печі температура розкладання NaHCO<sub>3</sub> становить від 160 до 180 °С. Ця операція відбувається у відділенні кальцинації. Карбон(IV) оксид, який при цьому виділяється, використовують у відділенні карбонізації. Амоній хлорид NH<sub>4</sub>Cl, що утворюється за реакцією (2), може випускатися як додатковий продукт. Однак зазвичай на содових заводах амоніак регенерують з амоній хлориду і повертають назад у виробництво. З цією метою маточний розчин, який містить NH<sub>4</sub>Cl, обробляють вапняним молоком:



Амоніак, який утворюється, відганяють із розчину і направляють у відділення абсорбції. Розчин кальцій хлориду є відходом виробництва. На деяких заводах його використовують для отримання продукційного CaCl<sub>2</sub> [2, с. 181, 182].

Відомий спосіб одержання соди та мінеральних добрив шляхом обробки неорганічних хлоридів нітратною кислотою у присутності манган двоок-

сиду та отримання соди обробкою натрій нітрату амоніаком та вуглекислим газом, причому регенерацію манган двооксиду здійснюють двома методами: термічною обробкою манган нітрату і хімічною його обробкою лужними реагентами [3, с. 1].

Спосіб виробництва кальцинованої соди шляхом амонізації та карбонізації розчину натрій хлориду з отриманням натрій бікарбонату ів амоній хлориду, полягає в тому, що із розчину амоній хлориду отримують концентрат або кристалічний амоній хлорид з наступним перемішуванням і термічною обробкою його за температури 200-400°С з карбонатами, окисами або гідроокисами кальцію, та/або магнію, або їхніми сумішами, з отриманням хлориду кальцію, магнію та/або їхніх сумішей, газу амоніаку та вуглекислого газу, або їхніх сумішей, що використовують у виробництві соди [4, с. 1].

У роботі [5, с. 1] встановлено оптимальні технологічні параметри процесів одержання насичених, очищених від супутніх домішок розчинів хлористого натрію з галітових відходів, придатних для отримання кальцинованої соди.

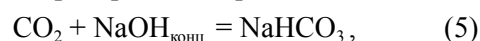
Відомі методи одержання технологічно складні, енергомісткі, потребують використання високих температур та дефіцитної сировини.

**Постановка завдання.** В основі даної роботи є дослідження процесу одержання кальцинованої соди з відходів.

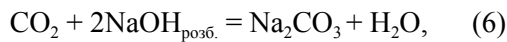
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час використання як сировини або палива метану, виробленого з біогазу після перероблювання відходів, необхідно попередньо вилучити вуглекислий газ, який є баластом даного виробництва. Окрім того, розробка раціонального методу вилучення вуглекислого газу призведе до уникнення парникового ефекту, що зумовлений виділенням CO<sub>2</sub> та однієї з причин глобального потепління.

Біогаз, що утворився в процесі анаеробного перероблювання відходів, розділяли, пропускаючи його через розчин натрій гідроксиду, задля того, щоб відділити метан від вуглекислого газу.

Залежно від концентрації натрій гідроксиду взаємодія NaOH з CO<sub>2</sub> біогазу може призвести до утворення різноманітних речовин. У випадку концентрованого розчину луку утворюється кисла сіль – натрій гідрокарбонат за реакцією:



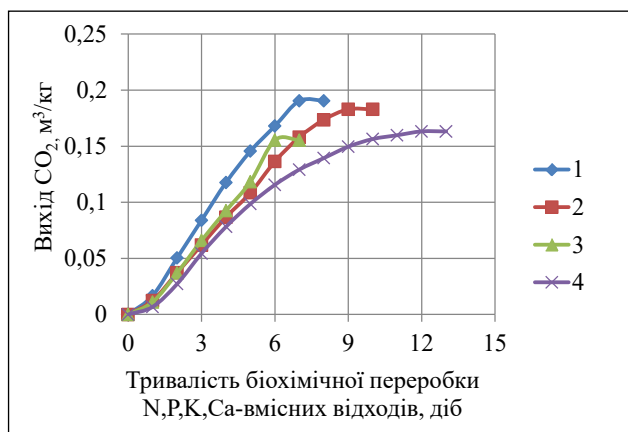
В результаті взаємодії розбавленого розчину NaOH з діоксидом Карбону утворюється цінний для хімічної промисловості продукт – кальцинована сода за реакцією:



У світлі цього, вирішується одне з завдань експериментальної роботи, що полягає у дослідженні особливостей та кінетики утворення кальцинової соди як супровідного продукту процесу біохімічної деструкції відходів.

У якості вихідної сировини використовували відходи органо-мінерального походження, які утворюються у Дніпропетровській області та потребують безпечної утилізації, а саме: осади стічних вод, рослинні відходи, побутові відходи та відходи тваринницького комплексу. У табл. 1 показано співвідношення вихідних компонентів, які завантажувалися у реактор біохімічного перероблювання в перерахунку на 1 кг сухої речовини. Для інтенсифікації процесу перероблювання відходи були попередньо гомогенізовані та мікробіологічно активовані.

Виявлено експериментальну залежність виходу  $\text{CO}_2$  від тривалості біохімічного перероблювання відходів та вихідної сировини (рис. 1).



**Рис. 1.** Залежність виходу  $\text{CO}_2$  від тривалості біохімічного перероблювання відходів та вихідної сировини: 1 –  $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , рослинні відходи, ущільнений активний мул; 2 – осад після адсорбції фосфатів з міських рідких відходів природним адсорбентом на основі соняшникового лушпиння, ущільнений активний мул; 3 – відходи тваринницького комплексу з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів з міських рідких відходів; 4 – побутові відходи з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів з міських рідких відходів

З огляду на одержані експериментальні дані найбільший вихід карбон(IV) оксиду  $0,1904 \text{ м}^3/\text{кг}$  за 6 діб (крива 1) спостерігається під час використання вихідної сировини  $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , рослинних відходів, ущільненого активного мулу; вихід вуглекислого газу під час перероблювання фосфатовмісного осаду після адсорбції фосфатів з міських рідких відходів природним адсорбентом

Таблиця 1

**Співвідношення вихідних компонентів, які завантажувалися у реактор біохімічного перероблювання відходів у перерахунку на 1 кг сухої речовини**

Сировина	Вихідні компоненти	Вміст, %
А	Рослинні відходи	50,0
	Ущільнений активний мул	40,0
	Осад після вилучення фосфатів шламом виробництва $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ [ $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ]	10,0
	Всього	100
Б	Ущільнений активний мул	20,0
	Осад після вилучення фосфатів з міських рідких відходів природним адсорбентом на основі соняшникового лушпиння	80,0
	Всього	100
В	Відходи тваринницького комплексу	90,0
	Осад після коагуляційного вилучення фосфатів з міських рідких відходів	10,0
	Всього	100
Г	Побутові відходи	90,0
	Осад після коагуляційного вилучення фосфатів з міських рідких відходів	10,0
	Всього	100

Таблиця 2

**Якість біогазу залежно від марки біомінерального добрива**

Сировина	Якість біогазу, % об.		
	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	Інші гази
А	71	28	приблизно 1
Б	68	31	
В	62	37	
Г	65	34	

на основі соняшникового лушпиння та ущільненого активного мулу становить  $0,1829 \text{ м}^3/\text{кг}$  за 9 діб (крива 2). Об'єм утвореного вуглекислого газу під час перероблювання відходів тваринницького комплексу з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів з міських рідких відходів становить  $0,1554 \text{ м}^3/\text{кг}$  (крива 3) за 6 діб процесу. Під час анаеробного перероблювання побутових відходів з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів з міських рідких



відходів (крива 4) вихід  $\text{CO}_2$  складає  $0,1632 \text{ м}^3/\text{кг}$  за тривалості процесу 12 діб. Якість біогазу (% об.) залежно від вихідної сировини наведено у табл. 2.

Видно, що найбільша кількість метану 71% спостерігається у біогазі, отриманому з сировини марки А, тобто рослинних відходів, ущільненого активного мулу та осаду після видалення фосфатів шламом виробництва кальцієвої селітри; найменша – 62%, з сировини марки В, тобто відходів тваринницького комплексу з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів. Біогаз для досліджень отримали у лабораторних умовах, внаслідок біохімічної деструкції відходів, а як поглинач  $\text{CO}_2$  використовували  $\text{NaOH}$  концентрацією 5, 10, 15, 20, 30%. Одержаний біогаз пропускали через розчин лугу і потім визначали залишковий вміст карбон(IV) оксиду у газовій суміші. У табл. 3 показано результати експериментальних досліджень вмісту карбон(IV) оксиду у біогазі до та після поглинання залежно від концентрації  $\text{NaOH}$ , %.

Встановлено, що найвищий ступінь поглинання  $\text{CO}_2$  98,53-98,71% досягається за концентрації  $\text{NaOH}$  в інтервалі 10-20 %. Відхилення від цього інтервалу концентрацій призводить до зниження ефективності вилучення карбон(IV) оксиду із біогазу. Порівняння експериментальних даних, одержаних за різних концентрацій натрій гідроксиду дозволяють зробити висновок про те, що оптимальною є концентрація  $\text{NaOH}$  – 10%. Тому подальші експериментальні дослідження процесу одержання кальцинованої соди проводили саме за цієї концентрації. На рис. 2 представлено вихід кальцинованої соди залежно від типу сировини.

Аналіз одержаних даних дозволяє зробити висновок, що найбільший вихід кальцинованої соди  $0,456 \text{ кг/кг}$  сировини виявлено при поглинанні  $\text{CO}_2$ , що утворюється під час анаеробного перероблювання  $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , рослинних відходів та ущільненого активного мулу; найменший вихід  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  –  $0,37296 \text{ кг/кг}$  сировини спостерігали при обробці 10% розчином  $\text{NaOH}$  відходів

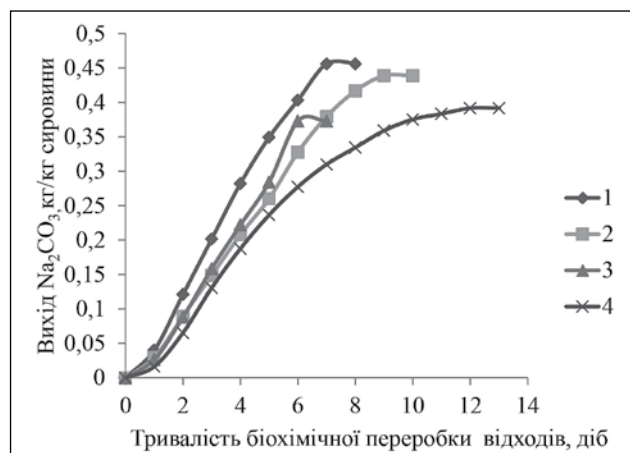
Таблиця 3

Вміст карбон (IV) оксиду у біогазі до та після поглинання залежно від концентрації  $\text{NaOH}$ , %

Концентрація $\text{NaOH}$ , %	Вміст $\text{CO}_2$ у біогазі, %		Ефективність вилучення $\text{CO}_2$ , %
	До обробки $\text{NaOH}$	Після обробки $\text{NaOH}$	
5	28	0,616	97,80
	31	0,715	97,69
	37	0,851	97,70
	34	0,786	97,68
10	28	0,364	98,7
	31	0,434	98,6
	37	0,452	98,77
	34	0,499	98,53
15	28	0,361	98,71
	31	0,432	98,60
	37	0,449	98,70
	34	0,498	98,53
20	28	0,359	98,71
	31	0,43	98,60
	37	0,442	98,80
	34	0,493	98,55
25	28	0,572	97,95
	31	0,548	98,23
	37	0,565	98,47
	34	0,569	98,32
30	28	0,597	97,86
	31	0,622	97,99
	37	0,678	98,16
	34	0,685	97,98



тваринницького комплексу з добавкою з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів (крива 3). Оптимальний час перебування відходів у реакторі (6-12 діб) залежно від вихідної сировини.



**Рис. 2.** Вихід кальцинованої соди від тривалості біохімічного перероблювання відходів при поглинанні  $\text{CO}_2$  із біогазу 10 % розчином  $\text{NaOH}$ : 1 –  $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , рослинні відходи, ущільнений активний мул; 2 – осад після адсорбції фосфатів з міських рідких відходів природним адсорбентом на основі соняшникового лушпиння, ущільнений активний мул; 3 – відходи тваринницького комплексу з добавкою з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів; 4 – побутові відходи з добавкою осадів після коагуляційного вилучення фосфатів

Таким чином, технологія перероблювання відходів передбачає зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище завдяки поглинанню  $\text{CO}_2$  із біогазу з отриманням кальцинованої соди, а також отримання метану, який можна використовувати як паливо для технологічних цілей або сировину для одержання амоніаку у хімічній промисловості.

**Висновки.** Отже, встановлено залежності виходу карбон(IV) оксиду та соди від тривалості процесу біохімічного перероблювання відходів. Виявлено оптимальний час перебування відходів у реакторі (6-12 діб) залежно від вихідної сировини. Досліджено кінетику утворення кальцинованої соди як супровідного продукту процесу біохімічної деструкції відходів. Встановлено, що найвищий ступінь поглинання  $\text{CO}_2$  98,53-98,71% при одержанні кальцинованої соди досягається за концентрації  $\text{NaOH}$  10-20%. Відхилення від цього інтервалу концентрацій призводить до зниження ефективності вилучення карбон(IV) оксиду із біогазу. Дослідження, представлені у роботі виконані за підтримки Дніпропетровської обласної державної адміністрації в рамках перемоги автора в обласному конкурсі проектів «Молоді вчені Дніпропетровщини 2018».

#### Список літератури:

1. Гринь Г.І., Грінцова А.В., Ларіна І.В., Кобзев О.В., Авіна С.І. Отримання кальцинованої соди аміачним способом та методи утилізації рідких відходів виробництва. *Молодий вчений*. № 10 (62), 2018. С. 126–129.
2. Технологія неорганічних речовин. Частина 2. Кислоти та луги / Волошин М.Д., Шестозуб А.Б., Черненко Я.М., Іванченко А.В. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2014. 349 с.
3. Спосіб одержання соди та мінеральних добрив : пат. 51829 Україна. № а200900128; заявл. 08.01.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 15.
4. Спосіб виробництва кальцинованої соди : пат. 64246 Україна. № а201101690; заявл. 14.02.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21.
5. Соддиков Ф.Б., Зулярова Н.Ш., Мирзакулов Х.Ч. Исследования по получению рассолов для производства кальцинированной соды из галитовых отходов калийного производств. *Universum : Технические науки : электрон. научн. журн.* 2016. № 9 (30). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3641>

#### Ivanchenko A.V. INVESTIGATION PROCESS OF OBTAINING SODIUM CARBONATE IN WASTE

*The raw material and modern methods production sodium carbonate are characterized. Raw materials for the production of sodium carbonate are natural substances containing  $\text{Na}^+$  and  $\text{CO}_3$  ions. In the ammonia method, which is the most widespread in the world practice, sodium carbonate is produced by the interaction of sodium chloride and ammonium bicarbonate, and the  $\text{NaHCO}_3$  precipitate is decomposed to produce sodium carbonate, carbon dioxide and water. In this paper, it is proposed to obtain sodium carbonate by a new method, by capturing carbon dioxide with sodium hydroxide from biogas - a product of biochemical degradation of organo-mineral wastes. The prospect of application of technologies of biochemical processing of organo-mineral wastes with production of fertilizers and biogas in Ukraine and the European Union is noted. For investigations of the process of obtaining sodium carbonate, mixtures of organo-mineral waste of regional origin (Dnipropetrovsk region) were used. The optimum time of residue in the reactor (6-12 days)*

*was detected, depending on the raw material. The quality of biogas is investigated depending on the initial raw material. The dependence yield of carbon(IV) oxide and sodium carbonate on the duration of process biochemical waste treatment was established. The largest yield carbon(IV) oxide 0,1904 m<sup>3</sup>/kg for 6 days is observed when Ca<sub>3</sub>OH(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, plant waste, sealed active sludge is used as the raw material. The kinetics formation sodium carbonate an accompanying product biochemical waste destruction process is investigated. The concentration sodium hydroxide used for research varied in the range 5-30%. It was established that the highest degree absorption CO<sub>2</sub> 98,53-98,71% for the production sodium carbonate is achieved at a concentration of 10-20% NaOH. Deviation from this concentration interval leads to a reduction in the efficiency carbon(IV) oxide extraction from biogas.*

**Key words:** waste, biogas, sodium carbonate, carbon(IV) oxide, sodium hydroxide, processing.

**Майзеліс А.О.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**ВПЛИВ УМОВ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИШАРОВИХ ПОКРИТТІВ (Zn-Ni)<sub>1</sub>/(Zn-Ni)<sub>2</sub> НА ЇХ МЕХАНІЧНУ ТА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ**

Покриття сплавом цинк-нікель використовують для захисту сталевих виробів від корозії. Оскільки властивості таких покриттів істотно залежать від умов їх отримання, необхідні дослідження, спрямовані на виявлення характеру цього зв'язку. Стаття присвячена електроосажденню сучасного типу покриттів – мультишарового покриття, що складається з шарів сплавів цинк-нікель різного складу завтовшки 30–60 нм. Мультишарові цинк-нікелеві покриття отримували в електроліті на основі пірофосфату двоімпульсним гальваностатичним методом. Дослідження проводили за допомогою потенціостату Elins P-45X у триелектродній коміріці. Використані методи циклічної вольтамперометрії та хронопотенціометрії. Корозійну стійкість покриттів визначали поляризаційним методом. Рентгенофлуоресцентний аналіз елементного складу зразків здійснювали на спектрометрі СПРУТ. Мікротвердість покриттів визначали методом вдавнення алмазної піраміди на мікротвердомірі ПМТ-3. Показано, що з електроліту на основі пірофосфату осаджуються мультишарові покриття, які мають більш високу корозійну та механічну стійкість порівняно з одношаровими покриттями сплавами цинк-нікель такої самої сумарної товщини та хімічного складу. Збільшення співвідношення концентрацій іонів металів в електроліті на користь іонів нікелю дає змогу осаджувати мультишарові покриття сплавами Zn-Ni, більш збагачені за Ni. Мікротвердість мультишарових цинк-нікелевих покриттів, що містять нікель, від 9,84 до 22,75 мас. %, знаходиться в діапазоні 220–518 НВ, їх потенціал корозії становить від –0,96 В до –0,715 В. Мультишарові покриття, що мають надлишок нікелю щодо  $\gamma$ -фази сплаву, мають найвищу механічну та корозійну стійкість. Покриття захищають сталеву основу електрохімічно, однак швидкість їх розчинення значно нижча за цинкові, що підвищує термін експлуатації виробів.

**Ключові слова:** цинк-нікель, мультишарове покриття, корозійна стійкість, мікротвердість, пірофосфатний електроліт.

**Постановка проблеми.** Сталь є одним із найпоширеніших конструкційних матеріалів, який потребує високої корозійної стійкості у низці випадків, чого досягають зміною хімічного складу самої сталі або введенням інгібіторів у корозійне середовище, якщо це можливо, а також шляхом нанесення покриттів. Гальванічні покриття зазвичай поєднують у собі захист як від корозії, так і від механічних пошкоджень.

Цинкування є найпоширенішою гальванічною обробкою сталей. Цинк є анодним покриттям на сталі, тобто захищає її електрохімічно, але він активно розчиняється в корозійному середовищі. З метою забезпечення корозійної стійкості цинку його пасивують різними способами. Варіантом підвищення корозійної стійкості є легування цинку іншими металами. Останніми роками активно пропонується нанесення сплавів цинк-нікель.

Сплав цинк-нікель може існувати в покриттях у вигляді кількох фаз:

1)  $\eta$ -фаза (твердий розчин Ni у Zn, що містить до 1 мас. % Ni),

2)  $\delta$ -фаза (інтерметалід Ni<sub>3</sub>Zn<sub>22</sub>),

3)  $\gamma$ -фаза (інтерметалід Ni<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub>),

4)  $\beta$ -фаза (інтерметалід NiZn)

5)  $\alpha$ -фаза (твердий розчин Zn у Ni) [1].

Вважається, що найбільшу високу корозійну стійкість має  $\gamma$ -фаза [2]. Для заміни покриттів кадмієм рекомендуються сплави із вмістом нікелю 10–15 мас. % нікелю [3]. Інші автори вважають, що більш корозійно стійкі покриття з вмістом нікелю до 22% [4]. Для прогнозування захисних властивостей покриттів сплавами Zn-Ni необхідний аналіз зв'язку умов їх осаждення в різних електролітах із комплексом фізико-хімічних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування мультишарових покриттів дає змогу суттєво підвищити функціональні та захисні властивості покриттів у порівнянні зі сплавами [5–6]. Низкою авторів запропоновані способи осаждення мультишарових цинк-нікелевих покриттів із сульфатних електролітів [8–11]. Ними виявлено зниження струму корозії мультишарових покриттів порівняно з покриттями сплавами, з яких складаються ці мультишарові покриття. При

використанні комплексних електролітів можливе ще більш значне підвищення корозійної та механічної стійкості покриттів. Однак для управління властивостями мультишарових цинк-нікелевих покриттів ще мало експериментальних даних.

**Постановка завдання.** Метою досліджень було визначення залежності корозійної стійкості і мікротвердості мультишарових покриттів від умов їх формування в електроліті на основі пірофосфату.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**  
*Методика.* Поляризаційні залежності та хронопотенціограми формування мультишарових покриттів одержані з використанням потенціостату Elins P-45X у триелектродній комірці. Електрод порівняння – насичений хлорид-срібний, з'єднаний із робочим електролітом за допомогою сольового містка. Всі потенціали наведені щодо цього електроду порівняння.

Циклічні поляризаційні залежності знімали зі швидкістю 10 мВ/с на нікелі (1 см<sup>2</sup>).

Мультишарові покриття формували на сталі Ст3 (4,5 см<sup>2</sup>), поверхню яких зачищали карбідсіліконовим папером почергово 500, 1500, 2000 grit, знежирювали в розчині Лабоміду, активували у HCl та промивали.

Склад електролітів для нанесення мультишарових покриттів: Ni<sup>2+</sup> – 0,15 М; Zn<sup>2+</sup> – 0,15 М; P<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>4-</sup> – 0,62; Cit<sup>3-</sup> – 0,15 М (електроліт E1); Ni<sup>2+</sup> – 0,10 М; Zn<sup>2+</sup> – 0,20 М; P<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>4-</sup> – 0,62; Cit<sup>3-</sup> – 0,15 М (електроліт E2). Значення рН електролітів контролювали рН-метром СТ-6020А.

Мікротвердість покриттів визначали за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3. Елементний склад покриттів визначали рентгенофлуоресцентним методом за допомогою спектрометру СПРУТ. Корозійну стійкість досліджували в розчині 3,5% NaCl. Потенціал корозії визначали після витримки в цьому розчині протягом 15 хв.

*Результати досліджень.* Для оцінки швидкості катодних і анодних процесів у досліджених електролітах отримували циклічні поляризаційні залежності (ЦВА) (рис. 1 та 2). Розгортку потенціалу починали від стаціонарного потенціалу в катодному напрямі, потім, після досягнення густини струму 100 мА/см<sup>2</sup>, – в анодному напрямі до потенціалів початку розчинення нікелю. В електроліті E1 осадження металів починається при потенціалі –1,0 В, сумісно з виділенням водню. Катодна гілка ЦВА не має перегинів, що може свідчити як про однаковий механізм розряду сплаву у широкому діапазоні потенціалів, так і про високу швидкість виділення водню. Катодна

гілка зворотного руху розташовується нижче за гілку прямого руху, що дає змогу припустити осадження при високих густинах струму компактного покриття. Анодна гілка ЦВА свідчить про відсутність у покритті вільного цинку, оскільки він розчиняється при більш негативних потенціалах, і про розчинення цинку з  $\gamma$ -фази сплаву у першому анодному піку, в діапазоні потенціалів від –1,1 В до –0,5В, і збагаченого за нікелем осаду, який залишився на електроді після розчинення цинку [12]. Після потенціалу +0,3 В починає розчинятися нікель електроду.

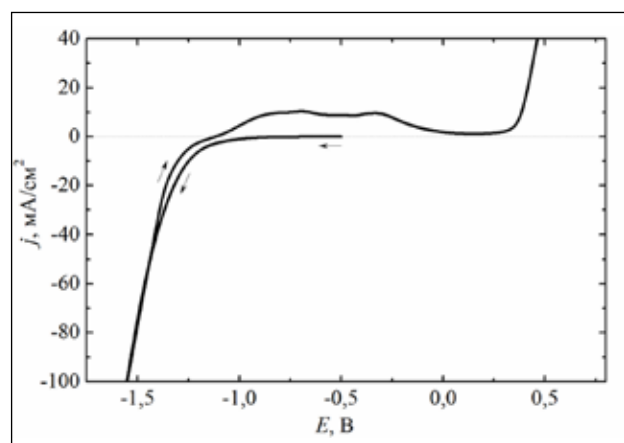


Рис. 1. Циклічна поляризаційна залежність на нікелі в електроліті E1

На катодній гілці ЦВА (рис. 2) в електроліті, що збагачений за цинком (E2), з'являється хвиля з граничним струмом 20 мА/см<sup>2</sup>. У присутності більшої кількості іонів цинку в електроліті співосадження металів починається при більш негативних потенціалах, ніж на ЦВА (рис. 1), що узгоджується з даними інших авторів про інгібуючу дію цинку щодо розряду нікелю. Більший вміст цинку в осаді, який формується на поверхні, призводить до збільшення утруднень виділення водню після граничного струму, оскільки перенапряга виділення водню на цинку нижче за перенапряга виділення водню на нікелі.

На зворотній катодній гілці ЦВА немає хвилі з граничним струмом, вона ближче за формою до зворотної гілки на рис. 1. Деполяризація процесу при високих густинах струму може бути спричинена як розвиненням поверхні, що сформовано в умовах після граничного струму, так й збільшенням в осаді вмісту нікелю з відповідною деполяризацією виділення водню. Анодна гілка також починається в області потенціалів розчинення цинку з  $\gamma$ -фази сплаву. На відміну від ЦВА на рис. 1, осад, отриманий за катодний період, не встиг при цій швидкості (10 мВ/с) розчинитися

до початку розчинення нікелю основи. Більша, ніж на рис. 1, площа під анодною гілкою ЦВА свідчить про більш високий вихід за струмом електроосадження покриттів у цьому електроліті, який є тому більш продуктивним.

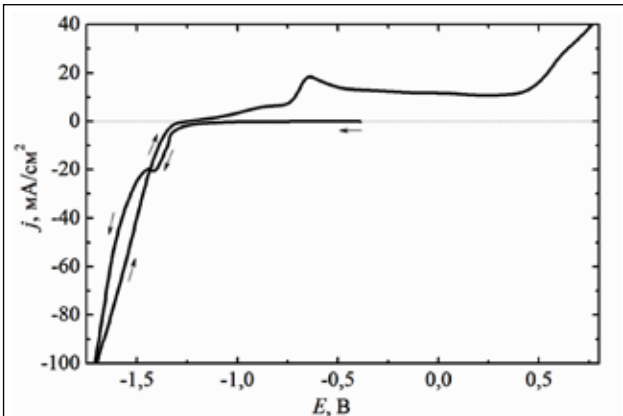


Рис. 2. Циклічна поляризаційна залежність на нікелі в електроліті E2

Мультишарові покриття формували в гальваностатичному двоімпульсному режимі. Кількість електрики під час осадження кожного шару усіх зразків була однаковою. З огляду на різницю у виході за струмом під час осадження різних

покриттів, товщина шарів, складників мультишарових покриттів, знаходилася в діапазоні 30–60 нм. Сумарна товщина мультишарових покриттів становила не менш ніж 10 мкм. Основні шари осаджували при густині струму нижче граничної, інші шари, додаткові – при густині струму вище граничної, при цьому кількість електрики у процесі осадження основного та додаткового шарів була рівною. Основні шари мультишарових покриттів МП1 і МП2, які отримували в електроліті E1, мали склад, близький до складу  $\gamma$ -фази, додаткові містили надлишок нікелю. Для порівняння одержали покриття МП3 в електроліті E2, в якому покриття, крім  $\gamma$ -фази, мали надлишок цинку.

На рис. 3 наведено хронопотенціограму формування мультишарового покриття МП3. Діапазон потенціалів осадження шарів охоплює майже всю зону потенціалів ЦВА в цьому електроліті (див. рис. 2). На початку формування мультишарового покриття (рис. 3а) значення потенціалу осадження шарів дещо змінюються, що пов'язано з перекриванням поверхні сталі. У подальшому потенціали осадження основного та додаткового шарів стабілізуються.

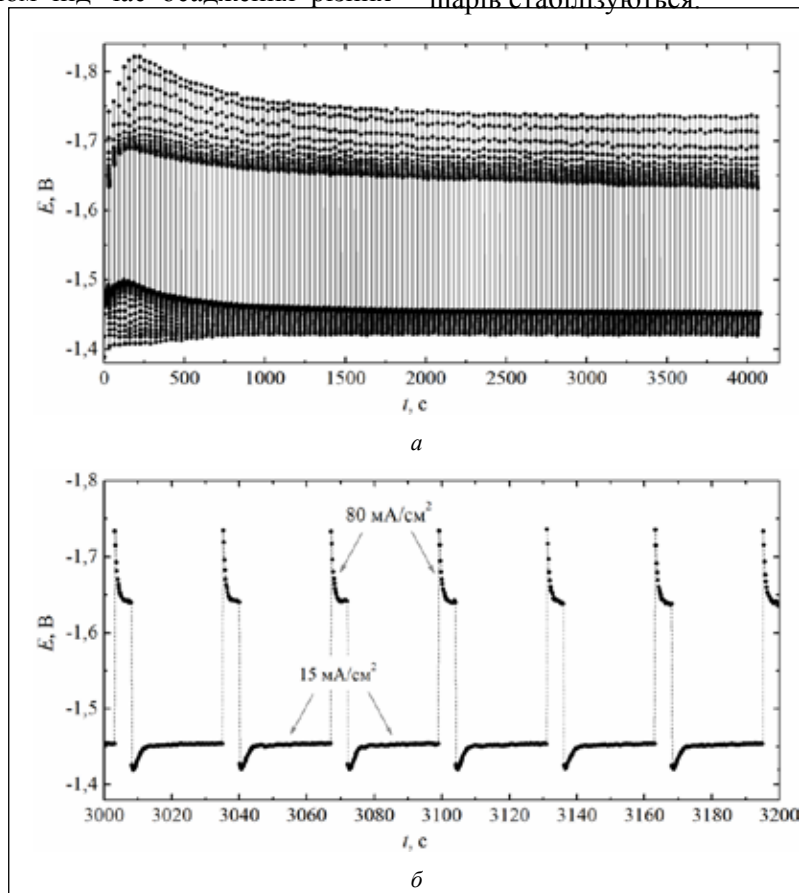


Рис. 3. Хронопотенціограма формування мультишарового покриття МП3

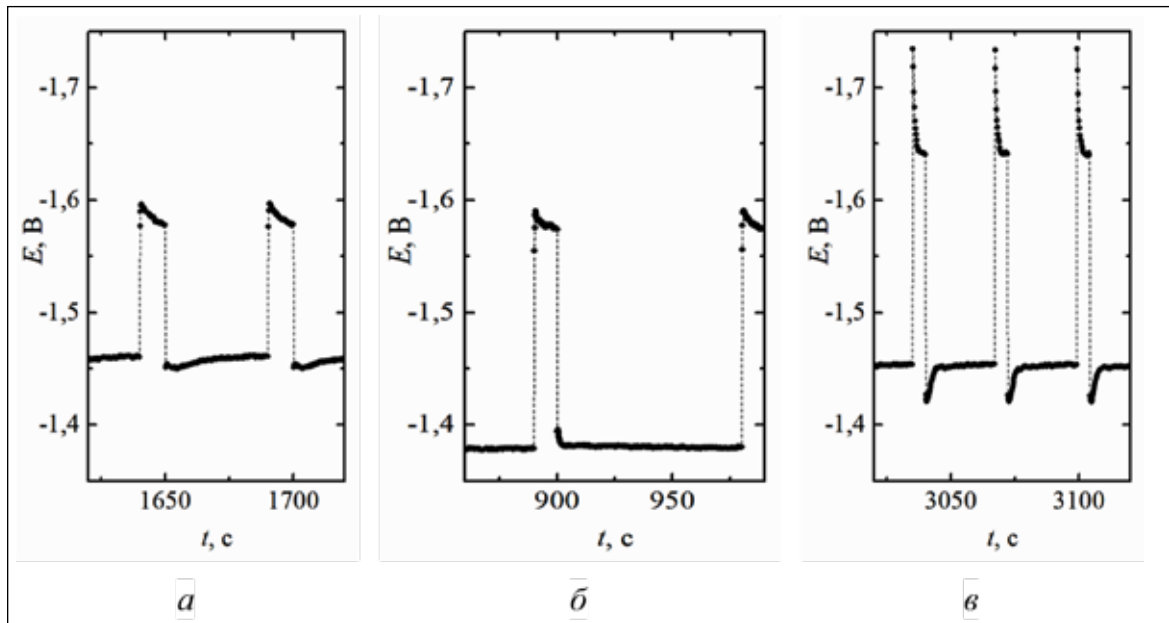


Рис. 4. Частини хронопотенціограм формування мультишарових покриттів МП1 (а), МП2 (б), МП3 (в)

Після виходу на стабільний режим потенціал осадження основного шару (рис. 3б) щоразу виходить на постійне значення протягом 4 с (лише 15% часу осадження цього шару), додаткового шару – за 2 с (40% часу осадження шару).

На рис. 4 порівняно частини хронопотенціограм осадження мультишарових покриттів. На відміну від покриття МП3 (рис. 4в), в електроліті ЕІ шари осаджуються в умовах коливань струму в меншому діапазоні потенціалів (рис. 4а, 4б), що, можливо, відображає більш чітке розмежування шарів.

Значення мікротвердості покриттів та потенціалу корозії наведено у табл. 1. Вони є вищими порівняно з одношаровими покриттями сплавом цинк-нікель аналогічного елементного складу [13]. Мікротвердість покриттів вище у разі більшого вмісту в них нікелю. Потенціал корозії в розчині NaCl (3,5%) зміщується в електропозитивну сторону в разі збільшення вмісту нікелю в покритті, при цьому він залишається більш негативним порівняно із потенціалом сталі в цьому розчині (-0,61 В).

Таблиця 1

**Характеристика мультишарових покриттів**

Зразок	Вміст Ni у покритті, %	Мікротвердість, HV	Потенціал корозії, мВ
МП1	22,6	518	-715
МП2	19,7	403	-824
МП3	9,8	220	-960

Більш збагачене за цинком покриття МП3 розчиняється (рис. 5, кр. 1) з високою швидкістю аж до потенціалу розчинення сталі у хлориді натрію, що передбачає активний захист сталевій поверхні. Але ця швидкість значно менша не тільки порівняно з цинковим покриттям, але й порівняно з одношаровими покриттями сплавом Zn-Ni тієї самої товщини та того самого елементного складу.

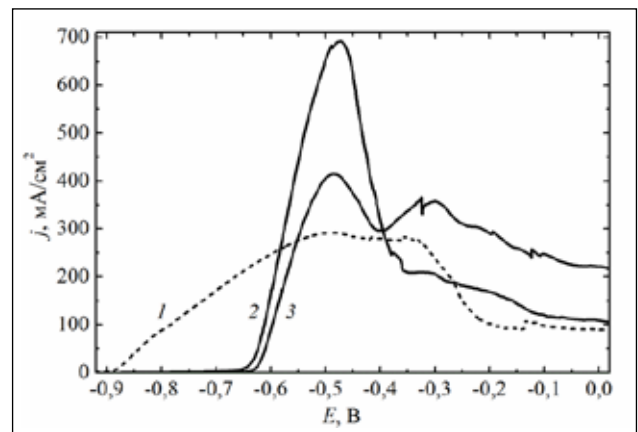


Рис. 5. Анодні поляризаційні залежності розчинення мультишарових покриттів МП3 (1), МП2 (2) та МП1 (3) у розчині 3,5% NaCl

Покриття МП1 та МП2, більш збагачені нікелем, будуть значно довше захищати сталеву поверхню в умовах низької швидкості свого розчинення до досягнення потенціалу розчинення сталі (кр. 2 та 3). Надлишок нікелю в покритті МП1 порівняно з покриттям МП2 сприяє меншій



швидкості розчинення покриття та збільшенню терміну експлуатації виробів із цим покриттям.

**Висновки.** З електроліту на основі пірофосфату осаджуються мультишарові покриття, що складаються з шарів сплавів цинк-нікель завтовшки 30–60 нм. Збільшення співвідношення концен-

трацій іонів металів в електроліті на користь іонів нікелю дає змогу осаджувати мультишарові цинк-нікелеві покриття, більш збагачені нікелем. Мультишарові покриття, що мають надлишок нікелю щодо  $\gamma$ -фази сплаву, мають найвищу механічну та корозійну стійкість.

#### Список літератури:

1. Conrad H., Corbett J., Golden T. D. Electrochemical deposition of  $\gamma$ -phase zinc-nickel alloys from alkaline solution. *ECS Transactions*. 2011. Vol. 33(30). P. 85–95.
2. Lotfi N., Aliofkhaezai M., Rahmani H., Darband G.B. Zinc–Nickel Alloy Electrodeposition: Characterization, Properties, Multilayers and Composites. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2018. Vol. 54(6). P. 1102–1140.
3. Feng Z., An M., Ren L., Zhang J., Yang P., Chen Z. (2016). Corrosion mechanism of nanocrystalline Zn–Ni alloys obtained from a new DMH-based bath as a replacement for Zn and Cd coatings. *RSC Advances*. Vol. 6(69). P. 64726–64740.
4. El Hajjami A., Gigandet M.P., De Petris-Wery M., Catonne J.C., Duprat J.J., Thiery L., Raulin F., Pommier N., Starck B., Remy P. Characterization of thin Zn-Ni alloy coatings Electrodeposited on low carbon steel. *Applied Surface Science*. 2007. Vol. 254(2). P. 480–489.
5. Спосіб електроосадження мультишарового цинк-нікелевого покриття: пат. 127761 Україна: МПК (МПК8) C25D3/56, 5/10, 5/18; заявл. 09.02.2018; опубл. 27.08.2018, Бюл. № 16.
6. Maizelis A., Bairachniy B. Multilayer nickel-copper metal hydroxide coating as cathode material for hydrogen evolution reaction. *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings*. A.D. Pogrebnjak, V. Novosad. Singapore, 2018. P. 97–107.
7. Майзеліс А.А., Байрачний Б.И., Трубникова Л.В., Иващенко В.Н., Сорочинский В.М. Равномерность мультислойных Cu/(Ni-Cu) покрытий по толщине. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. Т. 4/5 (58). С. 21–24.
8. Bahadormanesh B., Ghorbani M. Ni-P/Zn-Ni compositionally modulated multilayer coatings – part 1: Electrodeposition and growth mechanism, composition, morphology, roughness and structure. *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 442. P. 275–287.
9. Bahadormanesh B., Ghorbani M., Kordkolaei N.L. Electrodeposition of nanocrystalline Zn/Ni multilayer coatings from single bath: Influences of deposition current densities and number of layers on characteristics of deposits. *Applied Surface Science*. 2017. Vol. 404. P. 101–109.
10. Rashmi S., Elias L., Hegde A.C. Multilayered Zn-Ni alloy coatings for better corrosion protection of mild steel. *Engineering science and technology, an international journal*. 2017. Vol. 20(3). P. 1227–1232.
11. Bahadormanesh B., Ghorbani M. Electrodeposition of Zn–Ni–P compositionally modulated multilayer coatings: An attempt to deposit Ni–P and Zn–Ni alloys from a single bath. *Electrochemistry Communications*. 2017. Vol. 81. P. 93–96.
12. Maizelis A., Bairachny B. Voltammetric analysis of phase composition of Zn-Ni alloy thin films electrodeposited from weak alkaline polyligand electrolyte. *Journal of nano- and electronic physics*. 2017. Vol. 9. No. 5. P. 05010.
13. Ghaziof S., Gao W. Electrodeposition of single gamma phased Zn-Ni alloy coatings from additive-free acidic bath. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 311. P. 635–642.

#### Maizelis A.O. INFLUENCE OF CONDITIONS OF $(\text{Zn-Ni})_1/(\text{Zn-Ni})_2$ MULTILAYER COATINGS FORMATION ON THEIR MECHANICAL AND CORROSION RESISTANCE

Zinc-nickel coatings are used to protect steel parts from corrosion. Since the properties of such coatings essentially depend on the formation conditions, the studies to identify the nature of this relation are needed. This study is devoted to the electrodeposition of modern type of coatings – a multilayer coating consisting of layers of zinc-nickel alloys of various composition and thicknesses of 30-60 nm. Zinc-nickel multilayer coatings were obtained in pyrophosphate-based electrolyte using two-pulse galvanostatic method. The studies were conducted using Elins P-45X potentiostat in a three-electrode cell. The methods of cyclic voltammetry and chrono-potentiometry were used. Corrosive resistance of the coatings was determined by polarization method. X-ray fluorescence analysis of the elemental composition of samples was carried out using spectrometer SPRUT. Microhardness of the coatings was determined by the method of compression of the diamond pyramid using microhardness measurement instrument PMT-3. It is shown that fine crystalline and glossy multilayer coatings

*with a higher corrosion and mechanical resistance than single-layer coatings by zinc-nickel alloys of the same total thickness and chemical composition are deposited from the pyrophosphate-based electrolyte. An increase in the ratio of metal ion concentrations in the electrolyte in favor of nickel ions allows electrodeposition of multilayer coatings by Zn-Ni alloys being enriched in Ni. Microhardness of multilayer zinc-nickel coatings containing nickel from 9.84 to 22.75 wt. % is in the range of 220-518 HV, their corrosion potential is from  $-0.96\text{ V}$  to  $-0.715\text{ V}$ . Multilayer coatings with an excess of nickel in comparison with  $\gamma$ -phase of the alloy show the highest mechanical and corrosion resistance. The coating protects steel substrate electrochemically, but the dissolution rate is much lower than that of zinc leading to increases in the life of the steel parts.*

**Key words:** zinc-nickel, multilayer coating, corrosion resistance, microhardness, pyrophosphate electrolyte.



УДК 54.062:661.185

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/11>**Пилипенко Т.М.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Єфімова В.Г.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Денисюк І.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
КОСМЕТИЧНИХ РІДИН ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ**

*Шкірі обличчя приділяється набагато більше уваги, ніж будь-якій іншій частині тіла. По-перше, для того щоб обличчя було привабливим, воно має виглядати доглянутим і квітучим. По-друге, шкіра обличчя потребує особливого догляду, адже постійно піддається впливу сонця, вітру, а це її сушить. Нестачу вологи необхідно заповнювати за допомогою зволожуючих та інших косметичних продуктів, які підходять для певного типу шкіри.*

*Шкіра зневоднюється, коли її мийть водою з косметичним милом. Краще користуватися лосьйонами, очищуючими кремами, тоніками. Перевага цих косметичних продуктів полягає в тому, що до їх складу входять речовини, які розчиняють жири, пігменти, парафін. Є велика кількість засобів, які очищують, різних за складом і впливом на шкіру.*

*У статті проведено аналіз композиційних складників косметичних рідин, тоніків для шкіри обличчя, які мають спільне призначення і, згідно з рекламою та етикеткою пакування, справляють однакову дію на шкіру. Досліджено косметичні рідини різних виробників, представлених на споживчому ринку України: «Тонік Зволожуючий. Біокон. Натуральний догляд», Україна – КТ-1; «Антибактеріальний тонік. Dr. Sante. Догляд за обличчям», Україна – КТ-2; «Зволожуючий тонік для обличчя вітамін Е. The Body Shop» – КТ-3, Франція; «Clarifying Facial Toner. THE RITUAL OF NAMASTÉ» – КТ-4, Королівство Нідерланди.*

*За композиційними складниками в досліджених косметичних тоніках виявлено не дуже корисні компоненти, які небезпечні для людей із чутливою шкірою та алергіків. Показано, що за композиційними складниками вітчизняні косметичні рідини не поступаються засобам закордонного виробництва.*

*Для досліджених косметичних тоніків визначено основні фізико-хімічні показники, що характеризують їхню якість та безпечність використання: об'ємний вміст етилового спирту, водневий показник рН, колоїдна стабільність та термостабільність. Ці показники за ДСТУ 4093-2002 порівняно з нормованими значеннями.*

*Встановлено, що фізико-хімічні показники досліджених косметичних тоніків для обличчя перебувають у межах допустимої норми.*

**Ключові слова:** фізико-хімічні показники, косметичні рідини, тоніки для шкіри обличчя, об'ємний вміст етилового спирту, рН-середовище, колоїдна стабільність, термостабільність, нормовані значення.

**Постановка проблеми.** На споживчому ринку України представлено широкий асортимент косметичних рідин по догляду за обличчям. Аналіз композиційних складників та визначення основних фізико-хімічних показників таких косметичних продуктів є важливим етапом у процесі загальної оцінки їхньої якості та безпечності використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Оцінку якості та безпечності використання вітчизняних косметичних рідин для обличчя та таких, що імпортуються в Україну, проводять за різними показниками [1; 2]. Особлива увага при цьому приділяється хімічним, мікробіологічним, токсикологічним та клінічним дослідженням. Оцінюють якість та безпечність використання

косметичних продуктів різного призначення [3–8].

**Постановка завдання.** З огляду на широкий асортимент косметичних рідин для обличчя як вітчизняного, так і закордонного виробництва, представлених на споживчому ринку України, аналіз та визначення композиційних складників, фізико-хімічних показників таких засобів є необхідним завданням у процесі оцінювання та порівняння якості й безпечності їх використання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження косметичних рідин для обличчя було відібрано тоніки різних виробників, представлених на споживчому ринку України: «Тонік Зволожуючий. Біокон. Натуральний догляд», Україна – КТ-1; «Антибактеріальний тонік. Dr. Sante. Догляд за обличчям», Україна – КТ-2; «Зволожуючий тонік для обличчя вітамін Е. The Body Shop» – КТ-3, Франція; «Clarifying Facial Toner. THE RITUAL OF NAMASTÉ» – КТ-4, Королівство Нідерланди.

Визначення фізико-хімічних показників досліджуваних косметичних продуктів проводили відповідно до стандартизованих методик [1; 2].

Повний склад досліджених косметичних рідин та властивості їх компонентів наведено нижче.

**Засіб КТ-1** з екстрактами граната, бамбука, алое, як зазначено на пакуванні виробника «натуральний догляд»:

вода, сорбітол, ПЕГ-7 гліцерил кокоат, ПЕГ-40 гідрогенізована касторова олія, пантенол, бетаїн, молочна кислота, екстракти граната, бамбука, алое, цетеарет-20, метилпарабен, бензиловий спирт, парфумерна композиція.

Вода виконує роль розчинника для активних компонентів косметичної продукції, дає змогу знизити агресивність і токсичність деяких її складників.

Сорбітол – активний зволожувач, загущувач, в'язка речовина. У поєднанні з іншими зволожуючими компонентами у складі косметичного засобу зволожуюча властивість сорбітолу посилюється.

ПЕГ-7 гліцерил кокоат – синтетичний полімер на основі ПЕГ (поліетиленгліколю) і жирних кислот, отриманих із кокосового масла. Неіонна поверхнево-активна речовина (далі – ПАР) в суміші з аніонними ПАР зменшує роздратування шкіри.

ПЕГ-40 – гідрогенізована касторова олія. Пом'якшує шкіру, відновлює природний рівень зволоженості. Цінний компонент для косметичних продуктів.

Бетаїн – триметилгліцин, зменшує подразнення шкіри, пом'якшує і розгладжує її. У поєднанні з фруктовими кислотами і ПАР знижує їх подразнюючу дію на шкіру.

Молочна кислота – інгредієнт, вплив якого на шкіру дуже різноманітний. Входить до складу косметичних засобів, які підходять для різних типів шкіри. Характеризується широким спектром дії.

Цетеарет-20 – ПАР, яка руйнує частки жиру або бруду, сприяє їх легкому видаленню з поверхні шкіри. Добре поєднується з іншими аніонними та катіонними ПАР.

Метилпарабен – метиловий ефір пара-гідроксибензойної кислоти. Консервант запобігає розмноженню та утворенню мікроорганізмів, дає змогу подовжити термін зберігання косметичного продукту. Є небезпечним для алергіків та людей із чутливою шкірою [8]. Компонент наявний у косметичному продукті, який характеризується як «натуральний догляд».

#### **Засіб КТ-2:**

Aqua, Mentha Piperita Leaf Extract, Boric Acid, Cucumis Sativus Fruit Extract, Glycerin, PEG-40 Hydrogenated Castor Oil, Sodium PCA, Allantoin, Parfum, Benzyl Alcohol, Methylchloroisothiazolinone, Methylisothiazolinone.

Mentha Piperita Leaf Extract. Олія м'яти є найлегшою з усіх ефірних масел, що містять ментол. Підходить для будь-якого типу шкіри. Покращує колір шкіри, зменшує її старіння. Сприяє регуляції роботи сальних залоз, збереженню вологи в шкірі, позитивно впливає на захисні властивості шкіри.

Boric Acid. Борна кислота має протизапальну, дезінфікуючу (антимікробну і протигрибкову) дію. Працює як регулятор кислотно-лужного балансу, запобігає появі недостатньої кислотності на поверхні шкіри, підвищує тонус шкіри, дещо відбілює її, скорочує розширені пори, а в деяких випадках звужує поверхневі судини. У косметичних композиціях виступає як зволожувач, допоміжний компонент для кондиціонування шкіри.

Cucumis Sativus Fruit Extract. Огіркова вода сприяє відновленню шкіри, освіжає її, покращує водно-ліпідний обмін. Характеризується легким відбілюючим ефектом, підвищує тонус шкіри. Цей гідролат підходить для догляду за всіма типами шкіри:

– для зрілої – сприяє підвищенню еластичності, скороченню дрібних зморшок, поліпшенню мікроциркуляції;

– для сухої і чутливої – має протизапальну, заспокійливу дію, допомагає впоратися з лущенням і почервонінням;

– для жирної та комбінованої – робить шкіру матовою, звужує пори, усуває акне і сліди від нього, вирівнює тон шкіри;

– для шкіри навколо очей – компреси з огіркової води усувають набряки і темні кола, тонізують шкіру, розгладжують дрібні зморшки.

Glycerin – ефективний зволожуючий, пом'якшувач компонент. Чинить охолоджуючу дію на шкіру. Допомогає відновленню та оновленню клітин шкіри.

Sodium PCA присутній у натуральному зволожуючому вигляді. Підтримує оптимальний рівень зволоження в роговому шарі шкіри. Швидко піддається біологічному розкладанню [8].

Benzyl alcohol – ароматичний спирт, використовується як консервант, антибактеріальна складова частина. Не є цілком безпечною речовиною для алергіків та людей із чутливою шкірою [8]. Часто виконує роль ароматичної добавки.

Methylchloroisothiazolinone, Methylisothiazolinone. Метилізотіазолінон у косметичних продуктах, особливо в поєднанні з подібним консервантом метилхлорізотіазоліноном, виявляє активність до широкого спектра мікроорганізмів і тим самим значно подовжує термін придатності косметики. Це поєднання консервантів (запатентована формула Kathon CG) використовується в багатьох косметичних продуктах як альтернатива парабенам.

#### **Засіб KT-3:**

Aqua (Water) (Solvent/Diluent), Glycerin (Humectant), PPG-26-Buteth-26 (Emulsifier), PEG-40 Hydrogenated Castor Oil (Emulsifier), Phenoxyethanol (Preservative), Polysorbate 20 (Emulsifier), Diglycerin (Humectant), Tocopheryl Acetate (Antioxidant), Potassium Sorbate (Preservative), Carbomer (Stabiliser/Viscosity Modifier), Xanthan Gum (Viscosity Modifier), Parfum (Fragrance), Disodium EDTA (Chelating Agent), Triticum vulgare (Wheat Germ Oil) (Emollient), Citric Acid (pH Adjuster), Sodium Hydroxide (pH Adjuster), Citronellol (Fragrance Ingredient), Alpha-Isomethyl Ionone (Fragrance Ingredient), Linalool (Fragrance Ingredient).

PPG-26-Buteth-26. PPG – поліпропіленгліколь, який використовується в поєднанні з ефіром жирного спирту, відомого як бутиловий спирт. У косметичних продуктах має багатофункціональні властивості. Виконує роль очищуючого компонента.

Phenoxyethanol. Феноксietанол – масляниста, злегка в'язка безбарвна рідина. Бактерицидний компонент, використовується в багатьох косметичних продуктах як консервант.

Polysorbate 20. Полісорбат – компонент, який у косметичних системах посилює розчинність важкорозчинних сполук.

Diglycerin. Дигліцерин широко використовується як зволожуючий компонент.

Tocopheryl Acetate. Ацетат токоферолу відомий як вітамінна добавка. Це складний ефір оцтової кислоти і токоферолу (вітамін Е). Виявляє антиоксидантні властивості.

Carbomer. Карбомер є синтетичним довголанцюжковим полімером із пономерною ланкою, що складається з акрилової кислоти. Використовують як дешевий структуроутворювач, загущувач. Надає косметичним системам необхідну в'язкість, не токсичний [8].

Xanthan Gum – порошок із сіруватим відтінком без аромату і смаку. Речовина є полісахаридом, який широко використовують у виробництві косметики. Запобігає деяким частинкам косметичної суміші підніматися у верхні шари або випадати в осад. Посилює корисні властивості косметичних систем.

Disodium EDTA. Етилендіамінтетраоцтова кислота використовується для пом'якшення шкіри. Посилює дію консервантів, збільшуючи термін зберігання косметичних продуктів.

#### **Засіб KT-4:**

Aqua/Water, Aloe Barbadosensis Leaf Juice, Rosa Damascena Flower Water, Glycerin, Phragmites Kharka Extract, Poria Cocos Extract, Nelumbo Nucifera Flower Extract, Alpha-Glucan Oligosaccharide, Polyglyceryl-10 Laurate, Tocopherol, Citric Acid, Sodium Citrate, Sodium Hydroxide, Potassium Sorbate, Benzoic Acid, Dehydroacetic Acid, Sodium Benzoate, Benzyl Alcohol, Citronellol.

Alpha-Glucan Oligosaccharide. Призначення цього компоненту – підтримка балансу мікрофлори шкіри, знищення шкідливих бактерій, покращення її захисних властивостей та запобігання передчасному старінню. Знижує чутливість шкіри, заспокоює її. Не має шкідливого впливу [8].

Polyglyceryl-10 Laurate. Натуральний солюбілізатор добре розчиняє у воді ефірні та базові масла, квіткові воски та жиророзчинні вітаміни. Застосовується в багатьох косметичних рецептах завдяки своєму натуральному походженню та простоті використання. Дає змогу отримати прозорі косметичні системи.

Sodium Citrate. Натрій цитрат – біла кристалічна речовина без запаху. У косметичці використовується як ПАР і буферний компонент. Зареєстрований як консервант, відсоток його введення – 0,5%

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники косметичних рідин**

Показник / Нормоване значення [2]	КТ-1	КТ-2	КТ-3	КТ-4
φ, % / 0–8%	0	0	0	0
pH / 3,0–8,5	7,0	7,5	7,0	7,2
Колоїдна стабільність / Стабільна (+)	+	+	+	+
Термостабільність / Стабільна (+)	+	+	+	+

від маси косметичного продукту. Для посилення консервуючих властивостей рекомендується використовувати разом із натрій бензоатом.

Dehydroacetic acid – консервант із сенсibiliзуючим потенціалом. Характеризується слабкими кислотними властивостями, тому використовується як антибактеріальний та фунгіцидний компонент у косметичних продуктах. Не викликає роздратування або алергії під час нанесення на шкіру [8].

Sodium Benzoate. Натрій бензоат – один із найсильніших консервантів, запобігає появі цвілевих грибів, дріжджів, уповільнює окиснювальні реакції, а також пригнічує діяльність ферментів, що руйнують жири і крохмаль. Максимальна доза цього компоненту становить 0,5%. Безпечний для людини як косметичний компонент, але в деяких випадках виникає його індивідуальна несприйнятливості [8].

Citronellol – безбарвна в'язка рідина з запахом троянди. Використовують як складник косметичних композицій для створення свіжого і одночасно теплого квіткового тону, що нагадує запах зрізаної шкірки зеленого яблука з легкими цитрусовими нотами. Запах відмінно поєднується з трояндою, бергамотом та лавандою.

Таким чином, розглянуто композиційний склад чотирьох продуктів по догляду за шкірою обличчя та описано властивості їхніх компонентів, враховуючи функціональне косметичне призначення.

Для прекрасної половини людства тонік для обличчя – важливий помічник для догляду за шкірою. Він допомагає не тільки очистити шкіру, може її освіжити, нормалізувати і зміцнити. Склад таких косметичних рідин є різним, він зазвичай

залежить від їх призначення. Деякі тоніки тільки очищають шкіру, а деякі ще й зволожують її та проявляють інші властивості.

Кожен із досліджених косметичних засобів є безпечним для використання за винятком особистої несприйнятливості компонентів. Так, наприклад, метилпарабен, бензиловий спирт, натрій бензоат можуть викликати алергічні реакції та небезпечні для людей із чутливою шкірою. У загальному випадку за композиційним складом досліджені косметичні продукти є придатними до використання, адже не містять канцерогенних, шкідливих для шкіри людини компонентів.

Результати експериментальних досліджень із визначення основних фізико-хімічних показників досліджених косметичних рідин – об'ємного вмісту етилового спирту (φ), водневого показника (рН-середовища), колоїдної стабільності та термостабільності – зведено в таблицю 1.

Усі досліджені косметичні рідини мають хороші фізико-хімічні показники (табл. 1), що відповідають нормованим значенням [2].

Колоїдна стабільність косметичних рідин підтверджена електрокінетичними дослідженнями за визначенням електрокінетичного або дзета-потенціалу (ζ) [3; 7]. ζ-потенціал є визначальною характеристикою колоїдних систем. Для досліджених косметичних рідин він змінюється в діапазоні 50–56 мВ. Мінімальне значення електрокінетичного потенціалу, при якому колоїдна система вважається стійкою, – 30 мВ [3]. Таким чином, за значеннями визначальної характеристики колоїдних систем досліджені косметичні рідини – стабільні.

**Висновки.** Встановлено, що за основними фізико-хімічними показниками косметичні рідини по догляду за обличчям як вітчизняного, так і закордонного виробництва, представлені на споживчому ринку України, відповідають нормованим державним стандартом значенням.

За аналізом композиційних складників досліджених косметичних продуктів у них виявлено не дуже корисні компоненти (метилпарабен, бензиловий спирт, натрій бензоат), небезпечні для алергіків та людей із чутливою шкірою.

Показано, що за композиційними складниками вітчизняні косметичні рідини не поступаються засобам закордонного виробництва.

**Список літератури:**

1. ДСТУ 5008:2008. Рідини парфумерно-косметичні. Загальні технічні умови. Київ, 2009. Держспоживстандарт України. 4 с.
2. ДСТУ 4093-2002. Лосьйони та тоніки косметичні. Загальні технічні умови. Київ, 2002. Держспоживстандарт України. 7 с.

3. Пилипенко Т., Рябчун Ю., Єфімова В. Дослідження якості косметичних кремів для рук. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4 (10). С. 210–216.
4. Пилипенко Т., Чигиринець О., Воробйова В., Єфімова В. Дослідження фізико-хімічних показників якості піномийних косметичних засобів. *Технічні науки та технології*. 2016. № 1 (3). С. 222–228.
5. Прокопенко В.П., Кіркова М.С. Дослідження хімічного складу косметичних засобів. *Імідж сучасного педагога*. 2013. № 6. С. 35–36.
6. Вишнікіна О.В., Лихолат О.А. Хімічна експертиза якості косметичних засобів, що імпортуються в Україну. *Вісник Академії митної служби України. Серія: Технічні науки*. 2009. № 1. С. 55–62.
7. Єфімова В., Пилипенко Т., Нікора О., Невпряга П. Розробка рецептури емульсійного косметичного продукту на основі колоїдних закономірностей. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1 (11). С. 178–187.
8. Суворов А.В. Справочник по клинической токсикологии. Нижний Новгород : Изд-во НГМА, 1996. 180 с.

### **Pylypenko T.M., Yefimova V.G., Denysiuk I.V. RESEARCH PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COSMETIC LIQUIDS FOR FACE**

*The skin of the face is given much more attention than any other part of the body. Firstly, in order for the face to be attractive, it should look well-groomed and blooming. Secondly, the skin of the face requires special care, as it is constantly exposed to the sun, the wind, which, for their part, dry it. Lack of moisture should be replenished with moisturizing and other cosmetic products that are appropriate for a specific type of skin.*

*The skin is dehydrated when it is washed using water and cosmetic soap. It is better to use lotions, cleansing creams, and tonics. The advantage of these cosmetic products is that they contain substances that dissolve fats, pigments, paraffin. There is a large number of cleaning agents, which differ in composition and the effect on the skin.*

*The article analyzes compositional components of cosmetic liquids and facial tonics that have a common purpose and, following the advertisement and the label, act on the skin in the same way. The cosmetic fluids of different manufacturers, represented on the Ukrainian consumer market, were studied: “Moisturizing Tonic. Biocon. Natural Care”, Ukraine – CT-1; “Antibacterial tonic. Dr. Sante. Facial Care”, Ukraine – CT-2; “Moisturizing facial tonic with vitamin E. The Body Shop” – CT-3, France; “Clarifying Facial Toner. THE RITUAL OF NAMASTÉ” – CT-4, Kingdom of the Netherlands.*

*The study of the composition of chosen cosmetic tonic revealed the presence of not very useful components that are dangerous for people with sensitive skin and allergies. It is shown that domestic cosmetic liquids are inferior to foreign production.*

*Basic physical-chemical parameters that characterize the quality and safety of cosmetic tonics were determined including volume content of ethyl alcohol, pH, colloidal stability and thermostability. The data was compared to normalized values in accordance with State Standards of Ukraine DSTU (Derzhavni Standarty Ukrainy) 4093-2002.*

*It is established that physical-chemical parameters of cosmetic tonics for the face care are in the normal range.*

**Key words:** *physical-chemical parameters, cosmetic liquids, facial tonics, volume content of ethyl alcohol, pH of the product, colloidal stability, thermostability, normalized values.*

**Товажнянський Л.Л.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Лобойко В.О.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Кобзєв О.В.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Сінческул О.Л.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO<sub>2</sub> НА РІВНОВАГУ РЕАКЦІЇ ДВОСТУПЕНЕВОЇ КОНВЕРСІЇ CO З ВОДЯНОЮ ПАРОЮ І КІНЦЕВИЙ ВМІСТ CO В КОНВЕРТОВАНОМУ ГАЗІ

*Водень та його суміші широко використовуються у виробництвах великої кількості важливих хімічних продуктів. Основним сировинним компонентом для промислового отримання водню та його сумішей є природний газ, висока вартість та дефіцит якого в Україні спонукає переходити на альтернативні технології отримання водню або удосконалювати наявні виробництва з метою скорочення споживання природного газу та більш раціонального його використання.*

*У сучасних агрегатах синтезу аміаку після двоступеневої конверсії CO з водяною парою в конвертованому газі залишається 0,45–0,5% об. оксиду вуглецю (II), який у подальшому подається на каталітичне очищення з використанням водню. Тому зменшення вмісту оксиду вуглецю (II) в конвертованому газі спричинить зниження витрати водню на очищення. Крім того, в разі проведення проміжного очищення від оксиду вуглецю (IV) між першим і другим ступенями конверсії матиме місце отримання додаткової кількості водню і зменшення витрати природного газу, що спричинить певний економічний ефект.*

*На основі кінетичних досліджень реакції конверсії оксиду вуглецю (II) з водяною парою проаналізовано вплив оксиду вуглецю (IV) на рівноважний ступінь перетворення CO і його рівноважну концентрацію залежно від температури і вмісту CO<sub>2</sub> в реакційній суміші, що подається на другий низькотемпературний ступінь конверсії оксиду вуглецю (II). Також показано вплив зміни співвідношення водяної пари до сухого газу на показники, що впливають на повноту окиснення CO.*

*Результати проведеного всебічного аналізу та розрахунків дозволили запропонувати один із варіантів проведення двоступеневої конверсії оксиду вуглецю (II) з проміжним очищенням від оксиду вуглецю (IV), що дає змогу підвищити ступінь конверсії CO, отримати додаткову кількість водню для синтезу аміаку і зменшити витрату природного газу.*

**Ключові слова:** оксид вуглецю (II), конверсія, оксид вуглецю (IV), вплив, пара : сухий газ, співвідношення, схема принципова.

**Постановка проблеми.** Водень та водневі суміші поширені у процесах отримання великого асортименту хімічних продуктів. Вони використовуються в багатотоннажних виробництвах аміаку, метанолу, вищих спиртів та інших продуктів, тому від розробки економічних способів їх отримання залежить подальший прогрес хімічної, нафтохімічної, металургійної та інших галузей промисловості.

Як сировина у виробництвах водню та водневих сумішей, у тому числі для синтезу аміаку

і метанолу, в Україні використовується природний газ, основним компонентом якого є метан, на основі якого здійснюється каталітична конверсія різними окиснювачами з отриманням H<sub>2</sub> і CO та подальшою каталітичною двоступеневою конверсією оксиду вуглецю (II) з водяною парою. Ці методи одержання водню і відновлювальних газів у виробництвах аміаку та метанолу на цей час є найбільш оптимальними. При цьому питома вага природного газу становить майже 80%. Двоступенева каталітична конверсія оксиду вуглецю є

одним із найважливіших ланцюгів в інтегрованих технологіях зв'язаного азоту і особливо в багатотоннажному виробництві аміаку продуктивністю 1420 т  $\text{NH}_3$  на добу.

Після двоступеневої конверсії CO з водяною парою в конвертованому газі залишається 0,45–0,5% об. оксиду вуглецю (II), який підлягає каталітичному очищенню з використанням водню. Тому зменшення вмісту CO на 0,1% об. знижує на 10% витрату водню, що спричиняє підвищення продуктивності за аміаком на 0,7–1,0 % [1; 2]. Крім того, проміжне очищення від  $\text{CO}_2$  між першим та другим ступенем конверсії CO дасть змогу додатково отримати водень і знизити витрати природного газу на 11  $\text{nm}^3$  на тонну аміаку для одного агрегату, або на 5,156 млн  $\text{nm}^3$  на рік.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасних агрегатах синтезу аміаку кількість оксиду вуглецю (IV) в газі, що подається після конверсії метану на каталітичну двоступеневу конверсію CO з водяною парою, коливається в межах 7–12% об. Крім того, в результаті першої середньотемпературної стадії конверсії CO з  $\text{H}_2\text{O}$  додатково утворюється  $\text{CO}_2$  і його кількість сягає майже 15% об. перед тим, як конвертований газ спрямовується на другий низькотемпературний ступінь конверсії CO, і лише після цього подається на очищення від CO і  $\text{CO}_2$  перед синтезом аміаку.

За вказаною схемою не досягається ефективний результат процесу, оскільки в конвертованому газі після другого низькотемпературного ступеня залишається CO в кількості 0,45% об. [3], який необхідно видалити каталітичним очищенням, бо ця сполука є отрутою для каталізатора синтезу аміаку. Рішенням проблеми може стати доконверсія парогазової суміші з вказаним вмістом CO, що дасть змогу отримати додатково водень для синтезу аміаку. За умови продуктивності колони синтезу 1450 т  $\text{NH}_3$  на добу економія природного газу може становити близько 5,1 млн  $\text{nm}^3$ /рік.

На основі раніше проведених у НТУ «ХП» всебічних кінетичних досліджень [4; 5] було встановлено, що швидкість реакції конверсії CO з  $\text{H}_2\text{O}$  гальмується вуглекислим газом ( $\text{CO}_2$ ), який є продуктом реакції. На основі цих досліджень запропоновано кінетичне рівняння для визначення швидкості реакції з урахуванням дії  $\text{CO}_2$ .

Оскільки після першого середньотемпературного ступеня конверсії CO кількість  $\text{CO}_2$  в парогазовій суміші збільшується до 15% об., що, своєю чергою, приводить до зменшення рівноважного ступеня перетворення та знижує ступінь конверсії

оксиду вуглецю (II) з водяною парою, як наслідок, в результаті неповного перебігу реакції зменшується концентрація водню.

**Постановка завдання.** З метою оптимізації і вдосконалення цієї інтегрованої високопродуктивної стадії виробництва водню для синтезу аміаку становить інтерес проведення конверсії CO з проміжним очищенням частково конвертованого газу від  $\text{CO}_2$  між першим і другим ступенями конверсії CO. Для цього необхідно отримати, насамперед, теоретичні залежності, які визначають характер впливу  $\text{CO}_2$ , перш за все, на рівноважний (теоретичний) ступінь перетворення CO і його рівноважну концентрацію залежно від температури конверсії і вмісту  $\text{CO}_2$  в суміші, що подається на другий ступінь конверсії CO. Крім цього, необхідно розрахувати зміну співвідношення водняна пара : сухий газ на показники, що впливають на повноту окиснення CO водяною парою у цьому процесі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У зв'язку з цим нами було розраховано вплив на рівноважний (теоретичний) вихід продуктів реакції (ступінь конверсії)  $X_p$  і рівноважний залишок оксиду вуглецю (II) в конвертованому газі після другого ступеня конверсії CO при різних температурах, співвідношеннях водняна пара : сухий газ і зміні концентрації  $\text{CO}_2$  в початковій суміші, що подається на низькотемпературну конверсію CO. У розрахунках був використаний склад промислового газу, в якому змінювався вміст  $\text{CO}_2$  від 0 до 20% об. завдяки розбавленню газової суміші азотом. Газ мав такий склад, % об.: CO – 3,3;  $\text{CO}_2$  – 15,1;  $\text{H}_2$  – 60,47;  $\text{N}_2$  + інерти – 21,13, при цьому температурний діапазон знаходився в межах 150–230 °C, а співвідношення водняна пара : сухий газ змінювалося від 0,3 до 0,439.

Розрахунок ступенів перетворення і відповідних їм концентрацій залишкового вмісту CO був проведений для різних складів газів (рис. 1). Аналіз отриманих розрахункових даних свідчить про те, що в разі збільшення вмісту  $\text{CO}_2$  в початковому газі від 0 до 20% об. рівноважний ступінь перетворення ( $X_p$ ) оксиду вуглецю (II) зменшується при всіх температурах, тоді як рівноважний вміст CO, навпаки, зростає. Наприклад, при температурі 230 °C, яка відповідає промисловим умовам низькотемпературної конверсії CO, співвідношенні водняна пара : сухий газ 0,439 і вмісті  $\text{CO}_2$  в газовій суміші 20% об., залишкова рівноважна концентрація CO в конвертованому газі становить 0,2%, тоді як за умови вмісту 0%  $\text{CO}_2$  вона дорівнює 0,03%, тобто практично на порядок менше,

і така тенденція спостерігається при всіх температурах і співвідношеннях водяна пара : сухий газ (рис. 2). Що стосується рівноважного ступеня перетворення CO, то він, навпаки, зростає з 91,5 до 99%.

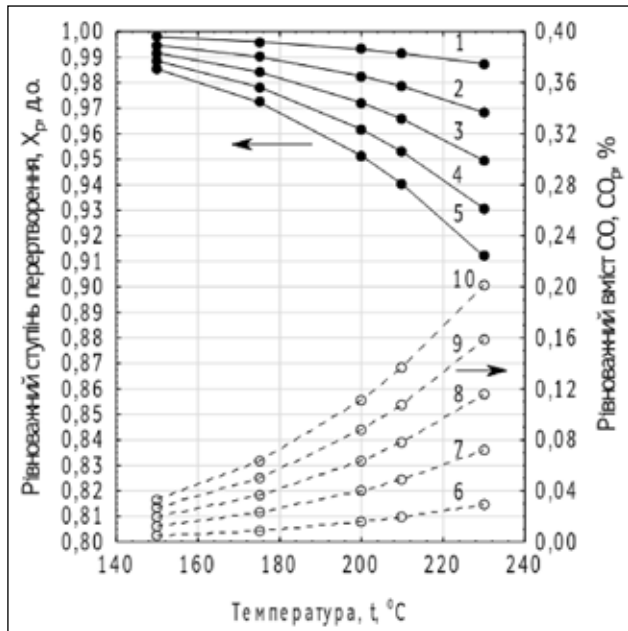


Рис. 1. Рівноважний ступінь перетворення ( $X_p$ ) і залишковий вміст ( $CO_p$ ) залежно від температури при співвідношенні водяна пара : сухий газ 0,439 і концентрації  $CO_2$  в початковому газі, % об.: 1, 6 – 0; 2, 7 – 5,0; 3, 8 – 10,0; 4, 9 – 15,0; 5, 10 – 20,0

Таблиця 1

Вплив концентрації  $CO_2$  на ступінь перетворення ( $X$ ) на каталізаторі НТК-4+0,5 % RNa;  $W=5000 \text{ год}^{-1}$ ;  $n/\Gamma=0,439$

Концентрація $CO_2$ , % об.	Ступінь перетворення ( $X$ , % об.) при температурах, °C		
	150	200	230
5	65,4	87,1	91,7
15	53,8	76,7	82,2
20	42,7	69,6	73,9

Це свідчить про те, що наявність у конвертованому газі оксиду вуглецю (IV) на вході до другого ступеня конверсії CO дуже впливає на кінцевий вміст CO при виході газової суміші із реактора і на ступінь перетворення CO і, як наслідок, зменшує кількість водню в конвертованому газі. Із наведених експериментальних даних (табл. 1) видно, що з підвищенням концентрації  $CO_2$  в початковому газі від 5 до 20% об. ступінь перетворення оксиду вуглецю зменшується при одному і тому самому часі контактування для всіх температур, що вказує на гальмуючу дію  $CO_2$ . Чим нижчою є

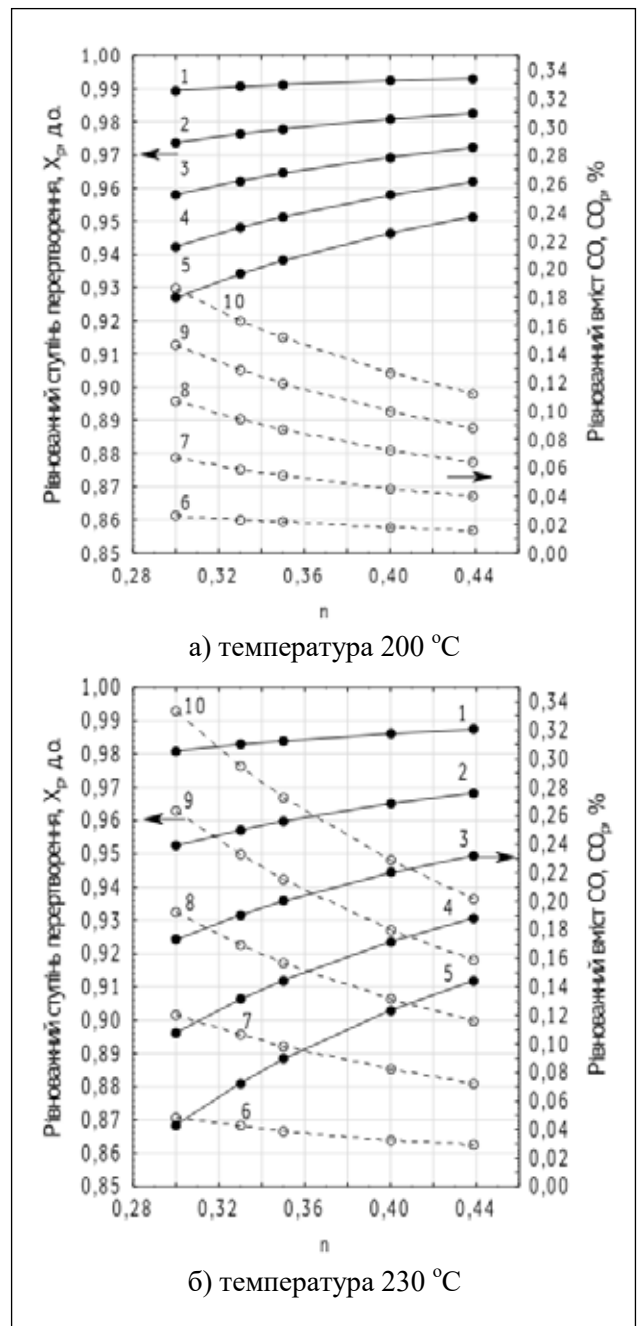


Рис. 2. Залежність рівноважного ступеня перетворення ( $X_p$ ), залишкового вмісту CO ( $CO_p$ ) залежно від співвідношення водяна пара : сухий газ ( $n$ ) і концентрації  $CO_2$  в початковому газі, %: 1, 6 – 0; 2, 7 – 5,0; 3, 8 – 10,0; 4, 9 – 15,0; 5, 10 – 20,0

температура, тим це гальмування помітніше. Але з підвищенням температури гальмуюча дія  $CO_2$  зменшується, про що свідчить і різниця у ступені перетворення CO, який при 200 і 230 °C становить у середньому 4–6%.

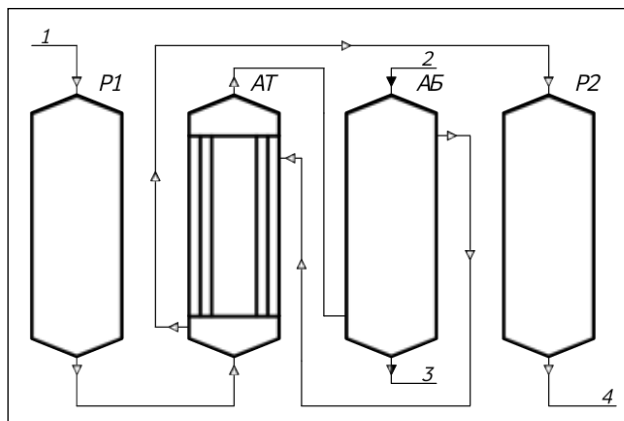
Таким чином, результати розрахунків показують можливість проведення двоступеневої конверсії CO з проміжним очищенням від  $CO_2$  між першим і другим ступенями конверсії, що дасть



зможу проводити реакцію більш повно, підвищити поточний ступінь перетворення і отримати додаткову кількість водню, необхідного для синтезу аміаку, а це буде впливати на зменшення витрат природного газу. Одночасно внаслідок зменшення в конвертованому газі залишкового вмісту СО удосконалюється подальше очищення газу від СО і залишків  $\text{CO}_2$  шляхом зменшення втрат водню на їх метанування.

Згідно із запропонованою схемою (рис. 3) одного з варіантів, встановлена мета досягається тим, що парогазова суміш після конвертора першого ступеня охолоджується в теплообміннику і подається до абсорбера задля очищення від  $\text{CO}_2$ . Після цього конвертований газ знову спрямовується у теплообмінник, де його температура підвищується приблизно до  $200\text{ }^\circ\text{C}$  і далі подається до низькотемпературного конвертора другого ступеня, де на низькотемпературному катализаторі конвертується залишкова кількість СО. Проведеними попередніми дослідженнями при атмосферному тиску на газі, який не містить  $\text{CO}_2$ , було показано, що залишковий вміст оксиду вуглецю (II) після низькотемпературної конверсії становить 0,015% об.

**Висновки.** У роботі наведені теоретичні розрахунки рівноважного ступеня перетворення і залишкового вмісту оксиду вуглецю (II) в конвер-



**Рис. 3.** Схема двоступеневої конверсії СО з проміжним очищенням від  $\text{CO}_2$ : *AB* – абсорбер; *AT* – теплообмінник; *P1* – конвертор СО I ступеня; *P2* – конвертор СО II ступеня; *1* – парогазова суміш після конверсії метану; *2* – поглинач  $\text{CO}_2$ ; *3* – відпрацьований поглинач; *4* – конвертований газ на очищення від  $\text{CO}_2$

тованому газі після першого ступеня конверсії СО залежно від вмісту в ньому  $\text{CO}_2$  перед подачею до конвертора другого ступеня. Показана можливість підвищення ступеня конверсії СО з проміжним очищенням від  $\text{CO}_2$  між першим і другим ступенями, що дасть змогу додатково отримати водень для синтезу аміаку і зменшить витрату природного газу.

#### Список літератури:

1. Очистка технологических газов. Изд. 2-е., перераб. и доп. / Семенова Т.А. и др. ; под ред. Т.А. Семеновой. Москва : Химия, 1977. 488 с.
2. Производство аммиака : производственно-практическое издание / Семенов В.П. и др. ; под ред. В.П. Семенова. Москва : Химия, 1985. 368 с.
3. Справочник азотчика: Физико-химические свойства газов и жидкостей. Производство технологических газов. Очистка природного и технологических газов. Синтез аммиака. Компрессорные установки агрегатов синтеза аммиака. Принципы автоматизации производства аммиака. Основные химико-технологические расчеты. Теплоэнергетика. Изд. 2-е перераб. / под ред. Е.Я. Мельникова. Москва : Химия, 1986. 512 с.
4. Кинетика гетерогенно-каталитических процессов под давлением / Звягинцев Г.Л. и др.; под ред. В.И. Атрощенко. Харьков : Вища шк., 1974. 169 с.
5. Атрощенко В.И., Лобойко А.Я. Определение порядка реакции  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$  по компонентам при 40 ат. *Известия вузов. «Химия и химическая технология»*. 1971. Т. XIV. Вып. 6. С. 957–959.

#### Tovazhnyansky L.L., Loboiko V.O., Kobziev O.V., Sincheskul O.L. THEORETICAL SUBSTANTIATION OF $\text{CO}_2$ CONCENTRATION INFLUENCE ON EQUILIBRIUM OF CO SHIFT CONVERSION REACTION AND ON CO CONCENTRATION IN AN EXCURRENT MIXTURE

*Hydrogen and its mixtures are widely used in productions of a large number of important chemical products. Natural gas is the main raw material for hydrogen and its mixtures industrial production. Its shortage in Ukraine and high cost leads to use alternative hydrogen technologies or to improve existing flow charts in order to reduce natural gas consumption and to increase the efficiency of the technology.*

*Modern ammonia synthesis units allow to obtain 0.45–0.5% vol of CO in outlet gas mixture after CO shift conversion. Such content is much higher than CO maximum permissible concentration and doesn't allow to throw exhaust gases in atmosphere. In this case all industrial technologies contain catalytic purification stage that allows to decrease carbon monoxide concentration up to permissible level.*

*Therefore, reducing CO content in the converted gas will cause a reduction in hydrogen consumption. An additional amount of hydrogen can be produced in case of intermediate purification of carbon monoxide between high temperature and low temperature conversions. It leads to a certain economic effect related to a final ammonia price.*

*An influence of CO<sub>2</sub> content on equilibrium CO conversion rate and equilibrium CO concentration depending on temperature and CO<sub>2</sub> content in the reaction mixture was analyzed on the basis of kinetic research. The effect of influence of changing steam/dry gas ratio in CO oxidation is also shown.*

*The results of comprehensive analysis and calculations made it possible to propose one of the variants of CO shift conversion with intermediate purification of carbon monoxide (IV) between high temperature and low temperature conversions. It allows to increase the CO conversion rate, produce additional hydrogen for ammonia synthesis and reduce natural gas consumption.*

**Key words:** carbon monoxide, conversion, influence, steam/dry gas, ratio, flow chart.

## ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 612.4-026:68

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/13>

**Антоненко А.В.**

Київський університет культури

**Земліна Ю.В.**

Київський університет культури

**Грищенко І.М.**

Київський університет культури

**Приходько К.О.**

Київський національний університет культури та мистецтв

**Супрун Б.М.**

Київський університет культури

**Порохня Ю.В.**

Київський університет культури

### ТЕХНОЛОГІЯ БОРОШНЯНИХ СТРАВ НА ОСНОВІ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ

У статті наведено технологію приготування борошняних страв на основі нетрадиційної сировини. Борошняні кулінарні страви мають попит у населення. Харчова цінність борошняних кулінарних страв характеризуються більшою мірою вуглеводів, жирів, білків і біологічно активних речовин. В процесі дослідження був проведений порівняльний аналіз борошна пшеничного вищого татунку (контроль) з розробленою сухою композиційною сумішшю для тіста. Проведені дослідження дали змогу довести доцільність заміни борошна пшеничного вищого татунку на композиційну суміш борошна пшеничного з цільного зерна, гречаного борошна та нуту меленого; для начинки: замість яловичини використано м'ясо індички, з додаванням гарбуза та моркви. Аналізуючи нутрієнтний склад тіста, що використовується для приготування млинчиків було визначено, що значення показників тіста дослідного зразка значно перевищують кількісні показники контролю. Однак, кількість вуглеводів в досліді на 15% менше при використанні нуту в тістовому напівфабрикаті. Дослідження харчової цінності розробленого виробу засвідчили, що він має покращений нутрієнтний склад в порівнянні з контролем: в дослідному зразку – підвищений вміст білків, вітамінів, мінеральних речовин і харчових волокон порівнюючи з контролем. Під час розробки страви млинці «Healthy» та порівнянні її зі стравою-контролем було проведено органолептичну оцінку млинців (в балах). Визначено, що більшість органолептичних показників млинців «Healthy» перебувають на рівні контролю, але такий показник, як «смак» децю відрізняється у дослідному зразку через наявність характерного присмаку гречаного та цільнозернового борошна. Харчова цінність страви, знижений вміст жирів та вуглеводів, як порівняти з контрольним зразком, дає підставу для використання млинців «Healthy» в раціоні харчування різних верств населення. Розроблена та запропонована страва може використовуватися в геродієтичному, дієтичному, лікувально-профілактичному харчуванні.

**Ключові слова:** технологія, борошняна страва, млинці, композиційна суміш, нетрадиційна сировина, органолептична оцінка.

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших проблем сучасного суспільства є мінімізація негативного впливу довкілля на людину. Порушена екологія та деформований раціон харчування призводять до зниження загальної резистентності організму й поширення низки хвороб. Сучасне харчування не сприяє підтриманню здорового стану організму [1]. Поступова заміна традиційного асортименту харчових продуктів на нові функціональні є основним напрямом розвитку сучасного продовольчого ринку. Продукти функціонального призначення сприяють покращенню функціонування організму людини. Ефективним способом оптимізації структури харчування населення є розвиток виробництва продуктів функціонального призначення шляхом використання у їхньому складі есенціальних нутрієнтів: вітамінів, макро- та мікроелементів, харчових волокон. Це дає змогу знизити дефіцит есенціальних речовин та підвищити резистентність організму людини до навколишнього середовища. Значну частку в харчуванні населення України займають борошняні кулінарні страви. Вони відрізняються високою енергетичною цінністю та низькою харчовою цінністю [2]. Найчастіше у виробництві борошняних виробів використовується пшеничне борошно вищого гатунку, через те, що воно має білий привабливий колір без сторонніх домішок. Але під час отримання цього борошна видаляється оболонка зерна в якій міститься майже 90% всіх нутрієнтів зерна. Отже, використовуючи борошно вищого гатунку, ми споживаємо лише ендосперм, що містить вуглеводи та мізерну кількість корисних речовин [2; 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З огляду на низку чинників сьогодення (порушений стан довкілля, економічна криза в суспільстві та інші) актуальним стає удосконалення вже наявних рецептур і технологій кулінарної продукції для збагачення її необхідними лімітуючими компонентами [3].

В науковій літературі достатньо інформації про використання окремих інгредієнтів, що були використані в розробленій страві, досліджені та впроваджені в технологіях харчових продуктів окремо один від одного [1-3]. Методом лабораторних апробацій було знайдено оптимальне співвідношення усіх компонентів для створення модельної композиції страви, яка містить комплекс вітамінів, мінералів, харчових волокон, органічних кислот та була проведена заміна сировини у досліджуваному зразку відповідно визначених пропорцій [4; 5].

**Постановка завдання.** Борошняні кулінарні страви мають попит у населення. Харчова цінність борошняних кулінарних страв характеризується більшою мірою вуглеводів, жирів, білків і біологічно активних речовин [6; 7].

**Мета статті** – удосконалити технологію приготування борошняних страв на основі нетрадиційної сировини.

**Об'єкт дослідження** – технологія борошняних страв з підвищеною харчовою цінністю.

**Предмет дослідження** – тісто для млинчиків, млинчики з використанням нетрадиційних продуктів, якість та харчова цінність.

**Методи дослідження:** органолептичні, методи планування експерименту і математичної обробки експериментальних даних на основі комп'ютерних технологій.

В страві млинчики «Healthy» сировиною для приготування тіста слугувало: борошно гречане, зерно нуту мелене, борошно пшеничне цільнозернове, вода (1:1:1:3,5). Як начинка використані: філе індички, гарбуз, морква, цибуля ріпчаста, олія соняшникова, сіль, спеції (1,5:1:1:0,5). Борошно гречане багате на есенціальні амінокислоти (лізин, треонін), на клітковину, мінерали (P, K, S). Є цінним джерелом рослинних білків. Нут містить велику кількість білку, ненасичених жирних кислот, вітаміну PP, мінеральних речовин (Zn, Si, Fe, Mn). Цільнозернове пшеничне борошно зберігає усі нативні нутрієнти та містить: клітковину, вітаміни групи B та E, мікроелементи (особливо, залізо та марганець) [7]. Компоненти начинки підбиралися для отримання таких властивостей готової страви: легкозасвоюваність, значна харчова цінність, зменшена енергетична. Гарбуз та морква є джерелом абсолютно різних, але водночас необхідних для організму людини нутрієнтів: провітаміну A – бета-каротину, вітамінів C, E, B1, B2, PP, E, мінералів Ca, K, Fe, Mg, Zn, Cu, F, Co). Гарбуз має в складі велику кількість клітковини, що покращує перистальтику та адсорбує токсини. Водночас дана клітковина не є грубою, тому страву можна вживати людям з захворюваннями кишково-шлункового тракту. Соняшникова олія є головним джерелом вітаміну E та ненасичених жирних кислот [4].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В процесі дослідження був проведений порівняльний аналіз борошна пшеничного вищого гатунку (контроль) з розробленою сухою композиційною сумішшю для тіста (дослід) [8]. Встановлено, що у дослідному зразку загальний вміст білків і жирів відповідно становить 14,4 і 2,9 г, що на 35,8 та 123,1% вище щодо контролю (10,6 і 1,3 г). Під

час дослідження вуглеводного складу виявлено, що загальний вміст вуглеводів вище у контролі на 13%, проте харчових волокон більше у досліджуваному зразку – 3,7 г, що на 37,1% більше, ніж у контролі. Дослідженнями вітамінного складу, який представлений переважно вітамінами групи В, встановлено, що у досліджуваній суміші для тіста вміст В1 – 0,28 мг, В2 – 0,11 мг, РР – 3,32 мг, що на 12%, 37,5%, 46,8% відповідно вище щодо контролю. У досліджуваному зразку вміст калію склав 454 мг, кальцію – 90,7 мг, магнію – 92,7 мг, заліза – 3,8 мг, що свідчить про суттєве збагачення на 158%, 277,9%, 110,7%, 81,0% відповідно (табл. 1).

Після проведення та порівняння складових частин харчової цінності борошна вищого ґатунку та розробленої сухої суміші для тіста було виготовлене тісто для випікання млинців «Healthy» [4].

Аналізуючи нутрієнтний склад тіста, що використовується для приготування млинчиків було визначено, що значення показників тіста дослідного зразка значно перевищують кількісні показники контролю. Однак, кількість вуглеводів в

досліді на 15% менше за використання нуту в тістовому напівфабрикаті (зі свого боку це призводить до збільшення кількості жирів). Майже аналогічні показники енергетичної цінності – різниця 1,5% на користь контролю (табл. 2).

Для повного оцінювання та порівняння якісного та кількісного складу зразків начинки були обрані найбільш значущі для даного виду сировини показники. Завдяки використанню м'яса індички в дослідному зразку зменшилась енергетична цінність (47 ккал – дослід, 88,1 ккал – контроль). Використання овочевої сировини призвело до збільшення загальної кількості харчових волокон удвічі (0,2 г – в контрольному зразку, 0,4 – в дослідному). Завдяки використанню гарбуза в дослідному зразку збільшилась кількість есенціальних мінеральних речовин таких, як: К – 163,2 мг, Са – 15,9 мг, Mg – 15,9, Fe – 1,2 мг відповідно (табл. 3).

Отримані дослідні дані використано для побудови діаграми, яка наочно висвітлює збільшення та зменшення кількісної величини відповідних

Таблиця 1

Порівняльна характеристика харчової цінності борошна пшеничного та дослідної сухої суміші для тіста для млинчиків на 100 г

Дослідний продукт (сухий), 100 г	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Харчові волокна, г	Мінеральні речовини, мг				Вітаміни, мг			Енергетична цінність ккал
					К	Са	Mg	Fe	В1	В2	РР	
Борошно пшеничне (в/г)	10,6	1,3	69,0	2,7	176	24,0	44,0	2,1	0,25	0,08	2,20	330,1
Композиційна суміш	14,4	2,9	60,0	3,7	454	90,7	92,7	3,8	0,28	0,11	3,23	323,7
Різниця, %	35,8	123,1	-13,0	37,1	158	277,9	110,7	81	12,0	37,5	46,8	-2

Таблиця 2

Харчова та енергетична цінність тіста дослідного зразка та контролю

Зразок	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Харчові волокна, г	Мінеральні речовини, мг				Вітаміни, мг			Енерг. цінність, ккал
					К	Са	Mg	Fe	В1	В2	РР	
Тісто (конт. зразок)	3,2	0,4	21,6	0,8	55	7,5	14	0,6	0,09	0,03	0,6	102,8
Тісто (досл. зразок)	4,5	0,9	18,8	1,2	142	28,3	29	1,2	0,1	0,04	1,1	101,3
Різниця, %	40	125	-15	50	158	277	110	100	11	33,3	83	-1,5

нутрієнтів в дослідному та контрольному зразках начинки для млинчиків (рис. 1).

Проведені розрахунки показників харчової цінності контрольного та дослідного зразків виявили збільшення вмісту білків більш ніж вдвоє щодо

контролю. Це зумовлено використанням інгредієнтами нуту та філе індички. Оскільки нут містить менше вуглеводів, ніж пшеничне борошно (46,16 г та 70,6 г відповідно на 100 г) – показник кількості вуглеводів є дещо нижчим у дослідному зразку

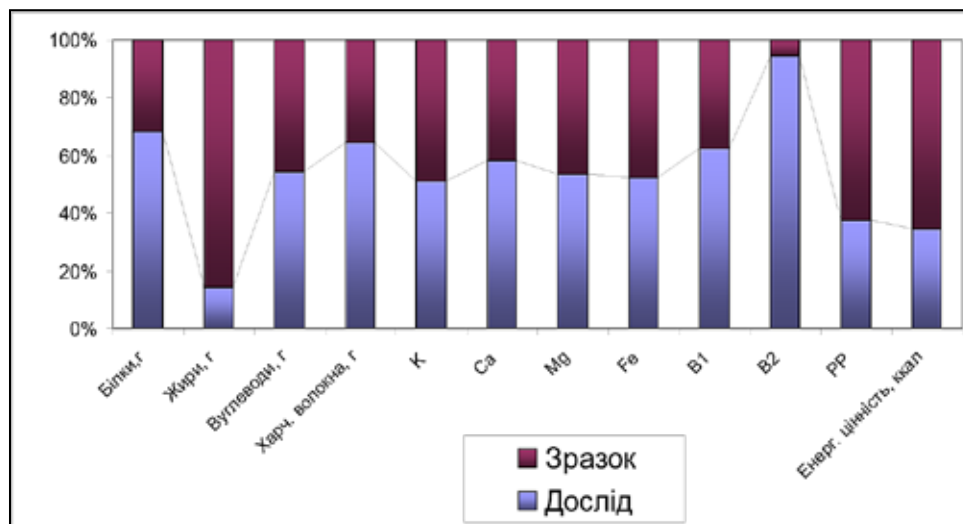


Рис. 1. Діаграма порівняння показників харчової цінності начинки для млинчиків

Таблиця 3

Харчова та енергетична цінність начинки з урахуванням коефіцієнту втрат під час теплової обробки (контрольний зразок)

Сировина за рецептурою	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Харчові волокна, г	Мінеральні речовини, мг				Вітаміни, мг			Енергетична цінність, ккал
					K	Ca	Mg	Fe	B1	B2	PP	
Яловичина	6,5	6,1	0	0	120	3,3	8,3	0,9	0,01	0,05	2,9	80,9
Морква	0,13	0,01	0,7	0,14	20	5	4,1	0,1	0,01	0,01	0,1	3,4
Цибуля ріпчаста	0,14	0	0,8	0,08	17	3,2	1,4	0,1	0,01	0	0,01	3,8
Разом	6,8	6,1	1,5	0,22	157	11,5	13,8	1,1	0,03	0,06	3	88,1

Таблиця 4

Харчова та енергетична цінність готових млинців контрольного та дослідного зразків

Продукт	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Харчові волокна, г	Мінеральні речовини, мг				Вітаміни, мг			Енергетична цінність, ккал
					K	Ca	Mg	Fe	B1	B2	PP	
Млинці «Традиційні» (контроль)	9	6,4	18,9	1	201	17,5	24,5	1,6	0,1	0,1	3,5	170,4
Млинці «Healthy» (дослід)	18	1,9	16,4	1,6	294	42,7	41,8	2,3	0,2	1	2,8	157,1
Різниця, %	99	-72,3	-15,2	60	46	144	70,6	44	100	900	-25	-8,5

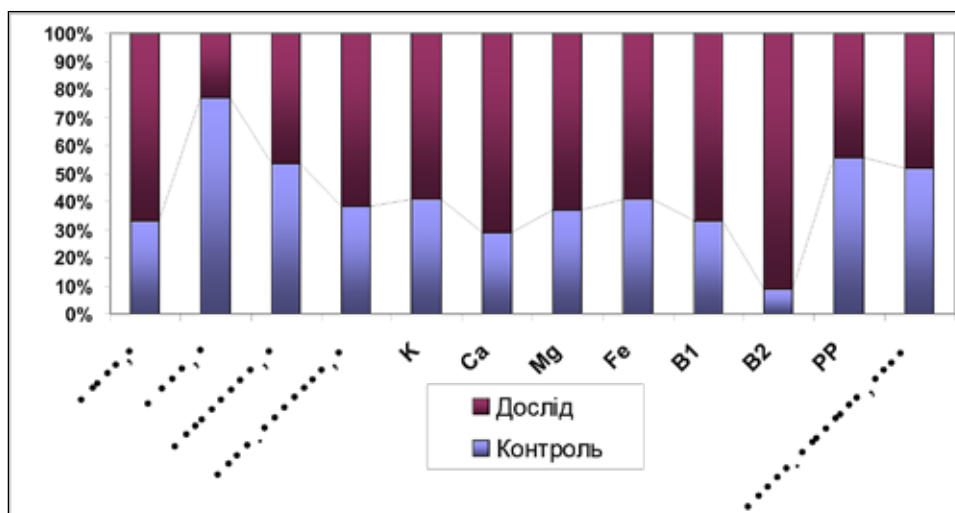


Рис. 2. Діаграма кількісних показників контрольного і дослідного зразків готових млинчиків

Таблиця 5

#### Органолептична оцінка страв за 5-бальною шкалою

Зразки виробів	Зовнішній вигляд	Колір	Запах	Смак	Консистенція	Середня оцінка, бали
Млинці «По-домашньому»	4,8	4,9	4,8	4,8	4,9	4,84
Млинці «Healthy»	4,8	4,8	4,8	4,6	4,9	4,78

(на 15,2%). Кількість жирів в дослідному зразку значно менша (1,9 г щодо 6,4 г в контролі) з огляду на те, що м'ясо індички відрізняється зменшеною кількістю легкозасвоюваних жирів у складі начинки. Введення цілнозернового пшеничного та гречаного борошна, гарбуза та моркви дало можливість збільшити вміст клітковини в готовій страві: кількість харчових волокон збільшилася на 60% (з 1 г до 1,6 г). Визначення мінерального складу показало, що у розробленому виробі вміст калію – 294,1 мг, кальцію – 42,7 мг, магнію – 41,8 мг, заліза – 2,3 мг, що в 0,46, 1,4, 0,7, і 0,43 раза більше порівнюючи з контролем. Під час аналізу вітамінного складу було встановлено, що він представлений переважно вітамінами групи В: так, в розробленому виробі вміст В1 – 0,2 мг, В2 – 0,1 мг, що в 1 та 9 разів більше, ніж у контрольному зразку. Кількість вітаміну РР зменшилася в дослідному зразку на 8,5%. Завдяки більшому вмісту жирів в контрольному зразку енергетична цінність страви вища, як порівняти з дослідним (170,4 ккал в контролі, 157,1 ккал у досліді) (табл. 4).

На основі даних в таблиці 5, побудовано діаграму, що відбиває кількісну зміну нутрієнтів в дослідному та контрольному зразках готових страв (рис. 2).

Під час розробки страви млинці «Healthy» та порівнянні її зі стравою-контролем було проведено органолептичну оцінку млинців (в балах). Визначено, що більшість органолептичних показників млинців «Healthy» перебуває на рівні контролю, але такий показник, як «смак» дещо відрізняється у дослідному зразку через наявність характерного присмаку гречаного та цілнозернового борошна (табл. 5).

**Висновки.** Отже, проведені нами дослідження дозволили обґрунтовано довести доцільність заміни борошна пшеничного вищого гатунку на композиційну суміш борошна пшеничного з цілного зерна, гречаного борошна та нуту меленого; для начинки: замість яловичини використано м'ясо індички, з додаванням гарбуза та моркви. Дослідження харчової цінності розробленого виробу засвідчили, що він має покращений нутрієнтний склад в порівнянні з контролем: в дослідному зразку – підвищений вміст білків, вітамінів, мінеральних речовин і харчових волокон порівнюючи з контролем. Харчова цінність страви, знижений вміст жиру та вуглеводів, як порівняти з контрольним зразком, дає підставу для використання млинців «Healthy» в раціоні харчування різних верств населення. Розроблена та запропонована страва може використовуватися в геродієтичному, дієтичному, лікувально-профілактичному харчуванні.

**Список літератури:**

1. Антоненко А.В. Технологія харчових продуктів функціонального призначення : монографія / за ред. М.І. Пересічного. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. 1116 с.
2. Антоненко А.В. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія / за ред. О.І. Черевка, М.І. Пересічного. Харків : Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. 2017. 591 с.
3. Антоненко А.В. Перспективные тенденции развития науки : техника и технология : монографія. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення : монографія / за ред. И.Я. Львович, А.В. Некрасова. Одесса : Куприенко С.В. 2016. 197 с.
4. Мазаракі А.А., Кравченко М.Ф., Антоненко А.В. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 772 с.
5. Антоненко А.В. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2012. № 1. С. 82–88.
6. Антоненко А.В. Технологія кулінарних виробів з прісного тіста підвищеної харчової цінності. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2011. № 1. С. 115–120.
7. Антоненко А.В. Композиційні суміші з зернопродуктів ЄСО у технологіях емульсійних харчових продуктів. *Наукові праці ОНАХТ*. 2010. № 38 (2). С. 65–68.
8. Антоненко А.В. Безпечність нових борошняних виробів на основі пророщеного зерна пшениці. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2014. № 1.

**Antonenko A.V., Zemlina U.V., Grischenko I.M., Prikhodko K.O., Suprun B.M., Porohnya U.V.  
TECHNOLOGY OF FLOAT DISHES BASED ON NON-TRADITIONAL PRODUCTS**

*The article presents the technology of making flour dishes based on non-traditional raw materials. Flour cooking dishes are in demand from the population. Nutritional value of floury culinary dishes is characterized by a greater degree of carbohydrates, fats, proteins and biologically active substances. In the course of the study, a comparative analysis of the high-grade wheat flour (control) with the developed dry composite mixture for the dough was conducted. The conducted studies have made it possible to prove the expediency of replacing the high quality wheat flour with the composition of the wheat flour from whole grains, buckwheat flour and melted butter; for stuffing: instead of beef, Turkey meat is used, with the addition of pumpkin and carrots. Analyzing the nutritional composition of the dough used for the preparation of pancakes, it was determined that the values of the test sample doses significantly exceed the quantitative control indices. However, the amount of carbohydrates in the experiment is 15% less when using dough in dough semi-finished products. The study of the nutritional value of the product developed showed that it has an improved nutrient composition compared with control: in the pilot sample – high content of proteins, vitamins, minerals and food fibers compared with control. During the development of pancakes “Healthy” and comparing it with meal-control, organoleptic evaluation of pancakes was carried out (in balls). It has been determined that the majority of organoleptic indicators of “Healthy” pancakes are at the control level, but such a parameter as “taste” is somewhat different in the experimental sample due to the characteristic taste of buckwheat and whole wheat flour. The nutritional value of food, the reduced content of fats and carbohydrates, compared to the control sample, provides the basis for the use of “Healthy” pancakes in the diet of different groups of the population. The developed and offered dish can be used in herdietic, diet, medical and preventive nutrition.*

**Key words:** *technology, flour dish, pancakes, compositional mixture, non-traditional products, sensory evaluation.*



УДК 687:03; 658.512.2  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/14>

**Білей-Рубан Н.В.**

Мукачівський державний університет

**Полуда С.Н.**

Мукачівський державний університет

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ОДЯГУ НА ОСНОВІ ЕРГОНОМІЧНОЇ РЕОРГАНІЗАЦІЇ РОБОЧИХ МІСЦЬ

У статті розглядаються сучасні підходи в організації технологічних процесів швейного виробництва з високим рівнем продуктивності та гнучкості. Актуалізовано, що найбільш економічно вигідним є підвищення темпів виробництва на основі вдосконалення робочого місця робітника певної технологічної операції. Опрацьованими є сучасні наукові розробки з оптимізації та організації робочих місць, які забезпечують його оснащення відповідним за призначенням основним і допоміжним обладнанням, технологічним та організаційним устаткуванням, засобами зв'язку. Також актуалізовані завдання щодо особливостей формування технологічних процесів під час виготовлення швейних виробів з визначенням їхньої асортиментної стабільності, темпів змінюваності для встановлення характеристик гнучкості як важливого чинника стабільності техпроцесів на підприємствах швейної галузі. Дослідження проводилися з використанням методів оптимізації, моделювання технологічних процесів, які базуються на структуризації потокового виробництва та принципах ергономізації як умови, яка сприяє продуктивності, ефективності та ресурсозбереженості сучасного швейного виробництва. Узагальненими є результати аналізу робочих місць технологічного процесу реального швейного потоку з виготовлення жіночого асортименту. Розроблено схеми організації робочих місць організаційних операцій з урахуванням розміщення напівфабрикатів, транспортних засобів, додаткового оснащення та інструментів. Удосконалено низку організаційних технологічних операцій в умовах реального виробництва, що дозволив зменшити траєкторії рухів працівника і, тим самим оптимізувати допоміжні прийоми завдяки скороченню шляху переміщення деталей. Отримані результати підвищують ефективність роботи швейного підприємства в напрямку покращення умов організації праці та надають відчутний економічний ефект за найменших затрат. Це актуально для технологів швейних виробництв за умови достатності рівня технічного оснащення підприємства та необхідності його оптимізації, що не потребують великих капіталовкладень.

**Ключові слова:** організація праці, робоче місце, технологічна операція, переміщувально-допоміжні прийоми, траєкторія робочого руху.

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах високої конкуренції велике значення для підприємства має право першості під час виготовлення та збуті своєї продукції. Успіх підприємства забезпечується лише за наявності таких конкурентних переваг, як якість продукції, технологія виготовлення (ноу-хау), ціна, час на виготовлення та постачання продукції клієнту [1]. Тобто, великого значення набувають оптимальні параметри виконання кожного етапу виробництва і, в результаті, прискорення моменту виходу продукції на ринок. Але, водночас кожне підприємство намагається мінімізувати витрати на оптимізацію технологічного процесу, аби прийняті заходи суттєво не вплинули на підвищення собівартості. Окрім того, більшість наших швейних підприємств перебу-

вають на достатньо високому технічному рівні: автоматизація розкрійного виробництва, широкий парк сучасних машин напівавтоматичної дії, механізація операцій за використання високотехнологічних конструкцій тощо [2].

**Аналіз попередніх досліджень та публікацій.** Сучасні наукові розробки [1; 3; 4; 5] щодо оптимізації та організації робочих місць передбачають впровадження у виробництво заходів, що дозволяють мінімізувати витрати на процес виробництва, підвищувати продуктивність завдяки зручному розташуванню робочих місць, вивільненню площ та позбавлення від непотрібних предметів, створення сприятливого психологічного клімату і стимулювання до праці. Вони забезпечують оснащення робочого місця відповідним його

призначенню основним і допоміжним обладнанням, технологічним та організаційним оснащенням, засобами зв'язку тощо.

Відомими є праці, в яких актуалізовані та розв'язанні завдання щодо особливостей формування технологічних процесів під час виготовлення швейних виробів з визначенням їхньої асортиментної стабільності, темпів змінюваності для встановлення характеристик гнучкості як важливого чинника стабільності техпроцесів на підприємствах галузі [6].

Досить глибоко, зі сторони науковців, обґрунтовані підходи з моделювання структури технологічного процесу виготовлення швейних виробів, яка ґрунтується на пропорційному розподілі роботи в кожній секції з урахуванням трудомісткості обробки виробів в умовах наявної прогресивної технології [3; 6].

З огляду на важливість забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних швейних виробів актуальними є дослідження, які спрямовані на систематизацію та узагальнення основних методів ухвалення рішення, які можуть бути використані під час оптимізації технологічних процесів виробництва швейних виробів та забезпечення їхньої якості [7].

Не дивлячись на цікавість до оптимізації, моделювання технологічних процесів, структуризації потокового виробництва, чітко простежується необхідність ергономізації технологічних процесів як умови, яка сприяє їхній продуктивності, ефективності та ресурсозбереженості.

**Постановка завдання.** У зв'язку з наявними технічними можливостями сучасних швейних підприємств та вимог конкурентного ринку, заходи, які спрямовані на оптимізацію технологічного процесу є економічно вигідними. Наразі, підвищувати власний технічний рівень виробництва є недоцільним та не виправдовує залучення великих матеріальних коштів на придбання нового обладнання [3, с. 5]. Тому, особливу цінність набувають організаційно-технологічні розробки, здатні підвищити ефективність роботи підприємства в напрямі покращення умов організації праці та надати відчутний економічний ефект за найменших затрат.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Кожне робоче місце слід розглядати як комплексну систему з багатьма параметрами, а також, як елемент складнішої системи – технологічного процесу. Параметри, що складають цю систему, можна умовно поділити на вхідні ( $x_1, x_2, x_n$ ) та проміжні [8; 9]. Проміжними параметрами є збурення ( $a_1, a_2, a_n$ ) та керовані параметри ( $v_1, v_2, v_n$ ).

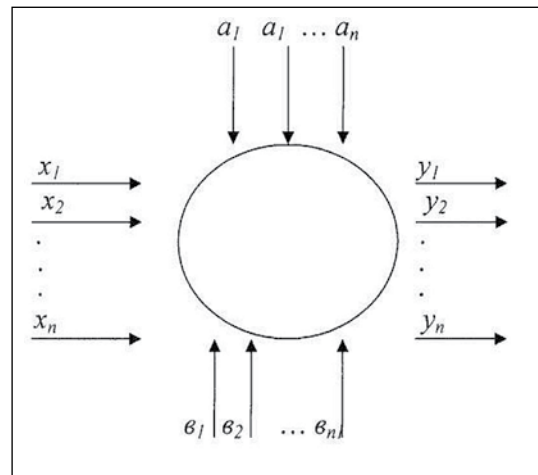


Рис. 1. Математична модель робочого місця

Складовими чинниками цієї системи є:

- робоче завдання;
- робітник з його індивідуальними психофізіологічними якостями, рівнем кваліфікації, ставленням до технологічної дисципліни тощо;
- обладнання, засоби виробництва;
- вплив довкілля та хід або послідовність робочого процесу.

Наявність професійно підготовленого робітника у великій мірі забезпечує якість виконання робочого завдання, високу продуктивність праці. Рівень підготовки робітника визначається такими показниками, як здібності, вміння, досвід, навички, здатність до навчання, самоконтролю, методика підготовки.

Одним з показників технологічного процесу є трудомісткість виготовлення виробу загалом і такого найменшого елемента як технологічно-неподільної операції (далі – ТНО), зазвичай на одному робочому місці за певними принципами об'єднується декілька ТНО, що складає організаційну операцію. Спостереження за виконанням організаційних операцій у швейних потоках дозволило виявити, що більшу частину робочого часу складають допоміжні прийоми (взяти виріб, перенести до місця праці, розрівняти виріб, визначити місце виконання операції, сумістити зрізи, відкласти оброблений напівфабрикат тощо). Основний час на виконання операції займає не понад 25-30 відсотків загального часу. Відомо, що лише одна частина операції –

$t_m$  (або  $t_{пр}$ ,  $t_{пр}$ ,  $t_{см}$ ,  $t_{на}$ ) піддається точному визначенню і розрахунку (формула 1), використовуючи довжину строчки, частоту стібка, швидкість обертів головного валу машини, часу пресування або прасування тощо:

$$t_{\text{НО}} = t_{\text{м}} + \Sigma t_{\text{дп}} + \Sigma t_{\text{пп}}; \quad (1)$$

Решта елементів операції ( $t_{\text{дп}}$ ,  $t_{\text{пп}}$ ) несуть тільки змістовне значення, тому що витрати часу залежать від суб'єктивних чинників і невизначеності організації праці [4]. Отже, для підвищення продуктивності праці необхідно впливати саме на час на виконання переміщувально-допоміжних прийомів. Цей напрям удосконалення робочого місця дає найбільший економічний ефект за мінімальних додаткових капітальних затрат.

Завдання з підвищення продуктивності праці шляхом вдосконалення організації робочого місця виконувалося авторами на базі швейного підприємства ТОВ «Едельвейс-Лего» (м. Мукачєво) на момент виконання ним замовлення партії жіночих жакетів. Загальна кількість робочих місць в аналізованому швейному потоці становить 32; деякі організаційні операції містять по 4-5 технологічно-неподільних операцій, що вимагає від робітників високої кваліфікації та чіткої організації праці на робочому місці.

Шляхом спостереження та хронометражу робочого часу працівниць були розроблені схеми організації робочих місць на 16 організаційних операцій з урахуванням розміщення напівфабрикатів, транспортних засобів, додаткового оснащення та інструментів.

Кожне робоче місце швейного потоку проаналізовано за такими чинниками [10, с. 17–23]:

- характеристика швейного обладнання;
- види транспортних засобів для переміщення деталей і напівфабрикатів;
- розміщення напівфабрикатів;
- інструменти та пристосування;
- використання рулонного постачання напівфабрикатів;
- наявність пристосувань для збільшення площі промислового столу під час обробки великих деталей;
- наявність додаткових площин для наближення деталей до працівника;
- характеристика організаційного оснащення і робочих меблів;

В таблиці 1 представлені результати аналізу робочих місць за названими чинниками.

Надалі авторами взяті для удосконалення такі організаційні технологічні операції та їхнє оснащення, що діють у досліджуваному швейному потоці:

- пришивання стійок до верхнього і нижнього комірів;
- обшивання коміра, вивертання, виправлення кутів коміра;
- зшивання ліктьових і передніх зрізів рукавів;

Таблиця 1

**Результати аналізу робочих місць технологічного процесу виготовлення жакету жіночого на ТОВ «Едельвейс\_Лего»**

Найменування чинника	Діючі організаційні заходи
1. Характеристика швейного обладнання	Універсальне та спеціальне швейне обладнання фірми «Джукі» з елементами автоматики: обрізка ниток в кінці строчки, автоматична закріпка початку і кінця строчки, автоматична зупинка голки, підняття лапки з допомогою коліно підіймача. Для виконання обшивних швів застосовується спеціальна машина з ножом для підрізання припусків на шви.
2. Види транспортних засобів	Ручні візки, візки-кронштейни, стелажі
3. Способи розміщення напівфабрикатів	до робочого місця пачки деталей поступають на візках, кронштейнах; перед виконанням операції деталі або напівфабрикати розкладають на допоміжну площу зліва від працівника; після виконання операції деталі або напівфабрикати перекладають на візки або кронштейни, розміщені праворуч від працівника.
4. Розміщення інструментів і пристосувань	Інструменти та пристосування, етикетки, крейда, допоміжні лекала розміщуються на кришці промислового столу
5. Використання рулонного постачання напівфабрикатів	Рулонне постачання застосовується для подачі посилюючої тасьми на організаційній операції «настрочування посилюючої тасьми на зрізи пройми, горловини спинки»
6. Наявність пристосувань для збільшення площі промислового столу під час обробки великих деталей	На операції «вшивання рукавів в пройму» застосовується збільшений промисловий стіл ергономічної форми: з заокругленими кутами, виїмкою для працівниці; а також, стілець, що обертається
7. Наявність додаткових площин для наближення деталей до працівника	Відсутні
8. Наявність засобів для обробки деталей шляхом перелистування	Відсутні

- виготовлення підкладки;
- обробка пілочок: зшивання виточок і рельєфних зрізів;
- обробка клапанів: обшивання клапанів, обрізання, вивертання, намітка ширини клапанів;
- обробка прорізної кишені в «рамку» (кінцева обробка після пришивання обшивки на напіваавтоматі);
- обробка спинки;
- зшивання бокових і плечових зрізів;
- обшивання бортирів;
- настрочування посилюючої тасьми на зрізи пройми, горловини спинки;
- вшивання коміру в горловину;
- вшивання рукавів в пройму;
- вшивання плечових накладок та підокатників в пройму;
- обшивання виробу підкладкою;
- вшивання підкладки рукавів в пройми.

На всіх вищенаведених організаційно технологічних операціях організація робочих місць однотипна, а саме:

- для розміщення необроблених деталей застосовується ліва допоміжна площина – міжстілля;
- з правого боку від працівника перебуває візок або кронштейн для розміщення оброблених деталей чи напівфабрикатів.

Відмінності простежуються в основному в кількості оброблюваних деталей та в кількості допоміжно-переміщувальних рухів.

У результаті проведеного на підприємстві аналізу стану організації робочих місць можна відмітити високу інтенсивність роботи у зв'язку з використанням швидкісного обладнання за достатньо високої кваліфікації робітників. Також, наявним є висока питома частка спеціального обладнання, оснащеного додатковим пристосуванням, якісне освітлення робочих місць та оптимально організований розподіл праці між робітниками.

Такий практичний аналіз дозволив систематизувати також напрями, що спонукають до розробки заходів з удосконалення робочого місця:

- наявність ручної праці в виді переміщувальних і допоміжних прийомів, що виконуються з високим показником циклічності та продуктивності;
- виконання ручних допоміжних прийомів під час технологічно-неподільних операцій, як правило, на момент зупинки машини;
- високі динамічні навантаження під час виконання рухів рук з великою траєкторією та обертових рухів тіла в різні боки для виконання

прийомів «взяти деталь» – вліво і «покласти оброблену деталь» – вправо. Навіть малі деталі – наприклад, клапани, підкладки кишень – також розміщені на міжстіллі.

Також, слід зазначити наявність недоцільних витрат часу на виконання вищеназваних допоміжних прийомів, спостерігається втомлюваність у кінці зміни від повторюваних одноманітних рухів, і як наслідок – зниження продуктивності праці.

Для визначення заходів вдосконалення робочих місць за основу взято методіку навчання за системою REFA, розробленою німецькими спеціалістами в області економіки, менеджменту, організації виробництва і яка являє собою програму підвищення кваліфікації фахівців з метою сприяння ефективності операційних виробничих процесів [6; 7]. Одним з напрямів системи є організація робочого місця з точки зору антропометрії, умов праці, навантаження і напруженості. Поділ операцій на етапи, виділяючи конкретні види діяльності, дозволяє виявити вузькі місця – ті етапи, які можна і потрібно оптимізувати; встановити, на яких виробничих ділянках виникають втрати; на які операції витрачається більше часу, ніж потрібно, або, навпаки: виділяється недостатньо часу, що теж погано. Під час вивчення умов праці за системою велика увага приділяється аналізу рухів робітника. Безперечно, недоцільні, неекономні, зайві рухи призводять до втомлюваності, збільшення часу на виконання операції, і в результаті – до зниження продуктивності праці, особливо в кінці зміни.

Аналіз рухів виконується в такому порядку:

- 1) вибирається конкретне робоче місце та вивчається розміщення деталей на ньому;
  - досліджуються і графічно унаочнюються всі рухи робітниці на схематичному зображенні робочого місця у масштабі, які вона виконує для обробки одиниці виробу, з обов'язковим визначенням довжини шляхів, що виконуються руками;
  - визначається загальна довжина траєкторії рухів та час їхнього виконання. На цім як середній час на виконання одного метра руху рукою приймається одна секунда. Час на виконання рухів можна визначити з допомогою хронометражу, не враховуючи основний час на виконання операції;
  - досліджується робоче місце з метою визначення вузьких місць;
  - розробляється новий проект (варіант) робочого місця (пропонуються до впровадження нові транспортні заходи, додаткові площини, способи чи методи подачі напівфабрикатів до робочого місця, змінюється їхнє розташування з метою

оптимізації рухів робітниці та скорочення траєкторії робочих рухів);

- визначаються параметри всіх рухів робітниці у новому варіанті;
- виконується порівняльний аналіз параметрів рухів робітниці (довжин шляхів і їхня траєкторія) на робочих місця до і після вдосконалення; визначається підвищення продуктивності праці.

Слід зазначити, що довжина рухів робітниці під час виконання операції має значення за двома причинами: по-перше, дійсно, чим довшу траєкторію виконує рука, тим більше часу на це потрібно; по-друге, якщо напівфабрикат перебуває в зоні бокового зору людини, прийоми «взяти деталь» або «покласти оброблену деталь», виконуються більш оптимально.

Надалі виконувався етап вдосконалення робочих місць діючого потоку, що дав змогу зменшити траєкторії рухів робітниці й тим самим оптимізувати допоміжно-переміщувальні прийоми завдяки скороченню шляху переміщення деталей.

Як практичну розробку в даній статті вибірково представляється вдосконалення на операціях, які подані в таблицях 2-4.

В цьому випадку, на організаційно-технологічній операції «пришивання стійок до верхнього і нижнього комірів» запропонованими є таке:

- заміна міжстілля на збільшену кришку промислового стола;
- розміщення необроблених деталей зліва частково на основній площі стола, частково на збільшеній його кришці;

Таблиця 2

**Прийоми виконання організаційних операцій за наявною технологією та після вдосконалення операції 1**

№ з/п	Прийоми виконання	Кількість прийомів	Траєкторія рухів (см)		Організація робочого місця
			До вдосконалення	Після вдосконалення	
<b>Операція 1 - Пришивання стійок до верхнього і нижнього комірів</b>					
1	Перевірити деталі крою	1	-	-	<i>До вдосконалення</i>
2	Перекласти деталі крою з візка на міжстілля (для пачки деталей 20 одиниць)	1	220/20	-	
2в	Перекласти деталі крою з візка на додаткову площину (для пачки деталей 20 одиниць)	1	-	130/ 20	
3	Взяти стійку верхнього коміра, верхній комір, піднести до стола, сумістити зрізи	4	60x2	40x2	
4	Пришити стійку до верхнього коміра	-	-	-	
5	Прокласти оздоблювальну строчку по стійці верхнього коміра	-	-	-	
6	Зробити надсічки по коміру	3	-	-	
7	Відкласти верхній комір на візок	1	85	80	
8	Взяти стійку нижнього коміра, нижній комір, піднести до стола, сумістити зрізи	4	65x2	40x2	<i>Після вдосконалення</i>

– розміщення візка для оброблених деталей чи напівфабрикатів зліва біля збільшеної кришки стола.

На організаційно-технологічній операції «зшивання ліктьових і передніх зрізів рукавів» запропонованими є таке:

- заміна міжстілля на збільшену кришку промислового стола;
- застосування похилої площини зі зсувним покриттям (невеликий кут нахилу потрібен для кращого охоплення зором деталей) над промисловим столом зліва від робітниці;
- розміщення необроблених деталей у такий спосіб: верхні коміри та стійки – на промисловому столі, нижні коміри та стійки – на похилій площині (Допускається довільне розміщення деталей для зручності працівнику);
- візок для оброблених деталей розмістити зліва біля збільшеної кришки стола.

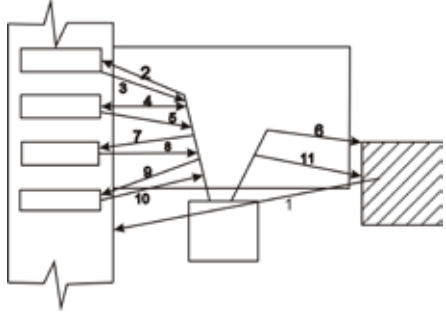
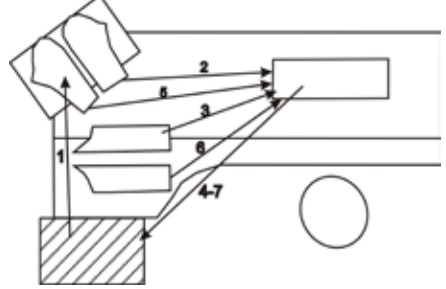
На організаційно-технологічній операції «обшивання клапанів» запропонованими є таке:

- заміна міжстілля на передню додаткову поверхню промислового стола для розміщення дрібних деталей;
- розміщення необроблених деталей у такий спосіб: верхні нижні клапани – на передній додатковій передній площині, що не потребує виконання додаткових рухів, щоби дістати необроблені деталі;
- візок для оброблених деталей розмістити зліва біля збільшеної кришки стола. З огляду на невеликий розмір оброблених деталей, прийом «відкласти оброблену деталь» виконують для пари клапанів один раз.

Нижче (табл. 5), систематизованими є результати вимірювань траєкторії допоміжно-переміщувальних прийомів до і після вдосконалення організації робочих місць.

Таблиця 3

**Прийоми виконання організаційних операції за наявною технологією та після вдосконалення на операції 2**

№ з/п	Прийоми виконання	Кількість прийомів	Траєкторія рухів (см)		Організація робочого місця
			До вдосконалення	Після вдосконалення	
<b>Операція 2 - «Зшивання ліктьових і передніх зрізів рукавів»</b>					
1	Перевірити деталі крою	1	-	-	<i>До вдосконалення</i> 
2	Перекласти деталі крою з візка на міжстілля (для пачки деталей 10 одиниць)	1	220/10	-	
2в	Перекласти деталі крою з візка на додаткову і похилу площини (для пачки деталей 10 одиниць)	1	-	130/10	
3	Взяти правий рукав (ліктьову та передню частини) обома руками, піднести до стола, сумістити ліктьові зрізи	4	75x2	50x2	
4	Зшити ліктьові зрізи правого рукава	-	-	-	
5	Сумістити передні зрізи правого рукава	1	-	-	
6	Зшити ліктьові зрізи правого рукава	-	-	-	
7	Вивернути правий рукав	1	-	-	
8	Відкласти правий рукав на візок	1	85	80	<i>Після вдосконалення</i> 
9	Взяти лівий рукав (ліктьову та передню частини) обома руками, піднести до стола, сумістити ліктьові зрізи	4	70x2	45x2	
10	Зшити ліктьові зрізи лівого рукава	-	-	-	
11	Сумістити передні зрізи лівого рукава	1	-	-	
12	Зшити ліктьові зрізи лівого рукава	-	-	-	
13	Вивернути лівий рукав	1	-	-	
14	Відкласти лівий рукав на візок	1	85	80	
Всього:			452	363	

**Прийоми виконання організаційних операцій за чинною технологією  
та після вдосконалення операції 3**

№ з/п	Прийоми виконання	Кількість прийомів	Траєкторія рухів (см)		Організація робочого місця
			До вдосконалення	Після вдосконалення	
<b>Операція 3 - Обшивання клапанів</b>					
1	Перевірити деталі крою	1	-	-	<i>До вдосконалення</i>
2	Перекласти деталі крою з візка на міжстілля (для пачки деталей 20 одиниць)	1	200/20	-	
2в	Перекласти деталі крою з візка на передню додаткову площину (для пачки деталей 20 одиниць)	1	-	100/20	
3	Взяти клапан з нижнім клапаном, піднести до стола, сумістити зрізи	4	65x4	20x4	
4	Обшити клапан, висікти зайву тканину з кутиків клапану, вивернути клапан	2	-	-	
5	Намітити ширину клапана	2	-	-	
6	Відкласти клапан на візок	2	85x2	80	
	Всього:		440	165	<i>Після вдосконалення</i>

Таблиця 5

**Основні показники вимірювань допоміжно-переміщувальних прийомів організаційних операцій**

Операції	Довжина допоміжних рухів, м		Час на виконання допоміжних рухів, с	
	До вдосконалення	Після вдосконалення	До вдосконалення	Після вдосконалення
Операція 1	446	327	5	3
Операція 2	452	363	5	4
Операція 3	440	165	5	2

Отже, траєкторія робочих рухів скоротилася у першій операції на 119 см, у третій – на 89 см, у шостій операції – 275 см; витрати часу на одиницю виробу скоротилися, відповідно, на 2 с, 1с та на 3 с. Для одного виробу це не так суттєво, але, якщо врахувати випуск за зміну, ці результати підвищення продуктивності праці будуть значними. Наприклад, якщо випуск за зміну складає 500 шт., економія часу на одній операції відповідно 16 хв, 8 хв та 24 хв. Отже, лише вдосконалення трьох

операцій може принести 52 хв. економії часу за зміну. Вдосконалення робочих місць всіх досліджуваних операцій, призведе до суттєвого підвищення показників продуктивності та ефективності наявного швейного потоку.

**Висновки.** Отже, актуалізований в даній роботі підхід з вдосконалення робочих місць шляхом аналізу траєкторії допоміжно-переміщувальних рухів працівника під час виконання технологічних операцій з метою її скорочення є малозатратним



та актуальним на сучасних швейних підприємствах з достатнім рівнем технічного оснащення, що не готові до великих капіталовкладень, але прагнуть до покращення економічних показників. Представлений в статті власний досвід авторів є актуальним для підприємств, перед якими стоїть завдання оптимізації технологічного процесу, і може бути використаний технологіями під час

впровадження заходів, що не потребують великих капіталовкладень. Окрім підвищення продуктивності виробництва, завдяки поліпшенню ергономіки робочого місця ці заходи дають змогу зменшити втомлюваність робітників, що, зі свого боку, покращує умови праці та дає змогу стабілізувати рівень продуктивності праці впродовж робочої зміни.

#### Список літератури:

1. Матиенко Е.В. Использование стандартов REFA для оптимизации производственных систем и материальных потоков предприятия. URL: [masters.donntu.org/2009/mech/matienko/diss/index.htm](http://masters.donntu.org/2009/mech/matienko/diss/index.htm) (дата звернення 24.03.2019).
2. Застосування математичних моделей при розв'язанні задач оптимізації процесів швейного виробництва / Л. Б. Білоцька, Н. В. Білей-Рубан. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки» : науковий журнал*. Хмельницький : ХНУ, 2006. № 3. С. 7–9. URL: <http://dSPACE.msu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/481> (дата звернення 25.01.2019).
3. Моделирование и оптимизация технологических процессов / Г.Э. Литвиненко, Л.К. Яцишина. Київ : Вища школа, 2000. 252 с.
4. Кокеткин П.П. Способ концентрации технологически неделимых операций и оптимизации последовательности их выполнения как фактор мобильности процесса изготовления одежды и снижения трудоемкости. *Швейная промышленность*. 2005. № 5. С. 47–51.
5. Организация рабочей системы и процессов. Нормирование операций. URL: <https://iib.com.ua/ru/refa/modul-2.html> (дата звернення 03.07.2018).
6. Стабільність технологічних процесів як основа сучасного управління швейним виробництвом / Н.В. Білей-Рубан, Р.А. Мороз, Н.О. Гузинець. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля : науковий журнал / гол. редактор Голубенко О.Л. Луганськ : СНУ імені В.Даля*, 2012. № 12(183). Частина 1. С. 35–41. URL: <http://dSPACE.msu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/483> (дата звернення 03.07.2018).
7. Білей-Рубан Н.В. Моделирование производств швейной галузі з використанням іконографічних моделей. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2013. № 1. С. 15–22. URL: <http://dSPACE.msu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/486> (дата звернення 25.09.2018).
8. Современные методы проектирования швейного производства / Т.М. Серова, А.И. Афанасьева. Москва : МГУДТ, 2004. 287 с.
9. Сучасні підходи до організації робочих місць / С.Н. Полуда, А.І. Попова. *Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку науки і освіти в умовах поглиблення євроінтеграційних процесів»*. 2018. С. 499–501. 17-18 травня 2018 р.
10. Эффективность повышения организационно-технического уровня швейных предприятий / Ю.А. Доможиров, О.Н. Долина. Москва : Легпромбытиздат, 1988. 144 с.
11. Організація робочих місць у швейних потоках. *Навчальний посібник з дисципліни «Технологія швейних виробів» для студентів-бакалаврів спеціальності «Швейні виробы»* / Г.Г. Білоусова, Г.Є. Литвиненко. Київ : КНУТД, 2003. 40 с.

#### **Bilei-Ruban N.V., Poluda S.N. IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR THE PRODUCTION OF CLOTH ON THE BASIS OF THE ERGONOMIC REORGANIZATION OF WORK PLACES**

*The article deals with modern approaches in the organization of technological processes of sewing production with a high level of productivity and flexibility. It is actualized that the most economically advantageous is the increase of production rates on the basis of improving the workplace of a certain technological operation. The modern scientific researches on optimization and organization of workplaces, which provide its equipment with the intended purpose of the main and auxiliary equipment, technological and organizational equipment, means of communication, are worked out. Also the problems regarding the peculiarities of the formation of technological processes in the manufacture of sewing products are important. With the definition of their assortment stability, the rate of change for the establishment of characteristics of flexibility as an important factor in the stability of technological processes in the enterprises of the garment industry. The research was carried out using methods of optimization, modeling of technological processes, which is based on the*



*structuring of stream production and principles of ergonomization. This is a condition that promotes productivity, efficiency and resource saving in modern sewing production. Schemes of organization of workplace organizational operations were developed taking into account the location of semi-finished products, vehicles, additional equipment and tools. A number of organizational technological operations under real production conditions have been improved. That allowed reducing the trajectories of employee movements, and thus optimizing the auxiliary techniques by reducing the way of moving parts.*

*The obtained results increase the efficiency of the sewing enterprise in the direction of improving the conditions of labor organization and provide a tangible economic effect at the least cost. They are actual for sewing industry technologists on the condition of the sufficient level of technical equipment of the enterprise and the necessity of its optimization that does not require large investments.*

**Key words:** *labor organization, workplace, technological operation, moving-auxiliary techniques, trajectory of movement.*

**Грушковська А.О.**

Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук

**Даниленко С.Г.**

Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук

**Крижська Т.А.**

Сумський національний аграрний університет

**Хоньків М.О.**

Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук

## **ВПЛИВ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ НА ПОКАЗНИКИ ЖИТНЬОЇ ЗАКВАСКИ**

У даній статті наведено спосіб приготування заквасок для житніх сортів хліба з додаванням чистих культур молочнокислих бактерій різних видів. Описано процес виведення та наведено показники якості готових заквасок, а саме, органолептичні та біотехнологічні. Досліджено специфіку змін кислотності, піднімальної сили, та активності молочнокислих бактерій як основних показників якості заквасок в процесі оновлення. Досліджено чинники, які впливають на активність молочнокислих бактерій, вибрано оптимальні параметри бродіння закваски та наведена порівняльна характеристика із контрольними зразками, а саме закваскою спонтанного бродіння та закваскою з додаванням дріжджів *S. cerevisiae*. В роботі було схарактеризовано органолептичні властивості заквасок. Закваски через 120 год зберігання мали більш виражений, як порівняти зі свіжими заквасками, аромат. Плісняви на поверхні жодної закваски не спостерігалося.

Виявлено, що в заквасці, приготовленої із використанням культури *Lactobacillus buchneri* найкращі показники піднімальної сили та кислотності.

У закваски виведеної з додаванням культури *L. fermentum* на 120 годину оновлення піднімальна сила становила 50 хв, на рівні з закваскою спонтанного бродіння, це дало змогу визнати її непридатною для розведення (закваска потребує більше ніж п'ять оновлень).

Застосування молочнокислих бактерій дозволяє вести та зберігати закваску в активному стані. Кінцева кислотність і піднімальна сила закваски, яку було отримано під час досліджень, становила 22 град і 25 хв відповідно.

На основі аналізу біотехнологічних показників заквасок та їхньої зміни в процесі оновлення зроблено висновки щодо їхньої стійкості. Зроблено припущення про наявність стійких штамів молочнокислих бактерій та доцільність їхнього застосування у складі заквасок, що дасть змогу отримати вироби з високими органолептичними та фізико-хімічними показниками якості.

**Ключові слова:** борошно, житній хліб, молочнокислі бактерії, закваска, активність, бродіння.

**Постановка проблеми.** Хліб – один із найважливіших харчових продуктів всіх жителів Землі упродовж багатьох тисячоліть. Виробники пропонують великий асортимент різновидів хліба, багато які з них мають унікальні властивості.

Декілька століть тому в Україні хлібобулочні вироби з житнього борошна були досить поширеними, на відмінну від пшеничних, які вважалися делікатесом і випікалися лише до великих свят. Традиційно, житні та житньо-пшеничні види хлібобулочних виробів виготовляють із використанням заквасок. Це пов'язано з особливостями вуглеводно-амілазного та білково-протеїназного

комплексів житнього борошна [1, с. 33; 2, с. 25].

Хімічний склад житнього борошна характеризується зниженим вмістом білка. За структурою житнє тісто менш еластичне та менш пружне, бо в ньому немає каркасу клейковини, властивого пшеничному тісту. На ступінь пептизації білів суттєво впливають насамперед вміст молочної кислоти житнього тіста та кислотність. За недостатньої високої кислотності у рідку фазу житнього тіста переходить невелика кількість пептизованого білку [3, с. 5].

Закваска – це густий чи рідкий напівфабрикат хлібної промисловості, дія якої базується на

комбінації спиртового і молочнокислого бродіння поживної суміші житнього, житньо-пшеничного або пшеничного борошна [4, с. 16].

Для виробництва хліба з високими якісними характеристиками застосовують закваски на основі чистих молочнокислих культур, дія яких забезпечує високі якісні характеристики у готовому продукті. Смак і аромат хліба багато в чому залежать від співвідношення вмісту молочної та оцтової кислот. Молочна кислота надає хлібу приємний кислуватий смак, а оцтова – специфічний аромат. Саме зброджування частини борошна в заквасці забезпечує отримання вищої початкової кислотності тіста. Водночас створюються оптимальні умови для зниження активності  $\alpha$ -амілази, для достатнього набухання білків, пентозанів і оболонкових частинок. Це забезпечує отримання хліба із житнього та житньо-пшеничного борошна з високими смаковими властивостями [5, с. 1168; 6, с. 181; 7, с. 28; 8, с. 347].

Попри удаване різноманіття хлібопекарських заквасок на ринку, всі культури умовно можна розділити на 3 принципово різні групи:

1) сухі закваски на основі чистих культур молочнокислих бактерій і дріжджів;

2) рідкі або сухі інактивовані закваски на основі борошна та/або зерна, ферментовані молочнокислими мікроорганізмами та дріжджами;

3) рідкі або сухі активні закваски на основі борошна та/або зерна, ферментовані молочнокислими мікроорганізмами та дріжджами [4, с. 326].

Основні функції закваски:

- підвищення кислотності напівфабрикатів;
- вплив на формування реологічних властивостей тіста;
- поліпшення смакових-ароматичних властивостей готової продукції;
- прискорення процесу бродіння, збільшення водопоглинальної здатності тіста;
- зниження крихтливості, надання більшої еластичності м'якушці виробів (більш волога на дотик);
- більш виражений молочнокислий смак та аромат хліба;
- сповільнення черствіння.

Стабільність біотехнологічних властивостей заквасок досягається дотриманням необхідних технологічних параметрів (температура, вологість, тривалість бродіння, кількість закваски, кількість оновлень). Відомо, що зі збільшенням вологості заквасок створюються кращі умови для розвитку дріжджів, знижується інтенсивність кислотоутворення, а результатом є зменшення

кількості поживних речовин для молочнокислих бактерій [9, с. 23; 10 с. 4].

Відомо, що спонтанна мікробіота закваски не завжди може забезпечити контрольований перебіг бродіння напівфабрикатів. Тому рекомендується до складу закваски слід додавати чисті культури молочнокислих бактерій, які активно пригнічують спонтанну мікробіоту та «дикі» дріжджі [10, с. 32].

Біотехнологічні процеси в заквасці визначаються мікробіотою. Гомоферментативні молочнокислі бактерії – під час зброджування гексоз утворюють виключно молочну кислоту та ароматичні речовини (типовим представником є *L. casei*), а гетероферментативні молочнокислі бактерії (*L. brevis*), які утворюють до 72% молочної кислоти та 21% летких кислот (переважно оцтову) газ (переважно діоксин вуглецю) та незначну кількість спирту [11, с. 32].

Кислотоутворююча мікробіота густих спонтанних заквасок досить різноманітна. Панівними видами в них є *L. plantarum*, *L. brevis* та *L. fermentum*, в меншій кількості – *L. casei* та *L. buchneri*. Термофільний вид *L. leichmannii* виявляється дуже рідко. Для густих житніх заквасок характерно два види молочнокислих бактерій – *L. brevis* і *L. plantarum*, що пов'язано, очевидно, з температурним режимом ведення заквасок. Рідкі житні закваски за видовим складом кислотоутворюючої мікрофлори мало відрізняються від густих. У них виявляються ті ж види бактерій: *L. plantarum*, *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. casei* та в поодиноких випадках *L. buchneri* та *L. delbrückii*. Температура за якої відбувається ведення рідких заквасок 32-35°C позитивно впливає розвиток саме цієї мікробіоти [12, с. 10–24].

Залежно від температури бродіння гетероферментативні молочнокислі бактерії продукують різну кількість кислот. Наприклад, за температури вище 30°C утворюється більше молочної кислоти, а за температури нижче 25°C – більше оцтової. На співвідношення молочної та оцтової кислот впливають також й інші чинники, такі, як вид та сорт борошна, вологість напівфабрикатів. Чим вища зольність борошна, тим більше утворюється оцтової кислоти (це пояснюється тим, що оцтова кислота утворюється під час зброджування ксилози, яка міститься в оболонках зерна), і лише гетероферментативними молочнокислими бактеріями. Під час збільшення вологості закваски збільшується активність гомоферментативних бактерій і, відповідно, інтенсивніше продукують молочну кислоту [13, с. 227–234; 14 с. 542].

Молочнокислі бактерії *L. sanfranciscensis* належать до гетероферментативних МКБ. В процесі бродіння вони утворюють молочну, леткі органічні кислоти, етанол і вуглекислий газ, екзополісахариди, протимікробні сполуки та ферменти [15, с. 180].

Попит на житні та житньо-пшеничні сорти хліба останнім часом збільшується, тому підприємства переходять на випуск цих сортів хліба. Ведення заквасок на підприємствах вимагає необхідного устаткування та час на оновлення. У зв'язку з вищевикладеним в даній роботі було проведено дослідження технології приготування житнього тіста з використанням різних видів молочнокислих бактерій, які надалі буде залучено до складу нової закваски для хліба з житнього борошна. Дослідження зі створення нових хлібопекарських заквасок для хліба з житнього борошна, які забезпечують високу якість продукції, є актуальними.

**Постановка завдання.** Для отримання високоякісного хліба з житнього борошна необхідно забезпечити кислотність тіста не нижче 12-14 град. Для досягнення такої кислотності хліб виробляють з використанням різних видів заквасок, що дозволяє помітно скоротити виробничий процес, збільшити терміни зберігання та надати заданої функціональності [16 с. 212].

*Метою* даної роботи є вивчення впливу різних штамів молочнокислих бактерій на біотехнологічні показники рідкої житньої закваски.

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

дослідити вплив різних штамів молочнокислих бактерій на динаміку кислотоутворення та піднімальну силу закваски;

визначити кількість оновлення закваски для встановлення необхідних біотехнологічних параметрів закваски.

Для приготування закваски використовували різні штами молочнокислих бактерій (далі – МКБ) видів *Lactobacillus buchneri* (зразок 1), *L. brevis* (зразок 2), *L. fermentum* (зразок 3), *L. casei* (зразок 4), *L. plantarum* (зразок 5), борошно житнє обдирне, яке характеризувалося такими фізико-хімічними показниками: вологість – 11%, титрована кислотність 4,2 град, зольністю – 1%. Готували закваски вологістю 55-65%, поновлення проводили кожні 24 годин шляхом змішування закваски попереднього приготування з додаванням еквівалентної кількості поживної суміші з борошна та води та знову залишали на 8 годин за температури 25-26°C. Як контроль 1 вико-

ристовували закваску, до якої входили дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, Контроль 2 – на основі тільки борошна та води.

Молочнокислі бактерії культивували у такий спосіб: музейну культуру стерильно засівали у пробірку із не фільтрованим сушлом (СР=12%), вирощували 24±2 год за  $t=32\pm 2^\circ\text{C}$ .

Для визначення підімальної сили, титрованої кислотності, масової частки вологи та активності молочнокислих бактерій у заквасці застосовували загальноприйняті методи [17, с. 111–118], а саме: активність МКБ визначали за тривалістю знебарвлення метилового синього: низька активність 90-100 хв, висока активність 35-50 хв, дуже висока – 7-30 хв; титрована кислотність – визначали титрування розчином гідроксиду натрію; вологість – висушуванням на приладі Чижової до сталої маси за температури 160°C.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Суміш із борошна та води вводилася стабільно протягом усього часу виведення, після проведення кожного оновлення через 72, 96 і 120 год відповідно. Співвідношення води до борошна було постійним і становило 1:2.

Результати оцінки підімальної сили заквасок за методом спливання кульки, вологості та титрованої кислотності представлені в таблиці 1.

Відомо, що у виробничому циклі якісна закваска повинна мати вологість 48-50%, кислотність 13-16 град. та піднімальну силу «за кулькою» до 25 хв.

Як видно з табл.1, кислотність у дослідних заквасках накопичуються інтенсивніше. І вже на 96 годину відновлення за даним показником закваски 2 та 3 можуть використовуватися у виробництві, а за показником підімальної сили лише одну – зразок 2.

У всіх зразках на 48 год відновлення кислотність у 2,5 раза вища, ніж на перші 24 год.

Виявлено, що повільніше накопичувала кислотність закваска – це може означати низький потенціал утворення кислоти бактеріями *L. casei*.

Також в процесі оновлення заквасок нами контролювався показник підімальної сили. Після першого оновлення у всіх закваски була відсутня підімальна сила, а після 2-го відновлення, як видно з табл. 1, цей показник склав для окремих заквасок приблизно 50 хв. З кожним наступним відновленням показник підімальної сили покращувався і на 120 годину відновлення для зразка 2 та контролю 1 приблизно 30 хв, а середньому зростала за кожен добу бродіння на 5-6 хв.

Було встановлено, що закваски вологістю 50-70% після кожного відновлення досягають кислотності 12 град в середньому через 24 год.

Органолептичні показники зразків всіх заквасок покращувались – з'явився приємний кисломолочний запах, у деяких зразках – взагалі був явно виражений запах кислій капусти з легким запахом органічних кислот, порівнюючи зі свіжими заквасками. Плісняви на поверхні жодної закваски не спостерігалось. Консистенція – в'язка, слизиста, пориста, що в даному випадку є важливим чинником у подальших технологічних стадіях приготування виробу.

У процесі дозрівання закваски здійснювали контроль активності МКБ. Активність молочнокислих бактерій у заквасках стабілізувалася на високому рівні на п'яту добу та становила 18-50 хв, за дотримання температурного режиму 23-25°C, без врахування контролю 2, у якого активність МКБ становила 80 хв, що можна пояснити нестабільною спонтанною мікробіотою. Найбільш активний розвиток молочнокислих бактерій (рис. 1) відбувається за поновлення закваски на 72-96 год бродіння.

У контролі 1, спостерігалася дещо гірша активність, чим у зразках із молочнокислими мікроор-

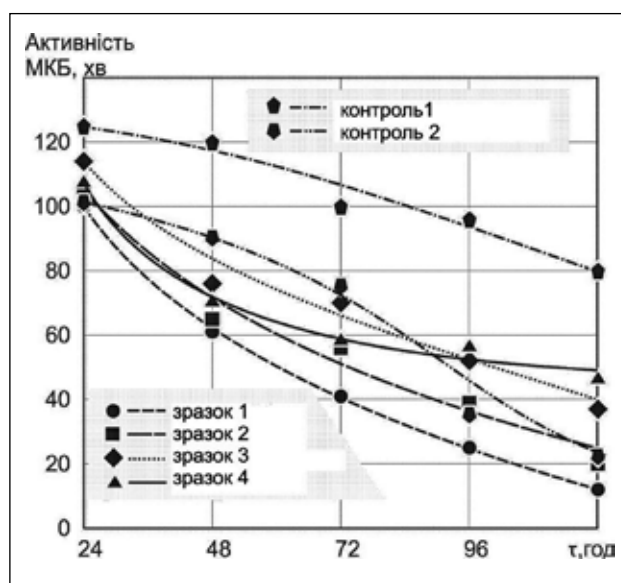


Рис. 1. Залежність активності молочнокислих бактерій від тривалості оновлення заквасок

ганізмами, а це свідчить про розвиток конкурентної мікробіоти у заквасках.

Як видно з даного малюнка активність МКБ почала зростати на 72 год бродіння, а на ще через 48 год після цього активність зразків до складу

Таблиця 1

Послідовність оновлення закваски

Показники	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Контроль 1	Контроль 2
<b>0 год</b>						
Кислотність, град	5,7	5,2	6,2	3,3	4,9	0,99
Вологість, %	60,29	57,92	58,29	57,60	62,68	66,16
Піднімальна сила, хв.	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня
<b>24 год</b>						
Кислотність, град	12,7	12,9	13,2	7,6	5,5	2,0
Вологість, %	57,64	56,10	65,84	58,19	58,39	66,91
Піднімальна сила, хв.	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня
<b>48 год</b>						
Кислотність, град	12,8	11,3	11,6	6,9	4,6	2,4
Вологість, %	66,9	54,81	55,91	51,90	59,39	62,37
Піднімальна сила, хв.	52,0	42,0	відсутня	48,0	40,0	відсутня
<b>72 год</b>						
Кислотність, град	13,0	11,4	13,0	7,7	6,1	4,9
Вологість, %	56,75	55,55	58,86	55,94	61,6	64,70
Піднімальна сила, хв.	46,2	34,5	60,0	41,0	34,0	відсутня
<b>96 год</b>						
Кислотність, град	22,3	18,9	18,1	12,9	14,5	15,0
Вологість, %	59,2	62,3	54,45	57,54	64,0	62,3
Піднімальна сила, хв.	42,2	27,0	53,0	38,5	30,0	50,0
<b>120 год</b>						
Кислотність, град	22,6	18,3	20,4	16,6	16,8	17,4
Вологість, %	58,0	60,0	52,0	58,0	60,0	62,0
Піднімальна сила, хв.	38,0	25,0	50,0	36,0	31,0	48,0

Залежність показника активності МКБ від кислотності

Показник \ Закваска	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Контроль 1	Контроль 2
Кислотність, град	22,6	18,3	20,4	16,6	16,8	17,4
Активність МКБ, хв.	18,0	20,0	37	47,4	22,0	80,0

яких входили заквашувальні культури активність була дуже висока та становила 15-25 хв.

Високу активність мали закваски 1,2-18,20 хв відповідно, що, ймовірно, пов'язано зі складом бродильної мікробіоти, а саме діяльністю гетероферментативних молочнокислих бактерій.

З таблиці 2 видно, активність МКБ у двох дослідних зразках 1 і 2 та контролі 1 становила приблизно 20 хв, що можна схарактеризувати як дуже висока активність МКБ. У контролі 2 активність МКБ була дуже низька і становила 80 хв, що можна пояснити низькою активністю спонтанної мікробіоти закваски. Додавання дріжджів до складу закваски сприяє активному росту кислотності, що надалі дасть змогу отримати тісто з високими підймальними властивостями.

Між активністю молочнокислих бактерій і кислотністю є не значний кореляційний зв'язок (коефіцієнт  $r = -0,6$ ).

Отже, дослідження показали, що показники якості експериментальних заквасок стабілізува-

лися на високому рівні на п'яту добу за дотримання температурного режиму 23-25°C.

**Висновки.** Отже, використання чистих культур молочнокислих бактерій в кількості 3,0% від маси борошна за приготування першої фази циклу рідкої житньої закваски за загальноприйнятою технологією забезпечує отримання закваски з підйимальною силою 20-25 хв і кислотністю до 22 град.

Стабільні біотехнологічні показники заквасок були отримані після четвертого оновлення, що дасть змогу надалі отримати хліб високої якості.

Встановлено, що в заквасках, приготовлених із використанням культури *Lactobacillus buchneri* сприяло поліпшенню підйимальної сили заквасок та кислотності.

Показано, що закваски через 120 год зберігання мали більш виражений, як порівняти зі свіжими заквасками, аромат. Плісняви на поверхні жодної закваски не спостерігалося.

#### Список літератури:

1. Афанасьєва О.В. Микробиологический контроль хлебопекарного производства. Москва : Пищевая промышленность. 1976. 142 с.
2. Кусова И.У. Закваски при производства ржаного хлеба. *Кондитерское хлебопекарское производство*. 2009. № 9. С. 24–26
3. Сарычев Б. Технология и биохимия ржаного хлеба. *Хлебопекарська і кондитерська промисловість України*. 2010. № 9. С. 5–7
4. Дробот В.І. Довідник з технології хлебопекарського виробництва : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Руслана. 1998. 416 с.
5. Rollan G., Geres C., Dallagnol A., Torino M., Font G. Update in bread fermentation by lactic acid bacteria. *Current research, technology and education, topics in applied microbiology and microbial biotechnology*. 2010. 8. P. 1168–1174.
6. Дробот В.І., Сильчук Т.А. Використання закваски спонтанного бродіння при виробництві житньо-пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ*. 2016. Т. 22, № 1. С. 180–184.
7. Матвеева І.В. Мікроінгредієнти і якість хліба. *Харчові інгредієнти. Сировина і добавки*. 2000. 1. С. 28–31.
8. Włodarczyk M. Associated cultures of lactic acid bacteria and yeasts in the industrial production of bread. *Acta Alim*. 1985. Pol 11. P. 345–359.
9. Аношкина Г. Производство хлеба из ржаной и смеси ржано-пшеничной муки. *Хлебопродукты*. 2001. 1. С. 23–25.
10. Sylchuk T.A., Kulinich VI, Sidorenko A.A. Application acidifiers the production of rye-wheat bread. *Bakery and confectionery industry Ukraine*. 2015. 5(126). С. 3–5.
10. Кузнецова Л. Технология и ассортимент ржаного хлеба. *Хлебопродукты*. 2005. 1. С. 32–33.
11. Gayathri A., Gayathri D. Antagonistic Potential of *Lactobacillus* Spp against Enteropathogenic Bacteria; Purification and Characterization of their Bacteriocins. *Advance J. of Food Science and Technology*. 2012. 4 (5). P. 265–269.

12. Афанасьева О.В. Технологические требования к микроорганизмам, применяемым в хлебопекарном производстве. Москва : Пищевая промышленность. 1976. 243 с.
13. Козьмина Н.П. Биохимия хлебопечения. Москва : Пищевая промышленность, 1971. 437 с.
14. Corsetti A, Settanni L Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Res Int.* 2007. 40(5). P. 539–558.
15. Gamze Yazar, Sebnem Tavman Functional and Technological Aspects of Sourdough Fermentation with *Lactobacillus sanfranciscensis*. *Food Eng Rev* 2012. № 4. P.171–190. DOI 10.1007/s12393-012-9052-1
16. Сильчук Т.А., Дробот В.І. Дослідження біотехнологічних властивостей тістових напівфабрикатів. *Наукові праці НУХТ.* 2017. Т. 23. № 1. С. 210–215.
17. Дробот В. І. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського і макаронного виробництва. Київ : Центр навч. літератури, 2006. 341 с.

#### **Hrushkovska A.O., Danylenko S.H., Kryzhska T.A., Khonkiv M.O. APPLICATION OF LACTIC ACID BACTERIA ON THE INDICATORS OF RYE SOURCE**

*A method of making starter for rye bread with the addition of pure cultures of different species of lactic acid bacteria is adduced in this article. The growing process of bacteria is described and the quality parameters of ready starters are given, namely, sensorial and biotechnological ones. The specificity of changes in acidity, rising power, and activity of lactic acid bacteria as the main parameters of leaven quality in the process of renewal is studied. Factors influencing the activity of lactic acid bacteria were investigated, optimal fermentation parameters of yeast were chosen and comparative characteristics with control samples were given, namely, with spontaneous fermentation yeast and yeast with addition of *S. cerevisiae* yeast. Sensorial properties of yeast were characterized in the work. After 120 hours of storage, leaven had a more pronounced aroma than the fresh one. No mold was observed on the surface of leaven.*

*The leaven prepared with the use of *Lactobacillus buchneri* culture was found to have better rates of rising power and acidity.*

*In the yeast grown with the addition of the *L. fermentum* culture on the 120<sup>th</sup> hour of renewing, the rising power was 50 minutes, along with the spontaneous fermentation yeast, which made it unsuitable for breeding (as yeast requires more than five updates).*

*The use of lactic acid bacteria makes it possible to maintain and store the leaven in an active state. The final acidity and rising power of the leaven researched was 22 degrees and 25 minutes, respectively.*

*On the basis of the analysis of the biotechnological parameters of the leavens and their changes in the process of renewing, conclusions were drawn regarding their stability. The presence of stable strains of lactic acid bacteria and the expediency of their use in the composition of starters, which will allow obtaining products with proper sensorial and physicochemical quality parameters, are assumed.*

**Key words:** flour, rye bread, lactic acid bacteria, leaven, activity, fermentation.

**Лісніченко О.О.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**Соколова Є.Б.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**Карпенко З.П.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

## **РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ БІОЛОГІЧНОЮ ЦІННІСТЮ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ КОНЦЕНТРАТУ СИРОВАТКОВОГО БІЛКА**

*У статті обґрунтовано використання вторинної молочної сировини під час виробництва плавлених сирів. У процесі дослідження встановлено, що додавання концентрату сироваткового білка в рецептуру плавленого сиру дає змогу прискорити коагуляцію білка, скоротити терміни дозрівання, поліпшити органолептичні властивості та збільшити вихід готового продукту. Досліджено якісні показники концентрату сироваткового білка, отриманого методом ультрафільтрації.*

*Задля розробки рецептури плавленого сиру, збагаченого сироватковими білками, були обрані раціональні кількості концентрату. У процесі досліджень встановлено, що введення 5% КСБ замість сиру нежирного не призводить до зміни смакових властивостей. Встановлено, що внесення 10% концентрату сироваткового білка до рецептури сприятливо впливає на органолептичні та фізико-хімічні показники якості плавленого сиру. Збільшення кількості концентрату до 15% призводить до появи неприємного присмаку, характерного для сироваткових білків і прогресуючого у процесі плавлення сирної маси. Щоб визначити вплив концентрату на якісні показники плавленого сиру, були досліджені його органолептичні та фізико-хімічні показники. Вивчено вплив концентрату сироваткового білка на зміну якісних показників плавленого сиру у процесі зберігання. На підставі органолептичних та фізико-хімічних досліджень встановлено, що під час зберігання протягом 10 днів при температурі 3–4°C і порівняній вологості 85% зразок, до якого додавали КСБ у кількості 10%, піддавався меншим змінам показників якості. Доведено, що використання сироваткових білків у процесі виробництва плавлених сирів сприятливо впливає на їх кількісні та якісні показники.*

*Результати експериментальних досліджень з урахуванням високої органолептичної оцінки та фізико-хімічних показників досліджуваних зразків підтверджують позитивний вплив КСБ на біохімічні процеси, що відбуваються в сирній масі, що свідчить про доцільність використання КСБ у виробництві плавлених сирів. Дослідженнями підтверджено, що використання сироваткових білків у виробництві плавлених сирів сприятливо впливає на їх якісні та кількісні показники якості.*

**Ключові слова:** плавлений сир, вторинна сировина, сироватка, концентрат, біологічна цінність, безпека, зберігання.

**Постановка проблеми.** Нині в молочній промисловості широкого розвитку набуває напрям, пов'язаний зі створенням і виробництвом продуктів функціонального призначення [1]. Формування асортименту молочної групи товарів з якісно новим підходом, які здатні задовольнити фізіологічні потреби людини в життєво необхідних нутрієнтах, є важливим фактором у забезпеченні організації повноцінного харчування населення [2]. Відмінною базою для отримання продуктів харчування з функціональними властивостями є плавлений сир. Одним із напрямів під-

вищення харчової та біологічної цінності плавлених сирів є використання в рецептурі білковмісної молочної сировини, якою є підсирна сироватка або знежирене молоко [3].

Використання вторинної молочної сировини є найбільш економічним і ефективним у процесі виробництва плавлених сирів, оскільки вона має високу біологічну та харчову цінність, та невисоку енергетичну цінність завдяки зниженню вмісту молочного жиру, водночас білка в них міститься більше, ніж у вихідній сировині. Використання білків підсирної сироватки як вторинної молоч-



ної сировини у виробництві плавлених сирів має низку переваг [4]. Найважливішою перевагою є те, що сироватковий білок має високу поживну цінність завдяки високому вмісту сірковмісних амінокислот, також він володіє унікальними функціональними властивостями (висока розчинність, висока жиро- і вологозв'язуюча здатність, емульгуючі властивості). Також додавання концентрату сироваткового білка в рецептуру плавленого сиру дає змогу прискорити коагуляцію білка, скоротити терміни дозрівання, поліпшити органолептичні властивості та збільшити вихід готового продукту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині ведуться інтенсивні дослідження в області створення та вдосконалення технології виробництва плавлених сирів підвищеної харчової та біологічної цінності. У зарубіжних та вітчизняних науковців зростає інтерес до розробки та дослідження нових продуктів на основі молочної сировини, з оригінальними смаковими властивостями та поліпшеними споживними властивостями. Так, науковці [5] досліджували можливість використання біологічно цінної рослинної сировини в рецептурі плавлених сирів із метою поліпшення їхніх споживних властивостей. Авторами доведена доцільність введення в рецептуру плавленого сиру як функціональної добавки смакоароматичної суміші «зелень і часник» у кількості 20% до маси сировини.

Вченими [6] доведено перспективність розроблення рецептури плавленого сиру з екстрактом ламінарії. Однак внесення таких наповнювачів надає продукту специфічного смаку та кольору, що не є бажаним. У роботі [7] досліджується можливість включення в рецептуру виготовлення

плавленого сиру сухих інгредієнтів на молочної основі (соєво-молочного концентрату). Проведені дослідження підтверджують збільшення вмісту вітамінів В і С у плавленому сиру.

Вченими [8] було розроблено рецептуру плавлених сирів із заміною молочного жиру оливковою олією на 50%, що дає змогу наблизитися до рекомендованого типу «гіпотетично ідеального жиру». Також із метою підвищення харчової цінності додавали до рецептури імбир та цикорій.

Отже, актуальним нині є дослідження різних наповнювачів, які не тільки б підвищували харчову та біологічну цінність продукту, але й були доступними та дешевими в сировинному аспекті для розробки нових рецептур плавлених сирів.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка рецептури плавленого сиру з підвищеною харчовою та біологічною цінністю за рахунок введення концентрату сироваткового білка (КСБ) та дослідження показників якості у процесі зберігання.

Для розв'язання поставленої мети необхідно було вирішити низку завдань:

- дослідити показники якості КСБ, отриманого методом ультрафільтрації;
- розробити рецептуру плавленого сиру та визначити оптимальну кількість КСБ;
- дослідити показники якості досліджуваних зразків плавленого сиру з різною кількістю КСБ;
- проаналізувати вплив КСБ на зміни якісних показників у процесі зберігання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З метою введення КСБ до рецептури плавленого сиру було досліджено його органолептичні та фізико-хімічні показники якості. Отримані дані представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

### Органолептичні та фізико-хімічні показники якості КСБ

Найменування показників	Норми згідно з ДСТУ 4458:2005. «Концентрати білкові молочні» [9]	Досліджуваний зразок
Органолептичні показники		
Зовнішній вигляд	Сухий дрібнозернистий порошок, без грудочок	Сухий дрібнозернистий порошок, без грудочок
Колір	Від білого до світло-жовтого	Білий із кремовим відтінком
Смак та запах	Кисломолочний, без сторонніх присмаків та запахів	Властивий свіжому сироватковому пастеризованому продукту, з незначним горіховим присмаком
Фізико-хімічні показники		
Масова частка сухих речовин, % не менше	96,0	97,2±0,18
Індекс розчинності сирого залишку, не більше	0,3	0,28±0,001
Кислотність встановленого концентрату, °Т не більше	28,0	27,5±0,15
pH продукту при співвідношенні 1:10 (продукт/вода)	-	4,25±0,3

З отриманих даних можна зробити висновок, що досліджуваний зразок КСБ відповідає встановленим нормативам та його можна використовувати як добавку до рецептури плавленого сиру.

З метою розробки рецептури плавленого сиру, збагаченого сироватковими білками, був проведений підбір раціональних кількостей концентрату. У процесі дослідження встановлено, що введення в сирну суміш 5% КСБ замість сиру нежирного не призвело до змін у смакових властивостях. Заміна 10% сприятливо позначилась на якості готового плавленого сиру. Органолептична оцінка показала, що плавлені сири відрізнялися більш вираженим смаком, хорошою консистенцією. Однак збільшення кількості концентрату до 15% привело до появи досить неприємного присмаку, в тій чи іншій мірі характерного для сироваткових білків і прогресуючого у процесі плавлення сирної маси. Збільшення концентрату до 20% призводить до розм'якшення консистенції, ослаблення структури та інших негативних процесів. Таким чином, у результаті експерименту було запропоновано рецептури плавлених сирів із додаванням 5% концентрату в першому варіанті та 10% концентрату – у другому.

Під час виготовлення досліджуваних зразків використовували технологію виробництва, що і для традиційних плавлених сирів [10]. У виробництві зразків відмінністю було те, що в СБК додавали воду за температурою 40–50 °С, давали витримку протягом 20–30 хв. для набухання концентрату. Сироваткові білки вводили наприкінці процесу плавлення. У таблиці 2 наведено рецептури плавленого сиру з додаванням 5% та 10% КСБ. За контроль обрали плавлений сир «Костромський» ТМ «Hochland».

Задля визначення впливу концентрату на якісні показники нами були досліджені органолептичні та фізико-хімічні показники. Для об'єктивної оцінки органолептичних показників застосовували 10-бальну систему оцінювання. Результати бальної оцінки представлені в таблиці 3.

Аналіз даних проведеної органолептичної оцінки свідчить про позитивний вплив концентрату на такі показники, як смак, запах, консистенція, колір плавлених сирів. Особливо це позначається у другому варіанті з додаванням КСБ 10%. Варто зазначити, що введення 5% КСБ не змінює значною мірою органолептичні показ-

Таблиця 2

Рецептура плавленого сиру з додаванням КСБ (г/100г)

№ з/п	Найменування сировини	Контрольний зразок	Варіант № 1 з додаванням 5%	Варіант № 2 з додаванням 10%
1	Сири сичужні дрібні (Голландський, Костромський, Пошехонський, Степовий Ярославський та ін.) з масовою часткою сухої речовини 56%	32,7	32,7	32,7
2	Сир нежирний несолоний із масовою часткою сухої речовини 40%	37,2	32,2	27,2
3	Сир кисломолочний 9% жирності з масовою часткою сухої речовини 40%	10,9	10,9	10,9
4	КСБ	–	5	10
5	Масло селянське з вмістом сухої речовини 75,0%, жиру 72,5%	14	14	14
6	Фосфатна добавка «Фонакон» із масовою часткою сухої речовини 20%	10,9	10,9	10,9
7	Вода питна	3	3	3
	Загалом	108,7	108,7	108,7
	Вихід готового продукту	100	100	100

Таблиця 3

Результати бальної оцінки органолептичних показників

Зразок	Оцінка якості за 10-бальною шкалою			
	Смак та запах	Консистенція	Колір	Кількість балів
Контрольний зразок	7,0	8,5	9,0	24,5
Варіант № 1 з додаванням 5%	7,5	8,5	9,0	25,0
Варіант № 2 з додаванням 10%	9,5	9,0	9,5	28,0

ники порівняно з контролем. Важливо зазначити перевагу органолептичної оцінки варіанта № 2 з додаванням 10%: набуває приємного білкового присмаку, при цьому запах залишається сирним. Консистенція стає більш пластичною порівняно з контролем. Концентрат СБ має відбілюючі властивості, тому колір цього зразка наближається до білого. На підставі проведеної органолептичної оцінки можна зробити висновок про доцільність виробництва плавленого сиру з додаванням КСБ, отриманого методом ультрафільтрації, в кількості 10% до основної сировини. Крім органолептичних показників, досліджували фізико-хімічні показники якості, які наведені в таблиці 4.

Аналізуючи отримані експериментальні дані, можна дійти висновків, що фізико-хімічні показники контрольного і дослідних зразків відрізняються своїми значеннями, що пов'язано з використанням КСБ та неоднаковим ходом біохімічних процесів. На підставі експериментальних даних встановлено, що з додаванням КСБ збільшується масова частка вологи, що зумовлено гідрофільними властивостями сироваткових білків, внаслідок чого в досліджуваних зразках зменшується масова частка вільної води на 0,5% і 1,4% порівняно з контрольним зразком. При цьому підвищується вологостійкість здатність сирної маси, в результаті збільшення порівняної кількості зв'язаної вологи. Титрована кислотність у досліджуваних зразках зумовлена величиною

кислотності вихідної основної та допоміжної сировини (твердих незрілих сичугових сирів, кисломолочного сиру, солей-плавителів), а також накопичення молочної кислоти. Як відомо, протягом перших годин після виготовлення кислотність плавлених сирів максимальна, так, у контрольному зразку вона становила 228 °Т, що відповідає нормальному кислотному утворенню та нормальному ходу біохімічних процесів. Внесення сироваткових білків призвело до незначного підвищення кислотності на 1–3 °Т у досліджуваних зразках, при цьому активізується процес молочнокислого бродіння. Таким чином можна регулювати хід біохімічних змін у сирі.

На підставі проведених досліджень встановлено, що присутність КСБ дає змогу підвищити активну кислотність сирної маси, максимальне значення рН середовища спостерігається в досліджуваних зразках. Ці дані свідчать про те, що в досліджуваних зразках інтенсивніше відбувається розвиток молочнокислих бактерій із накопиченням ароматичних речовин. Одним із наслідків заміни основної сировини стало зниження жиру в другому зразку на 0,1%.

Також було досліджено вплив СБК на органолептичні та фізико-хімічні показники плавленого сиру під час зберігання. Термін зберігання становив 5 і 10 діб при температурі 3–4 °С і порівняній вологості 85%. Результати органолептичної оцінки представлені в таблиці 5.

Таблиця 4

## Результати фізико-хімічних показників якості плавленого сиру

Найменування показника	Контрольний зразок	Варіант № 1 з додаванням 5%	Варіант № 2 з додаванням 10%
Вміст вологи, %	50,0	49,5	48,6
Вміст масової частки кухонної солі, %	2,5	2,5	2,5
Титрована кислотність, °Т	228,0	229,0	229,8
рН	6,25	6,20	6,20
Вміст масової частки жиру, % в сухій речовині	40,0	39,9	40,0

Таблиця 5

## Бальна оцінка органолептичних показників плавлених сирів впродовж 5 і 10 діб зберігання

Найменування показників	Термін зберігання, діб	Контрольний зразок	Варіант № 1 з додаванням 5%	Варіант № 2 з додаванням 10%
Смак та запах	5	6,0	7,5	9,5
Консистенція		8,5	8,5	9,0
Колір		9,0	9,0	9,5
Загалом		23,5	25	28,0
Смак та запах	10	5,0	7,0	9,0
Консистенція		7,0	8,0	9,0
Колір		8,0	8,5	9,5
Загалом		20,0	23,5	27,5

Фізико-хімічні показники плавленого сиру у процесі зберігання

Найменування показників	Термін зберігання, дів	Контрольний зразок	Варіант № 1 з додаванням 5%	Варіант № 2 з додаванням 10%
Вміст вологи, %	5	49,0	49,2	48,6
Масової частка кухонної солі, %		2,45	2,45	2,45
Титрована кислотність, °Т		201	210	216
pH		6,25	6,20	6,20
Масова частка жиру, %		39,5	39,6	39,6
Вміст вологи, %	10	47,0	48,2	48,0
Масової частка кухонної солі, %		2,42	2,42	2,42
Титрована кислотність, °Т		166	181	190
pH		6,5	6,3	6,25
Масова частка жиру, %		39,2	39,3	39,3

Органолептична оцінка плавлених сирів у процесі зберігання показала, що найвищу бальну оцінку на етапі 5 дів зберігання отримав зразок плавленого сиру варіанту № 2 з додаванням 10%. Він вирізнявся високими смаковими властивостями, гарною консистенцією, приємним запахом. Зберігання його упродовж ще 5 дів не привело до значних змін у смакових властивостях. На підставі органолептичної оцінки можна зробити висновок, що найменших змін під час зберігання 10 дів зазнав зразок, в який додавали КСБ у кількості 10%. При цьому він виявився найстійкішим і зберігання в такому режимі не позначилося негативно на його смакових властивостях.

Для більш об'єктивного оцінювання змін у процесі зберігання зразків досліджували їхні фізико-хімічні показники (таблиця 6).

У процесі зберігання вміст вільної вологи поступово зменшується, що впливає на інтенсивність бактеріальних і ферментативних процесів. Хоча плавлені сири були добре упаковані в полімерні стаканчики, все одно відбувається усушка сиру, особливо це помітно в контрольному зразку, де спостерігається зменшення вмісту масової частки вологи на 3% порівняно з його показниками до зберігання. Набагато менше втрата вологи спостерігається у зразка з додаванням 5% КСБ, частка вологи знизилася лише на 1,3%. Максимальний вміст вологи виявлено у зразка з додаванням 10% КСБ, при цьому можна помітити, що сироваткові білки, додані в рецептуру, максимально утримують вологу і протистоять процесу усушки сиру. Наряду зі зміною вологості відбувається і зміна титрованої кислотності: в усіх зразках вона знижується. Таке зниження кислотності пояснюється тим, що до кінця 5 дів зберігання кількість молочної кислоти зменшується. Так, вміст молочної кислоти в контрольному зразку

5-денного зберігання відповідає 201 °Т, а до кінця зберігання знижується до 166 °Т. Не так різко відбувається зниження кислотності у зразку з додаванням 10% КСБ. Плавне зниження кислотності свідчить про те, що введення КСБ сприяє стимуляції молочнокислого бродіння. Величина активної кислотності має важливе значення у процесі зберігання, бо вона впливає на подальші напрями біохімічних процесів у сирах. Простежується тенденція зростання pH у середовищі контрольного зразка. Активна кислотність змінилася за час зберігання на 0,3 одиниці. На відміну від контролю, зразок із додаванням 10% КСБ не змінив свою кислотність, це підтверджує сприятливу дію СБК на хід біохімічних процесів, тим самим вони дають змогу переважати в середовищі плавленого сиру молочнокислим бактеріям.

У всіх зразках відбувається ферментативний гідроліз молочної жиру, але з різною інтенсивністю. У контрольному зразку гідроліз жиру відбувається більш інтенсивно, а у зразках із додаванням КСБ – значно слабкіше, це пов'язано з тим, що сироваткові білки SH має антиокислювальні властивості.

**Висновки.** Отримані результати експериментальних досліджень з урахуванням високої оцінки органолептичних показників досліджуваних зразків та підтвердженням сприятливої дії КСБ на біохімічні процеси, що відбуваються в сирній масі, свідчать про доцільність застосування КСБ у виробництві плавленого сиру.

Дослідженнями підтверджено, що використання сироваткових білків у процесі виробництва плавлених сирів сприятливо впливає на їхні кількісні та якісні показники. Використання КСБ як вторинної молочної сировини дасть змогу випускати більш конкурентоспроможну, високопоживну продукцію та збільшити терміни зберігання.

## Список літератури:

1. Парій Л.В. Формування попиту на сир на внутрішньому ринку України. *Облік і фінанси*. 2015. № 4 (70). С. 138–145.
2. Henriques M.H.F., Pereira, C.J.D. Cheese Production, Consumption and Health Benefits. *Nova Science Publishers*, 2017. P. 287.
3. Гаврилова Н.Б., Молибога Е.А., Рябкова Д.С. Технология плавленого сырного продукта для специального питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2015. № 8. С. 35–38.
4. Свириденко Ю.Я., Мордвинова В.А. Инновационные разработки в области сыроделия. *Сыроделие и маслоделие*. 2011. № 3. С. 17–19.
5. Донцова І.В., Лебединець В.Т., Гірняк Л.І. Перспективи використання рослинної сировини при виробництві плавлених сирів. *Товарознавчий вісник*. 2015. № 8. С. 187–194.
6. Болгова Н.В., Байдак М.О. Ламінарія у виробництві плавлених сирів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2018. Том 29 (68). Ч. 3. № 5. С. 5–8.
7. Леоненко Ю.В. Производство плавленых сырных продуктов с использованием сухих ингредиентов на молочной основе. *Техника и технология пищевых производств*. 2009. № 2. С. 35–39.
8. Арсеньева Т.П., Сучкова Е.П., Волкова О.В., Белозерова М.С. Разработка состава плавленого сырного продукта функционального назначения. *Вестник международной академии холода*. 2019. № 1. С. 39–45.
9. ДСТУ 4458:2005. Концентрати білкові молочні. Технічні умови. [Чинний від 2010-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 18 с.
10. Кузнецов В.В., Шиллер Г.Г. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 3. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2003. 512 с.

**Lisnichemko E.O., Sokolova E.B., Karpenko Z.P. DEVELOPMENT OF THE RECIPES MELTED CHEESE WITH ENHANCED BIOLOGICAL VALUE THROUGH THE INTRODUCTION OF SERUM CONCENTRATE PROTEIN**

*The article substantiates the use of secondary dairy raw materials in the production of processed cheeses. The study found that the addition of serum protein concentrate to the processed cheese recipe makes it possible to accelerate coagulation of the protein, reduce the maturing time, improve organoleptic properties and increase the yield of the finished product. Qualitative parameters of serum protein concentrate obtained by ultrafiltration have been investigated.*

*The rational amounts of concentrate were chosen to develop a formula of fermented cheese enriched with whey proteins. In the course of the research, it was found that the introduction of 5% CSB in the replacement of non-fat cheese does not lead to changes in taste properties. It was found that the addition of 10% of serum protein concentrate to the recipe has a beneficial effect on the organoleptic and physico-chemical parameters of the quality of fermented cheese. An increase in the amount of concentrate to 15% leads to the appearance of an unpleasant taste characteristic of serum proteins and the progressing in the process of melting the cheese mass. To determine the influence of concentrate on the qualitative parameters of fused cheese, its organoleptic and physico-chemical parameters were investigated. The influence of serum protein concentrate on the change of qualitative parameters of fused cheese during storage was studied. On the basis of organoleptic and physico-chemical studies, it was found that when stored for 10 days at a temperature of 3–4 °C and a relative humidity of 85%, the sample, which was added to the CSB in the amount of 10%, was subjected to lower changes in the quality indices. It has been proved that the use of whey proteins in the production of melted cheese has a beneficial effect on their quantitative and qualitative parameters.*

*The results of experimental studies, taking into account the high organoleptic evaluation and the physico-chemical parameters of the samples under study, confirm the positive effect of CSB on the biochemical processes occurring in the cheese mass, which indicates the feasibility of using CSB in the production of processed cheeses. Studies have confirmed that the use of whey proteins in the production of processed cheese favorably affects their qualitative and quantitative quality indices.*

**Key words:** melted cheese, secondary raw materials, whey, concentrate, biological value, safety, storage.

**Медвідь І.М.**

Національний університет харчових технологій

**Шидловська О.Б.**

Національний університет харчових технологій

**Доценко В.Ф.**

Національний університет харчових технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРОКОЛОЇДІВ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІСТА І ЯКІСТЬ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛІБА

*У статті розглядається необхідність пошуку нових шляхів покращення якості безглютенового хліба для людей, які страждають на целиацію. Як один із напрямів вирішення цієї проблеми запропоновано використовувати гідроколоїди. Доведено ефективність сумісного використання гідроксипропілметилцелюлози (ГПМЦ) та знежиреного лецитину для виробництва рисового хліба із застосуванням ферментативної модифікації крохмалю борошна.*

*Визначено закономірності впливу ефіру целюлози на властивості тіста та якісні характеристики рисового хліба з ферментами та лецитином. Встановлено, що внесення ГПМЦ у кількості 1,0% до маси рисового борошна в тісто з фосфолінідом у поєднанні із застосуванням ферментативної модифікації крохмалю борошна зумовлює зростання питомого об'єму і пористості готових виробів.*

*За результатами визначення зміни питомого об'єму тіста у процесі бродіння виявлено, що підвищення показників якості безглютенового хліба із внесенням ГПМЦ і знежиреного лецитину пов'язане зі зростанням газоутримувальної здатності тістових напівфабрикатів. Дослідженнями мікроструктури тіста підтверджено покращення структурно-механічних властивостей напівфабрикатів із внесенням ефіру целюлози та поверхнево-активної речовини.*

*З'ясовано позитивний вплив використання ГПМЦ у технології рисового хліба на пружно-еластичні властивості м'якушки виробів. Встановлено, що додавання ГПМЦ і лецитину під час виробництва рисового хліба із застосуванням гідролізу крохмалю борошна сприяє збільшенню загальної деформації м'якушки і зменшенню її крихкості. Виявлено зниження інтенсивності зміни цих показників у процесі зберігання виробів. За результатами термогравіметричних досліджень встановлено, що при сумісному використанні як регуляторів структури ГПМЦ і лецитину у поєднанні з ферментативною модифікацією крохмалю борошна відбувається перерозподіл співвідношення вільної і зв'язаної вологи в м'якушці рисового хліба. Виявлені закономірності дають змогу прогнозувати подовження терміну зберігання свіжості готових виробів.*

**Ключові слова:** целиація, безглютеновий хліб, рисове борошно, ферментативна модифікація, поверхнево-активні речовини, лецитин, гідроколоїди, гідроксипропілметилцелюлоза.

**Постановка проблеми.** Всесвітнє зростання захворюваності на целиацію та інших алергічних реакцій, пов'язаних із непереносимістю глютену, зумовлює підвищення вимог до безглютенових продуктів харчування. При целиації відбувається порушення абсорбції поживних речовин у тонкому кишечнику та ушкодження його слизової оболонки внаслідок споживання гліадину та глютеніну пшениці, а також проламінів жита, ячменю та тритікале [1; 2]. Оскільки єдиним методом лікування целиації та профілактики ускладнень є дотримання безглютенової дієти протягом усього

життя пацієнта, при виробництві хліба для цієї групи населення необхідним є використання борошна зі злаків, які з огляду на особливості хімічного складу не містять білків, що утворюють клейковину.

Наявні технології хлібобулочних виробів базуються в основному на використанні крохмалю різного ботанічного походження, кукурудзяному, рисовому і гречаному борошні. Відсутність структуроутворюючих білків у безглютеновій сировині зумовлює утворення тіста з незадовільними структурно-механічними характеристиками та,

як наслідок, готового хліба зі зниженими показниками якості [3; 4]. У зв'язку з цим актуальним завданням для науковців, фахівців хлібопекарської галузі та ресторанного господарства є покращення якості безглютенового хліба шляхом використання нових рецептурних компонентів, які відіграють роль регуляторів його структури.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У Національному університеті харчових технологій (НУХТ) проведено дослідження, за результатами яких обґрунтовано доцільність використання в технології рисового хліба ферментів амілолітичної дії, а саме  $\alpha$ -амілази та глюкоамілази [5]. Встановлено, що застосування ферментативної модифікації крохмалю рисового борошна під час приготування тіста сприяє більш інтенсивному перебігу в ньому мікробіологічних процесів, що виявляється в активізації газо- та кислотонакопичення. Це зумовлено збільшенням у тісті кількості поживних для бродильної мікрофлори цукрів, які утворюються внаслідок гідролізу крохмалю борошна під дією  $\alpha$ -амілази та глюкоамілази. Проте використання амілолітичних ферментів не дає змогу отримати хліб із високим питомим об'ємом та пористістю, що пов'язано з низькою газоутримувальною здатністю такого тіста, внаслідок чого вуглекислий газ, який утворюється під час бродіння, втрачається та не призводить до розпушення тістових заготовок.

Ефективним заходом покращення якості в технології безглютенових хлібобулочних виробів є використання поверхнево-активних речовин (ПАР), молекули яких мають дипольну будову, тобто містять гідрофільну та ліпофільну групи (ДАТЕМ, стеароїллактат натрію, дистильовані моногліцериди, лецитин) [6]. У тісті ПАР вступають у взаємодію із крохмальною фракцією борошна та жировими компонентами, утворюючи складні комплекси, що й зумовлює покращення структурно-механічних властивостей тіста і якості хліба. Зі зростанням тенденції до здорового харчування перспективним є використання лецитинів, які не тільки виконують роль ПАР, а й є цінним джерелом фосфоліпідів. Одним із напрямів дії лецитину є суттєвий вплив на покращення газоутримування в тісті та підвищення кількості адсорбційно зв'язаної вологи у хлібі [7]. Крім цього, на відміну від синтетичних ПАР, лецитин покращує бродильну здатність дріжджів завдяки його пластифікації і наявності холіну, який позитивно впливає на стан дріжджових клітин.

Попередніми дослідженнями, проведеними на кафедрі готельно-ресторанної справи НУХТ,

встановлено, що використання соняшникового знежиреного лецитину в кількості 1,0% до маси борошна в поєднанні з ферментативною модифікацією крохмалю рисового борошна в технології безглютенового хліба сприяє покращенню життєдіяльності бродильної мікрофлори тіста та підвищенню його газоутримувальної здатності, внаслідок чого готові вироби характеризуються покращеними показниками якості. З огляду на наявність гідрофобної групи у складі молекули лецитину, обґрунтовано доречність внесення ПАР у тісто сумісно з соняшниковою олією в кількості 3% до маси борошна [8].

З метою імітування клейковинного каркасу в разі приготування безглютенового тіста широкого застосування набувають гідроколоїди. Так, як структуроутворювачі використовують різні види натурального та модифікованого крохмалю (картопляний, кукурудзяний, тапіоковий тощо), мікробні полісахариди, модифіковану целюлозу (карбоксиметилцелюлозу і гідроксипропілметилцелюлозу, ксантанову і гуарову камеді [1; 9–11]. Харчові гідроколоїди беруть участь у формуванні структури безглютенових виробів та вважаються основними заміниками пшеничної клейковини. Завдяки підвищеній водопоглинальній здатності ці сполуки впливають на консистенцію безглютенового тіста, підвищуючи його газоутримувальну здатність, чим покращують здатність тістових заготовок утримувати форму у процесі вистоювання і випікання. У рецептурах безглютенових хлібобулочних виробів може бути використаний один або кілька гідроколоїдів у різному співвідношенні, що по-різному впливає на якість готової продукції [10].

З літературних джерел відомо, що більш ефективну дію на поліпшення якості безглютенового хліба мають похідні целюлози, завдяки їх кращому водопоглинанню та взаємодії з іншими полімерами та інгредієнтами в харчовій системі [11; 12]. Одним із таких гідроколоїдів є гідроксипропілметилцелюлоза (ГПМЦ), яку отримують шляхом хімічного зв'язування гідроксипропільних і метильних груп із целюлозним хребтом  $\beta$ -1,4-D-глюкану. Ця хімічна модифікація призводить до утворення водорозчинного полімеру з високою поверхневою активністю та унікальними властивостями щодо його гідратаційних характеристик як у розчині, так і під час зміни температури. ГПМЦ має високу водоутримувальну здатність та здатна значно підвищувати в'язкість харчової системи [12], що є позитивним чинником у процесі виробництва хлібобулочних виробів із безглютенової сировини.

Механізм впливу ГПМЦ на структурно-механічні властивості рисового тіста та якість готового хліба нині є вивченим недостатньо. Тому, зважаючи на гідратаційні та поверхневі властивості цього полімеру, доцільно встановити можливість покращення якісних характеристик тістових напівфабрикатів та готових виробів шляхом сумісного застосування ГПМЦ і поверхнево-активної речовини у поєднанні з ферментативною модифікацією крохмалю рисового борошна.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження можливості сумісного застосування ГПМЦ та соняшникового знежиреного лецитину з метою покращення структурно-механічних властивостей рисового тіста з ферментативною модифікацією крохмалю борошна та якості готових виробів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для проведення гідролізу крохмалю рисового борошна застосовували ферменти амілолітичної дії, а саме грибку  $\alpha$ -амілазу з амілолітичною активністю 5000 SKB/г, яка має оптимальні рН 4,7, температуру 37–40 °С (Mühlenchemie, Німеччина) та глюкоамілазу, активність якої становить 500 AMG/г, оптимальні рН 3,0–5,5, температура 40–64 °С (Німеччина). Проведення ферментативної модифікації крохмалю рисового борошна, приготування тіста та випікання хліба здійснювали на основі рецептури, наведеної в роботі «Influence of fermentative modification of rice flour starch on bread quality for patients with celiac disease» [5]. Соняшниковий знежирений лецитин (Науково-виробничий центр «Дніпротехнології», Україна) вносили в гідролізат перед замішуванням тіста в кількості 1,0% до маси борошна сумісно з соняшниковою олією, після чого суміш диспергували.

ГПМЦ використовували JoinceL MK40C (Китай) із заміщенням метоксил- і гідроксипропілоксігруп 19–24% та 4–12% відповідно, в'язкість водного розчину якої концентрацією 2% за температури 20 °С лежить у діапазоні 3000–5000 мПа\*с.

З літературних джерел відомо, що рекомендованим дозуванням ГПМЦ у тісті є 0,5–2,0% до маси борошна [12; 14], яке залежить від виду основної сировини для виробництва хліба та наявності інших поліпшувачів. Для вивчення синергізму дії лецитину та ефіру целюлози на покращення структури рисового хліба ГПМЦ вносили в кількості 0,5%, 1,0% і 1,5% до маси борошна. Зважаючи на присутність у рецептурному складі досліджуваного хліба фосфоліпиду, дозування ГПМЦ в кількості 2,0% до маси борошна є технологічно недоцільним, оскільки, за даними попере-

дньо проведених пробних лабораторних випікань, призводить до надмірного ущільнення м'якучки виробів.

Гідрофільні властивості ефіри целюлози проявляють при будь-якому способі введення в тісто, однак найбільш повно – під час додавання їх у вигляді розчину. Процес замочування ГПМЦ у воді необхідний для максимального її набухання, а саме для найбільш повного проникнення молекул води в середовище величезних молекул целюлози. При цьому утворені водневі зв'язки між водою і карбоксильними групами полісахариду сприяють виникненню в колоїдній системі певної цілісної внутрішньої структури. Тому ГПМЦ попередньо з'єднували з водою та витримували протягом 50–60 хв.

Як контрольний зразок готували тісто з використанням ферментативної модифікації крохмалю борошна з лецитином та олією без додавання ГПМЦ. Тривалість дозрівання для всіх зразків становила 45 хв.

Для дослідження показників якості тіста (титрованої та активної кислотності, газоутворення, питомого об'єму тіста) та готових виробів (питомого об'єму хліба, пористості) використовували загальноприйняті методики [13]. Дослідження впливу ГПМЦ на зміну технологічних характеристик та якості хліба залежно від її дозування представлено у табл. 1.

Отримані дані свідчать про те, що у процесі бродіння в тісті із ГПМЦ відбувається незначне зниження інтенсивності кислотонакопичення, яке, вочевидь, пов'язане зі зменшенням активності молочнокислих бактерій та дріжджів-сахароміцетів у процесі дозрівання тістових напівфабрикатів. Так, внесення ГПМЦ у кількості 0,5–1,5% до маси борошна призводить до зменшення кількості виділеного діоксиду вуглецю на 1,9–3,8% щодо контролю. Вочевидь, колоїдний розчин ефіру целюлози обгортає тонкою плівкою дріжджові клітини, обмежуючи доступ до них поживних речовин.

Дослідження показників якості готових виробів показало, що їх питомий об'єм у разі внесення ГПМЦ у кількості 0,5% і 1,0% до маси борошна зростає на 33,0% та 37,1% відповідно порівняно з контролем. Пористість м'якучки при цьому покращується на 30,2% і 34,7% щодо контрольного зразка. Отримані результати пояснюються покращенням газоутримувальної здатності тіста, внаслідок чого, незважаючи на зменшення газоутворення в напівфабрикаті, втрати утвореного у процесі бродіння вуглекислого газу є незначними.



У результаті експериментальних досліджень встановлено, що збільшення дозування ГПМЦ вище 1,0% до маси борошна є неефективним, оскільки при цьому м'якушка виробів ущільнюється, має гірше розвинену пористість, хліб має менший питомий об'єм, а на його поверхні з'являються тріщини. Таким чином, раціональним дозуванням ГПМЦ у рисовому тісті із застосуванням ферментативної модифікації крохмалю борошна із внесенням ПАР є 1,0% до маси борошна.

У процесі подальших досліджень визначали вплив ГПМЦ при оптимальному дозуванні на

газоутримувальну здатність тіста з лецитином у поєднанні з ферментативною модифікацією крохмалю борошна, яку характеризували за зміною питомого об'єму напівфабрикатів у процесі дозрівання (рис. 1).

Зростання питомого об'єму тіста з ферментативною модифікацією крохмалю борошна при сумісному внесенні ГПМЦ і лецитину відбувається інтенсивніше порівняно з контрольним зразком без гідроколоїду. Це пояснюється високою водоутримувальною здатністю ГПМЦ, внаслідок чого знижується вміст вільної вологи в системі,

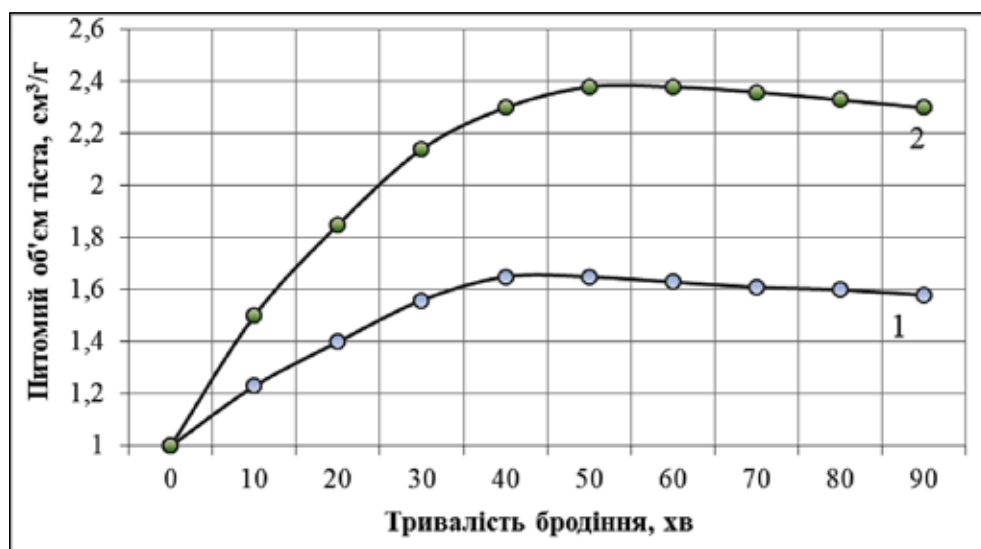


Рис. 1. Зміна питомого об'єму тіста у процесі бродіння: 1 – контроль (із ферментами, лецитином та олією), 2 – з ферментами, лецитином і ГПМЦ

Таблиця 1

**Вплив ГПМЦ на властивості тіста і якість хліба з ферментативною модифікацією крохмалю борошна**

Показники	Контроль (із ферментами, лецитином та олією)	З використанням ГПМЦ, % до маси борошна		
		0,5	1,0	1,5
<i>Тісто</i>				
Титрована кислотність, град.				
поч.	2,9	2,9	2,9	2,9
кінц.	3,6	3,5	3,5	3,4
Активна кислотність, од. пр.				
поч.	4,65	4,70	4,73	4,77
кінц.	3,78	3,81	3,85	3,88
Газоутворення (за 45 хв бродіння), см³/100 г тіста	422	414	410	406
Питомий об'єм (наприкінці бродіння), см³/г	1,65	2,45	2,38	2,29
<i>Хліб</i>				
Питомий об'єм, см³/г	1,97	2,62	2,70	2,58
Кислотність, град.	3,2	3,2	3,2	3,1
Пористість, %	51,5	67,1	69,4	66,7

тобто зменшуються прошарки міжміцелярної рідини поміж колоїдами тіста, що призводить утворення однорідного каркасу напівфабрикату, внаслідок чого покращуються його структурно-механічні властивості. Крім того, хімічна модифікація целюлози у процесі отримання ГПМЦ призводить до появи високої поверхневої активності цього полімеру, що дає йому змогу проявляти властивості як гідроколоїду, так і емульгатора в тістових напівфабрикатах.

Аналіз даних рис. 1 показує, що максимальний об'єм зразків тіста з додаванням лецитину та ГПМЦ досягається через 50 хв. бродіння та утримується протягом 15–20 хв., після чого набуває тенденції до зниження, тоді як у зразках із застосуванням ферментативної модифікації крохмалю борошна з лецитином без гідроколоїду максимальна тривалість утримання вуглекислого газу досягає не більше 60 хв.

Отже, аналіз отриманих результатів із визначення впливу досліджуваної сировини на зміну питомого об'єму рисового тіста під час бродіння показує, що сумісне внесення фосфоліпиду та ГПМЦ у поєднанні з ферментативною модифікацією крохмалю борошна справляє синергічну дію на газоутримувальну здатність тістових напівфабрикатів, що і зумовлює отримання готової продукції з доволі високим об'ємним виходом.

Використання електронної скануючої мікроскопії має значні переваги порівняно з іншими аналітичними методами, оскільки отримані дані забезпечують наявність чіткого фіксованого зображення, кожен фрагмент якого розглядається як комплексна інформація, яка доступна для подальшого вивчення та аналізу. Тому з метою більш ґрунтовного пояснення впливу ГПМЦ на

структурно-механічні властивості безглютенового тіста в подальших дослідженнях вивчали його мікроструктуру за допомогою електронного скануючого мікроскопу JSM-6060 LA зі збільшенням у 1000 разів (рис. 2).

Аналіз отриманих мікрофотографій показав, що додаткове використання ГПМЦ як регулятора структури тіста сприяє утворенню внаслідок взаємодії цієї сировини з основними його компонентами на поверхні гранул крохмалю та інших складників тістової системи полісахаридної плівки, яка відіграє скріплюючу роль. Проведені дослідження мікроструктури тіста із застосуванням ферментативної модифікації крохмалю рисового борошна та внесенням запропонованої сировинної композиції підтверджує закономірності, отримані у процесі вивчення його газоутримувальної здатності.

Використання в технології безглютенового хліба ГПМЦ та лецитину в поєднанні з ферментативною модифікацією крохмалю рисового борошна сприяє змінам структурно-механічних властивостей тіста та готових виробів, а отже, буде зумовлювати відмінності у перебігу процесів, що відбуваються під час зберігання продукції. У зв'язку з цим вивчали зміну структурно-механічних властивостей м'якушки, які визначали за деформацією через 3 і 24 год. зберігання за допомогою автоматизованого пенетрометра АП 4/1, та її крихкуватість. Хліб зберігали без пакування за кімнатної температури ( $20 \pm 2$  °C) і порівняної вологості повітря 65–75%. Результати досліджень представлено в табл. 2.

Аналіз отриманих результатів показує, що хліб із додатковим внесенням модифікованої целюлози характеризується більш високими показниками деформації м'якушки порівняно з контр-

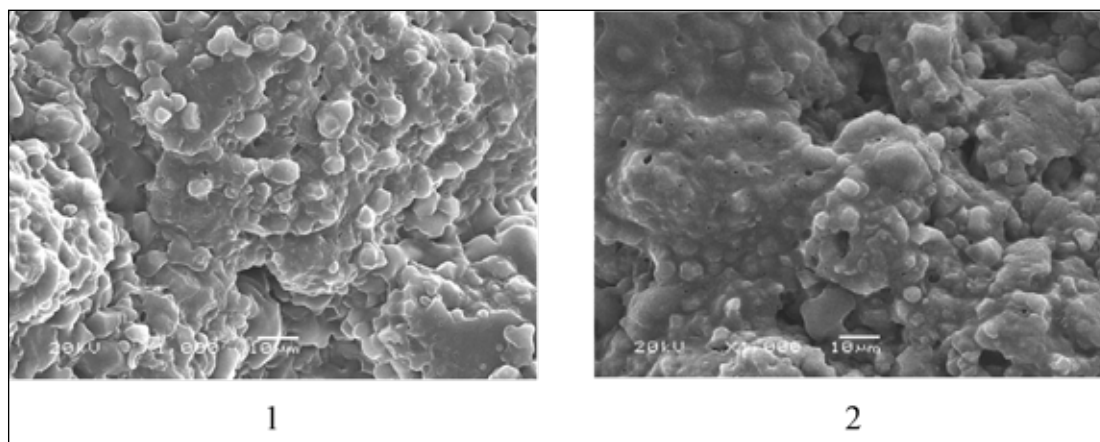


Рис. 2. Мікроструктура тіста: 1 – контроль (із ферментами і лецитином), 2 – з ферментами, лецитином і ГПМЦ

Таблиця 2

## Зміна структурно-механічних властивостей м'якушки рисового хліба під час зберігання

Показник	Характеристики показників якості хліба	
	Контроль (із ферментами, лецитином та олією)	З ферментами, лецитином, олією і ГПМЦ
Крихкуватість, %		
через 3 год.	1,35	0,95
через 24 год.	2,50	1,70
Деформація м'якушки хліба, од. пенетрометра		
через 3 год.	72	84
через 24 год.	59	72

Таблиця 3

## Кінетичні параметри дериватограм м'якушки рисового хліба

Зразки	Тривалість зберігання, год.	Масова частка вологи, % до загальної кількості		Втрати «зв'язаної» вологи, %
		«вільна»	«зв'язана»	
Контроль (із ферментами, лецитином та олією)	3	72,5	27,5	6,1
	24	74,2	25,8	
З ферментами, лецитином, олією і ГПМЦ	3	70,5	29,5	5,4
	24	72,1	27,9	

одем після випікання та через 24 год. на 16,7% і 22,0% відповідно. При цьому у процесі зберігання деформація м'якушки виробів із сумісним внесенням ГПМЦ і лецитину з олією знижувалася меншою мірою, ніж у контрольному зразку. Отримана закономірність спостерігається і під час дослідження крихкуватості м'якушки дослідного зразку хліба у процесі зберігання, яка зростає менш інтенсивно порівняно з контролем, що свідчить про краще збереження свіжості.

Як відомо, у процесі зберігання хліба відбувається перерозподіл зв'язаної та вільної вологи в м'якушці виробів, завдяки чому система набуває нового рівноважного стану. При цьому за зміною співвідношення «вільної» та «зв'язаної» води під час зберігання хліба можна встановити ступінь його черствіння. Зокрема, чим більший вміст міцно зв'язаної вологи в готових виробках, тим довший термін їх зберігання.

Зміну співвідношення «вільної» і «зв'язаної» вологи визначали термогравіметричним методом на дериватографі Q-1500 в діапазоні температур 20–250 °С через 3 і 24 год. після випікання. Результати розшифрування дериватограм для досліджуваних зразків хліба подано у табл. 3.

За розрахованими даними встановлено, що використання в технології рисового хліба лецитину і ГПМЦ у поєднанні із ферментативним гідролізом крохмалю борошна сприяє підвищенню початкового вмісту «зв'язаної» вологи на 7,3% порівняно з контролем, а також подаль-

шому зниженню її втрат під час зберігання. Так, через 24 год. після випікання вміст більш міцно «зв'язаної» вологи у зразку з додатковим внесенням ГПМЦ був на 8,1% вищим, ніж у контролі, а її втрати – на 11,5% меншими відповідно, що призводить до подовження терміну збереження свіжості м'якушки хліба. Це пов'язано з особливостями взаємодії досліджуваної сировини в тістових системах та готових виробках. У разі внесення у рецептуру хліба ГПМЦ, яка є водоутримувальним агентом, цей гідроколоїд утворює тривимірну сітку, що перешкоджає міграції вологи в навколишнє середовище та гальмує ретроградацію крохмалю. Ймовірно, сповільненню черствіння готових виробів може також сприяти можливе комплексоутворення між полярною групою лецитину та амілозою крохмалю рисового борошна.

**Висновки.** У результаті проведених експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність сумісного використання лецитину і ГПМЦ у технології рисового хліба із застосуванням ферментативної модифікації крохмалю борошна. Встановлено, що дозування ГПМЦ у кількості 1,0% до маси борошна сприяє покращенню структурно-механічних властивостей тіста з лецитином із попередньо проведеним ферментативним гідролізом та здійснює позитивний вплив на пористість та питомий об'єм готового хліба. Крім цього, використання цього ефіру целюлози в технології безглютенового хліба дає змогу подовжити термін збереження свіжості.

**Список літератури:**

1. Lazaridou A., Duta D., Papageorgiou M. [et al.] Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79. P. 1033–1047.
2. Houben A., Hochstotter A., Becker T. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *Eur Food Res Technol*. 2012. № 235. P. 195–208.
3. Korus J., Witzczak M., Ziobro R., Lesław Juszcak L. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*. 2009. № 23. P. 988–995.
4. Sciarini L.S., Ribotta P.D., León A.E., Pérez G.T. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering*. 2012. № 111. P. 590–597.
5. Medvid I., Shydlovska O., Dotsenko V. Influence of fermentative modification of rice starch on bread quality for patients with celiac disease. *Ukrainian Food Journal*. 2017. Vol. 6. Issue 4. P. 632–647.
6. Purhagen J.K., Sjöo M.E., Eliasson A.Ch. The anti-staling effect of pre-gelatinized flour and emulsifier in gluten-free bread. *Eur Food Res Technol*. 2012. № 235. P. 265–276.
7. Полодюк В.С., Арсеньєва Л.Ю., Доценко В.Ф. Ефективність використання лецитину в хлібпеченні. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2004. № 15. С. 35–38.
8. Dotsenko V., Medvid I., Shydlovska O., Ishchenko T. Studying the possibility of using enzymes, lecithin, and albumen in the technology of gluten-free bread. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 1/11 (97). P. 42–51.
9. Грищенко А.М., Удворгелі Л.І., Михонік Л.А., Ковалевська Є.І. Дослідження структурно-механічних властивостей безбілкового тіста з камедями гуару і ксантану. *Харчова наука і технологія*. 2010. № 1 (10). С. 63–65.
10. Дробот В.І., Михонік Л.А., Грищенко А.М. Вплив структуроутворювачів на якість безглютенового хліба із суміші рисового та кукурудзяного борошна. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23, № 6. С. 169–175.
11. Писарець О.П., Бела Н.І., Гетьман І.А., Семенова А.Б. Доцільність застосування псилліуму у якості структуроутворювача в технології безглютенових хлібобулочних виробів. *Продовольчі ресурси*. 2018. Вип. 10. С. 232–236.
12. José R. Kobylański, Oscar E. Pérez, Ana M.R. Pilosof. Thermal transitions of gluten-free doughs as affected by water, egg white and hydroxypropylmethylcellulose. *Thermochimica Acta*. 2004. № 411. P. 81–89.
13. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів : навчальний посібник / за ред. чл.-кор. НААН В.І. Дробот. Київ : Кондор-Видавництво, 2015. 972 с.
14. Anna-Sophie Hager, Elke K. Arend. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids*. 2013. № 32. P. 195–203.

**Medvid I.M., Shydlovska O.B., Dotsenko V.F. THE RESEARCH OF HYDROCOLLOIDS INFLUENCE ON STRUCTURAL MECHANICAL DOUGH PROPERTIES AND QUALITY OF GLUTEN FREE BREAD**

*The article considers the needs of search for new ways to improve the quality of gluten-free bread for the people suffering from celiac disease. The use of hydrocolloids have been offered as one of the ways to resolve this issue. The efficiency of the combined use of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) and low-fat lecithin in the production of rice bread using the enzymatic modification of starch flour has been proved.*

*The regularities of cellulose ether influence on the properties of the dough and qualitative characteristics of rice bread with enzymes and lecithin have been determined. It was found out that introduction of HPMC in the amount of 1.0% to the mass of the rice flour into the dough with phospholipids in the combination with enzymatic modification of flour starch leads to the increase of specific volume and porosity of ready-made product.*

*According to the results of determination of the change in the specific volume of the dough in the process of fermentation, it was found the the increase of quality of gluten-free bread with the introduction of HPMC and low-fat lecithin is associated with the increase of gas-retaining capacity of dough semi-finished products. The research of dough microstructure confirmed the improvement of structural mechanical properties of semi-finished products with the introduction of cellulose ether and surfactant.*

*The positive influence of the use of HPMC in the rice bread technology on elastic properties of product's crumb is determined. It has been established, that the introduction of lecithin and HPMC in the production of rice bread with the use of electrolysis of flour starch leads to the increase of the general deformation of the crumb and reduce its fragility. The decrease of intensity of change of these indicators in the process is determined. According to the results of thermogravimetric studies, it has been established that with the joint use as regulators of the structure of HPMC and lecithin, in combination with enzymatic modification of starch flour, the redistribution of the ratio of free and bound moisture to the rice bread pulp is carried out. The determined regularities help to predict the prolongation of the storage period of freshness of ready-made products.*

**Key-words:** celiac disease, gluten-free bread, rice flour, enzymatic modification, surfactant, lecithin, hydrocolloids, hydroxypropylmethylcellulose.

УДК 664.1-663

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/18>**Ройко О.М.**Волинський коледж  
Національного університету харчових технологій**Арсеньєва Л.Ю.**

Національний університет харчових технологій

**Ройко О. Ю.**Волинський коледж  
Національного університету харчових технологій**Паламарчук О.П.**

Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРАКТІВ НА ОСНОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ФІТОКОМПОЗИЦІЇ «АНТИСТРЕС» АДАПТОГЕННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Спосіб та ритм життя сучасної людини постійно супроводжується дією стресових факторів різної етіології, що призводить до порушень здоров'я. Одним із шляхів корекції адаптивного статусу організму є створення фітокомпозицій адаптогенної дії та отримання екстрактів на їх основі. У Національному університеті харчових технологій розроблено та запатентовано функціональну фітокомпозицію адаптогенного призначення «Антистрес» для створення харчових продуктів спеціального призначення, яка складається із сушених листків ехінацеї пурпурової, гінкго дволопатевого, елеутерококу колючого, аралії маньчжурської, та обґрунтовано умови екстракції розробленої фітокомпозиції з метою максимального вилучення БАР адаптогенної дії. Дослідження оптимальних режимів екстракції дає змогу отримувати екстракти рослинної сировини, які мають низку переваг у порівнянні з використанням комплексів БАР синтетичного походження: м'якість терапевтичної дії, практична відсутність побічних ефектів, гіпоалергенність, придатність до тривалого вживання без виникнення звикання тощо. Метою досліджень було визначення оптимальних умов екстракції, вплив різних технологічних факторів на вихід діючих речовин, розроблення технології фітоекстракту «Антистрес» на основі функціональної фітокомпозиції та визначення в ньому кількісного вмісту речовин адаптогенної дії, а також дослідження фізико-хімічних та органолептичних показників якості екстракту. На підставі проведених досліджень розроблено технологію екстракту на основі фітокомпозиції «Антистрес». Отриманий екстракт має високий вміст сухих речовин, що свідчить про ефективність процесу екстракції, які представлені комплексом БАР, зокрема різними групами фенольних сполук, каротинів, хлорофілів, які володіють широким спектром фізіологічної дії. Високі органолептичні властивості та вміст фізіологічно-активних сполук дає змогу вносити отриманий фітоекстракт до складу харчових продуктів із метою збагачення БАР та розробляти функціональні продукти спеціального призначення на його основі.*

**Ключові слова:** адаптогени, ехінацея пурпурова, аралія маньчжурська, гінкго білоба, елеутерокок колючий, фітоадаптогенна суміш, екстракція, функціональний інгредієнт, продукт спрямованої фізіологічної дії.

**Постановка проблеми.** Спосіб та ритм життя сучасної людини постійно супроводжується дією стресових факторів різної етіології (інформаційне та психоемоційне перевантаження, несприятлива екологічна ситуація, складні соціально-економічні умови тощо). Це, своєю чергою, призводить до погіршення настрою, порушення сну, депресій, апатії, зниження працездатності, а також розвитку різноманітних захворювань. Вказані фактори

сприяють пошуку ефективних способів підвищення стійкості організму до дії стресів. Одним із шляхів корекції адаптивного статусу організму є створення фітокомпозицій адаптогенної дії та отримання екстрактів на їх основі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Адаптогени – це природні біологічно активні речовини, які підвищують резистентність організму до дії стресових факторів зовнішнього

середовища [1–4]. Фізіологічна дія адаптогенів здійснюється шляхом підвищення неспецифічної резистентності організму [1; 5]. Позитивним моментом у використанні природних адаптогенів є те, що вони чинять свою захисну дію тільки при надмірних фізичних і психоемоційних навантаженнях [6], а також при передозуванні не викликають виснаження резервів нервової системи, психологічної та фізіологічної залежності [7]. Особливої популярності серед природних адаптогенів набувають адаптогени рослинного походження (фітоадаптогени) [2; 8]. Це пояснюється комплексністю їх дії, простотою заготівлі та переробки, доступністю сировини, а також швидкими темпами відтворення сировини порівняно з адаптогенами тваринного походження [9]. З метою підсилення функціональної дії адаптогенів створюють їх фітокомпозиції, компоненти яких підбирають з урахуванням хімічного складу та фізіологічних функцій. Важливим питанням нині є дослідження режимів екстракції рослинної сировини для отримання екстрактів із фітокомпозицій адаптогенної дії з метою внесення до рецептури функціональних продуктів спеціального призначення. Адже нині основним способом переробки рослинної сировини є її екстракція. Цей процес дає змогу вилучити біологічно активні речовини з вихідної сировини. Перевагами цього методу є: коротка тривалість процесу екстрагування, простота використання, м'які умови проведення, що перешкоджає деструкції БАР сировини, висока ефективність та можливість поєднання з іншими методами досліджень [10].

Відомо, що на ефективність процесу екстрагування лікарської рослинної сировини (ЛРС) впливають різноманітні фактори, зокрема, метод екстрагування, природа екстрагенту, температура та тривалість екстракції, різниця концентрацій, ступінь подрібнення ЛРС, її вологість, насипна густина, коефіцієнт набухання, поглинання тощо [11; 12]. Вибір умов для проведення екстрагування залежить, насамперед, від природи речовин, які необхідно вилучити із ЛРС.

Рослинні екстракти містять цілий комплекс БАР, які мають синергічну дію, що підвищує їхню ефективність порівняно з синтетичними препаратами.

Адаптогенну дію проявляють різні групи речовин, зокрема фенольні сполуки [9]. Вони зустрічаються у всіх органах рослини, але найвищий їх вміст в активно функціонуючих органах – листі, квітках і незрілих плодах. У зв'язку з цим необхідно розробити ефективну технологію отримання екстрактів адаптогенного призначення та підібрати такі режими екстракції, за яких вихід діючих речовин буде максимальним.

манья екстрактів адаптогенного призначення та підібрати такі режими екстракції, за яких вихід діючих речовин буде максимальним.

**Постановка завдання.** Метою досліджень було розроблення технології фітоекстракту «Антистрес» на основі раніше розробленої функціональної фітокомпозиції, визначення в нього кількісного вмісту речовин адаптогенної дії, дослідження його фізико-хімічних та органолептичних показників.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Попередніми дослідження оптимізовано рецептурний склад функціональної фітокомпозиції адаптогенного призначення «Антистрес» для створення харчових продуктів спеціального призначення, яка містить сушене листя ехінацеї пурпурової, гінкго дволопатевого, елеутерококу колючого та аралії маньчжурської. Актуальною є розробка технології екстрактів на основі розробленої фітокомпозиції. Це пов'язано з тим, що екстракти на основі рослинної сировини зарекомендували себе як ефективні функціональні інгредієнти для створення продуктів профілактичного та лікувального призначення, зокрема мармеладних виробів. Дослідження оптимальних режимів екстракції дає змогу отримувати екстракти рослинної сировини, які мають низку переваг порівняно з використанням комплексів БАР синтетичного походження, до яких належать: м'якість терапевтичної дії, практична відсутність побічних ефектів, гіпоалергенність, придатність до тривалого вживання без виникнення звикання тощо.

Для вибору оптимальних умов екстракції дослідили вплив різних технологічних факторів на вихід фенольних сполук, результати досліджень подані у таблиці 1.

За результатами досліджень, наведеними у табл. 1, можна зробити висновок, що найбільш ефективними є такі умови екстракції: дисперсність рослинної сировини – 1–2 мм, тривалість екстракції – 90 хв., екстрагент – 50% розчин етанолу, співвідношення сировина:екстрагент – 1:75, кратність екстрагування – 4.

На підставі отриманих даних розроблено технологічну схему отримання екстракту функціональної фітокомпозиції «Антистрес» адаптогенної дії – рис. 1.

Технологічний процес починається з доставки і приймання рослинної сировини (листки аралії маньчжурської, ехінацеї пурпурової, елеутерококу колючого та гінкго дволопатевого). У зв'язку з тим, що рослинну сировину можна заготовляти

короткий період (літо-осінь), тому необхідно створити її запас з урахуванням річної потреби.

Таблиця 1

**Вибір оптимальних умов екстракції**

Показник	Значення показника	Вихід фенольних сполук, %
Дисперсність часточок рослинної сировини, мм	>7	5,06
	5–7	6,34
	3–5	6,94
	2–3	7,45
	1–2	8,04
	0,5–1	7,52
	0,1–0,5	7,04
	>0,1	5,89
Вид екстрагенту	Вода очищена	7,94
	96% етанол	3,26
	70% етанол	9,06
	50% етанол	10,62
	30% етанол	8,11
Тривалість екстрагування, хв.	15	10,14
	30	10,62
	45	11,82
	60	11,74
	90	11,80
Співвідношення між сировиною та екстрагентом	1:10	3,87
	1:15	5,97
	1:20	7,45
	1:30	8,44
	1:50	9,63
	1:70	11,82
	1:75	11,96
Кратність екстрагування	1	11,82
	2	13,66
	3	14,13
	4	14,38

Отриману сировину миють та висушують до повітряно-сухого стану. У сушеному вигляді сировина зберігається на підприємстві цілий рік до нового урожаю та використовується у міру необхідності.

Висушену рослинну сировину подрібнюють до розміру частинок 1–2 мм та просіюють через сито з метою відділення часточок, які погано подрібнилися. Допускається зберігання рослинної сировини у подрібненому вигляді.

Основним етапом технологічного процесу є процес екстрагування. Для максимального вилучення діючих речовин доцільно проводити 4-кратне екстрагування (табл. 1) методом мацерації (настоювання), адже саме він є найбільш економічно вигідним. Для цього сировину помі-

щають у судину (настійник), заливають розчинником, перемішують та залишають настоюватись. За результатами досліджень (табл. 1), найбільш ефективним екстрагентом є 50% розчин етилового спирту. При цьому гідромодуль дорівнює 1:75, тривалість екстракції – 81 хв. За таких умов вихід фенольних сполук становить 16,7%.

На наступному етапі відділяють осад від над осадової рідини. Отримані екстракти об'єднують, відфільтровують та використовують як функціональні інгредієнти для створення продуктів спеціального призначення або ж використовують безпосередньо.

Шрот, отриманий після 4 екстрагування, що є джерелом цінних БАР, висушується та направляється на корм тваринам.

Досліджено органолептичні та фізико-хімічні показники якості отриманого екстракту (табл. 2, 3).

Таблиця 2

**Органолептичні показники якості екстракту «Антистрес»**

Показник	Характеристика
Колір	Світло-зелений, прозорий
Запах	Яскраво виражений спиртовий
Смак	З легкою гірчинкою

Результати дослідження органолептичних показників якості отриманого екстракту «Антистрес» (табл. 2) дають змогу зробити висновок про можливість його внесення до рецептури харчових продуктів як збагачувача БАР.

Таблиця 3

**Фізико-хімічні показники якості екстракту «Антистрес»**

Показник	Значення
Масова частка сухих речовин, %, не менше	16,9
pH, од.	6,771
Титрована кислотність, град.	0,3

З табл. 3 можна зробити висновок, що отриманий екстракт має високий вміст сухих речовин, що свідчить про ефективність процесу екстракції. Низька кислотність та pH екстракту, яке наближається до нейтрального, не буде мати суттєвого впливу на властивості харчових систем та дає змогу вносити його до складу різних харчових продуктів, зокрема мармеладних виробів.

У зв'язку з тим, що адаптогенний ефект проявляють, насамперед, фенольні сполуки, досліджено кількісний вміст різних груп фенольних речовин

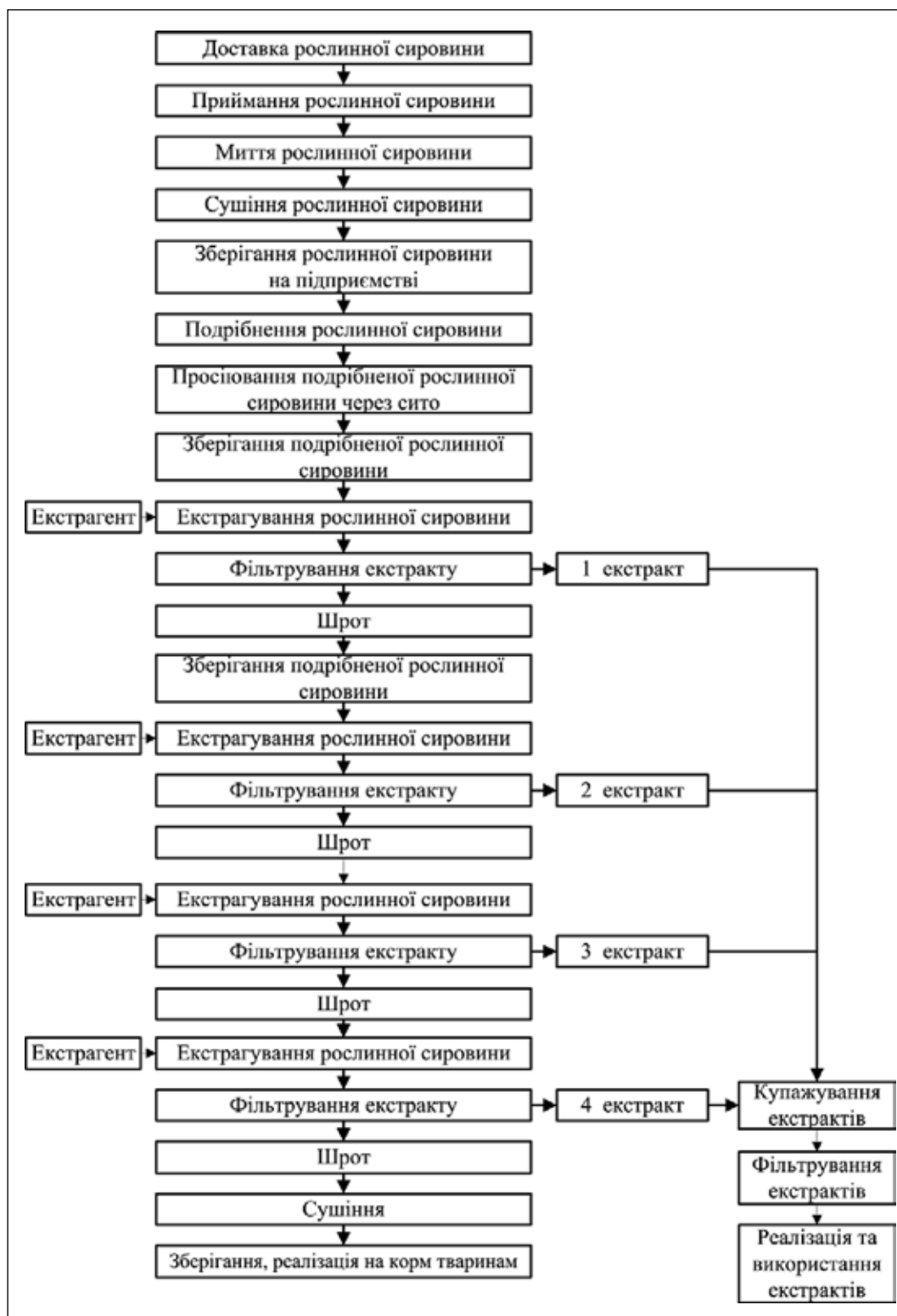


Рис. 1. Технологічна схема отримання екстракту функціональної фітокомпозиції адаптогенного призначення

в отриманому екстракті. Результати досліджень зображено на рис. 2.

На основі досліджень, зображених на рис. 2, можна зробити висновок, що отриманий

екстракт «Антистрес» у найбільшій кількості містить поліфенольні сполуки, вміст гідроксикоричних кислот є дещо меншим, а флавоноїдів – незначним.



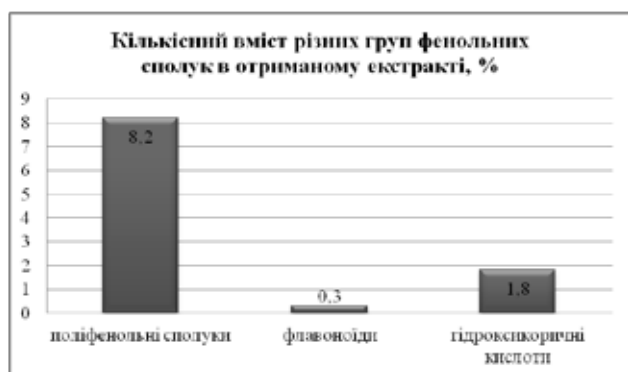


Рис. 2. Кількісний вміст різних груп фенольних сполук в отриманому фітоекстракті «Антистрес»



Рис. 3. Кількісний вміст фізіологічноактивних пігментів в отриманому фітоекстракті «Антистрес»

На основі досліджень, зображених на рис. 3, можна зробити висновок, що отриманий екстракт «Антистрес» містить значну кількість пігментів, які разом з іншими БАР беруть участь у формуванні адаптогенних властивостей рослинної сировини та екстрактів, отриманих на їх основі.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень встановлено оптимальні режими екстракції функціональної фітокомпозиції «Антистрес» для максимального вилучення БАР адаптогенного спрямування. Розроблено технологію екстракту

на основі фітокомпозиції. На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що отриманий екстракт має широкий комплекс БАР, зокрема різних груп фенольних сполук, каротинів, хлорофілів, які володіють широким спектром фізіологічної дії. Високі органолептичні властивості та комплекс фізіологічно-активних сполук дає змогу вносити отриманий фітоекстракт до складу харчових продуктів із метою збагачення БАР та розробляти функціональні продукти спеціального призначення на його основі.

#### Список літератури:

1. Міщенко О.Я. Фармакологічна активність і механізми дії нового класу адаптогенів на основі продуктів бджільництва і бурштинової кислоти : автореф. дис. ... д-ра фарм. наук : 14.03.05. Харків, 2010. 39 с.
2. Горчакова Н.В. Адаптогени в спортивній медицині. *Наука в олімпійському спорті*. 2006. Вип. 2. С. 22–36.
3. Стешенко О.М., Арсенєва Л.Ю., Паламарчук О.П., Ройко О.Ю. Встановлення оптимальних параметрів процесу екстракції фітоадаптогенної суміші. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького*. 2014. Вип. 2. С. 182–192.
4. Конюшок С.А., Молчанова Н. В. Влияние фитоадаптогенов на состояние симпатоадреналиновой системы и психоэмоциональное состояние тяжелоатлетов на этапе подготовки к соревнованиям. *Наука в олімпійському спорті*. 2010. Вип. 1. С. 68–74.
5. Ковальчук І.В., Рожковський Я.В. Вплив фітоадаптогенів на противірусну резистентність тварин в умовах стресу різної тривалості та інтенсивності. *Фармацевтичний часопис*. 2010. Вип. 4. С. 73–77.
6. Резенькова О.В. Изучения влияния экстракта солодки голой на процессы адаптации организма : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.13. Київ. 2003. 173 с.
7. Корнякова В.В. Утомление после чрезмерных физических нагрузок. *Теория и практика физической культуры*. 2009. Вип. 3. С. 23–25.
8. Гуніна Л.М., Конюшок С.О., Паламарчук О.П. Один із аспектів механізму дії лимоннику китайського на показники спеціальної тренуваності важкоатлетів. *Спортивна медицина*. 2008. Вип. 2. С. 102–107.
9. Стешенко О.М., Арсенєва Л.Ю. Визначення параметрів екстракції фенольних сполук фітоадаптогенної суміші. *Наукові праці ОНАХТ*. 2014. Вип. 46. С. 51–56.
10. Гулевич А.Л., Лещев С.М., Рахманько Е.М. Экстракционные методы разделения и концентрирования веществ. Минск : БГУ. 2009. 153 с.
11. Шалата В.Я., Сур С.В. Вивчення технологічних властивостей багатокomпонентної лікарської рослинної сировини. *Запорожский медицинский журнал*. 2012. Вип. 2. С. 111–115.
12. Гарна С.В., Ветров П.П., Русинов О.І., Георгіянц В.А. Оптимізація технології екстракції ліпофільних комплексів з лікарської рослинної сировини. (Повідомлення III). Подрібнення рослинної сировини та оцінка її якості для екстрагування. *Запорожский медицинский журнал*. 2011. Вип. 1. С. 55–57.

**Roiko O.M., Arsenyeva L.Yu., Roiko O.Yu., Palamarchuk O.P. REASONING AND DEVELOPING OF TECHNOLOGY FOR EXTRACT ON THE BASIS OF FUNCTIONAL PHYTOCOMPOSITE “ANTI-STRESS” WITH ADAPTOGENIC ACTION**

*The way and pace of modern life is constantly accompanied by the action of stress factors different etiology, leading to health disorders. One of the ways of correcting the adaptive organism status is to create phytocomposites with adaptogenic action and obtain extracts based on them. At the National University of Food Technologies functional adaptogenic phytocomposite "Anti-stress" has been developed and patented to create foods of special purpose. It consists of dried leaves of Echinacea purpurea, maidenhair tree, prickly Eleutherococcus, Aralia Manchu. Besides, there have been given reasonable conditions for extraction of the developed phytocomposite with the aim to maximize the extraction of BAR with adaptogenic action. The study of optimal extraction regimes allows to obtain extracts of vegetable raw materials, which have several advantages over the use of complexes of synthetic origin BARs, which include: softness of therapeutic action, practical absence of side effects, hypoallergenicity, suitability for long-term use without addiction, etc. The aim of the research was to determining the optimal extraction conditions, the influence of various technological factors on the yield of active substances, develop technology for phytoextract “Anti-stress” on the basis of functional phytocomposites and to determine quantitative content of substances with adaptogenic action in it. In addition, there have been studied physical, chemical and organoleptic qualities of the extract. On the basis of research conducted there has been developed the technology of the extract which is based on the phytocomposite “Anti-stress”. The resulting extract is high content of dry, which achieves the efficiency of the extraction process biologically complex, including various groups of phenolic compounds, carotenes, chlorophylls which possess a wide range of physiological effects. High organoleptic properties and content of physiologically active compounds makes it possible to add the phytoextract to the food ingredients in order to enrich and develop biologically functional products for special purposes based on it.*

**Key words:** *adaptogens, Echinacea Purpurea, Aralia Manchu, Ginkgo Biloba, Eleutherococcus Senticosus, phytoadaptogene mixture, extraction, functional ingredient, product aimed physiological action.*

**Сімахіна Г.О.**

Національний університет харчових технологій

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАМОРОЖУВАННЯ ЯГІД ПОЄДНАННЯМ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ І КРІОПРОТЕКЦІЇ

Заморожування ягід традиційним способом, який використовується у харчовій промисловості, призводить до істотних втрат більшості біологічно активних речовин, особливо за умови дефростації ягід. За результатами виконаних нами досліджень, втрати аскорбінової кислоти становили у всіх видах замороженої плодово-ягідної продукції від 16,8 до 26,3%, а дефростованої – від 55,6 до 71%. Це є наслідком кріоушкодження клітин матеріалів утвореними кристалами льоду, що призводить до окислення аскорбінової кислоти оксидоредуктазами та її втратами із клітинним соком при дефростації напівфабрикатів. Тому вдосконалення наявних низькотемпературних технологій перероблення плодово-ягідної та овочевої сировини, зокрема шляхом поєднання впливу холоду з іншими фізичними і технологічними чинниками, є актуальним для виробників заморожених напівфабрикатів. Це й стало метою цієї роботи на прикладі заморожування дикорослих ягід – чорниці, ожини та чорноплідної горобини.

Установлено, що ягоди, оброблені перед заморожуванням розчинами кріопротекторів, зберігають цілісність своєї структури у процесі заморожування, тривалому (протягом 12 місяців) зберіганні та дефростації. Тому здебільшого ефект збереження аскорбінової кислоти переважає 80% (щодо її вмісту у свіжій сировині). Завдяки захисній дії кріопротекторів на етапі заморожування ягід втрати аскорбінової кислоти не перевищують 16,8–26,3%, а після зберігання протягом 12 місяців та дефростації залишковий вміст аскорбінової кислоти становить від 62,8 до 83,5%, тоді як у контрольному зразку (без кріопротекторів) – лише 22,4–33,6%. За 5-бальною шкалою оцінки органолептичних властивостей лише ягоди, заморожені вдосконалим способом із використанням кріопротекторів, за всіма показниками отримали максимальні 5 балів.

Реалізація теоретичних знань із вивчення кріопротекторів у кріобіології показала позитивний ефект кріопротекції у процесі заморожування ягід.

**Ключові слова:** ягоди, заморожування, кріопротектори, зберігання, дефростація, вітаміни, органолептичні показники.

**Постановка проблеми.** За прогнозами аналітиків, попит на заморожену плодово-ягідну та овочеву продукцію в усьому світі зростає, її товарообіг щорічно збільшується майже на 4% [1; 2]. І це цілком закономірно. Використання штучного холоду викликає мінімальні зміни харчової та біологічної цінності сировини і отриманих із неї готових продуктів, їх якості та органолептичних показників [3]. Разом із тим за економічністю та особливо питомими витратами енергії спосіб консервування харчових матеріалів заморожуванням має значні переваги перед методами теплового оброблення – пастеризацією, стерилізацією, сушінням тощо [4].

Недаремно, за прогнозами фахівців, пріоритетним методом консервування харчової сировини визнано штучний холод у всіх його модифікаціях і варіантах використання [5–7].

Разом із тим в Україні поки що випускається недостатньо власної замороженої рослинної продукції [8], особливо плодово-ягідної, а та, що надходить у торгівельну мережу, здебільшого має

низьку якість у зв'язку з недосконалістю традиційних технологій заморожування і зберігання напівфабрикатів [9]. Біооб'єкти зазнають значних кріоушкоджень під час заморожування [8; 9], тому у процесі їх дефростації втрачається клітинний сік і разом із ним – біологічно активні речовини (вітаміни, мінеральні елементи, мінерні сполуки), які, власне, і становлять основну цінність плодово-ягідної сировини [10].

Тому вдосконалення наявних низькотемпературних технологій перероблення плодово-ягідної та овочевої сировини є актуальною проблемою, вирішити яку реально шляхом поєднання впливу холоду з використанням сполук-кріопротекторів [11–13].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш глибоко механізми кріоушкоджень клітин біооб'єктів та способи їх кріопротекції вивчено у кріобіології [14, 15] – порівняно молодій галузі загальної біології. Фундаментальні та прикладні дослідження, виконані у період 50–70-х рр. ХХ ст. у кріобіологічних центрах США, Англії,

Франції, Японії вченими J. Lovelock, E.M. Robson, M. Takano et al., H.T. Meryman, дали змогу узагальнити результати перших робіт із кріобіології. Вони розвинуті в сучасних працях R.A. Carrow [16] та провідних українських учених А. Білоуса, В. Грищенко, М. Пушкаря та Є. Гордієнка [9; 17]. Загальний висновок учених такий: розвиток руйнівного поза- та внутрішньоклітинного кристалотворення істотно гальмується у процесі заморожування клітин і тканин, якщо воно відбувається під захистом різних кріопротекторів, що сприяють модифікації структури рідкої фази і характеру її кристалотворення.

Оскільки природні біологічні об'єкти в медицині та сільськогосподарській сировині мають подібний хімічний склад і будову клітин, зрозумілою є доцільність використання набутого згаданими вченими досвіду в харчових технологіях. Поки що таких спроб дуже мало [11; 18], тому кожна робота в цьому напрямі сприятиме розвитку та застосуванню нових ефективних методів заморожування, основним призначенням яких є збереження в цільовому продукті максимальної кількості біокомпонентів сировини, передусім аскорбінової кислоти як найбільш лабільного складника.

**Постановка завдання.** Мета цієї роботи полягає у вдосконаленні технології заморожування дикорослих ягід шляхом їх попереднього оброблення розчинами кріопротекторів, що дає змогу мінімізувати втрати найбільш лабільного компонента – аскорбінової кислоти.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження проводили з ягодами чорниці, ожини, горобини чорноплідної. Після етапів відбору сировини, миття, звільнення від домішок усі досліджувані зразки обробляли розчинами кріопротекторів органічної та мінеральної природи, ефективність яких описано в роботах із кріобіології [9; 14; 17] і перевірено в наших дослідженнях. Для цієї роботи використано кріопротектори: 10%-ні розчини глюкози, фруктози, сахарози; 1%-ний розчин лимонної кислоти та 15%-ний

розчин хлористого магнію. Критерієм ефективності кріопротекторів обрано залишковий вміст аскорбінової кислоти в ягодах, дефростованих після 12 місяців зберігання, який визначали відомим методом – із 2,6-дихлорфеноліндофенолятом натрію.

Попередні дослідження показали вищу ефективність комбінованих кріопротекторів [19]. Тому з цих кріопротекторів було створено певні композиції.

Після приймання сировини, миття, очищення від сторонніх домішок ягоди обробляли розчинами кріопротекторів протягом 40–60 хв. при кімнатній температурі. Потім заморожували у швидкокоморозильній камері розсіпом при температурі  $-35...-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що відповідає параметрам шокового заморожування [20]. Процес триває до досягнення в центрі ягід температури  $-18 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Заморожені ягоди пакували в пакети по 500 г, дотримуючись вимог цілісності і герметичності упаковки, зберігали протягом 12 місяців (максимальний термін) при температурі  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  і порівняній вологості не більше ніж 95 %. У процесі підготовки ягід до реалізації проводили дефростацію за температури  $34-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  на водяній бані. Контролем служили ягоди, заморожені за традиційною технологією, тобто без використання кріопротекторів.

Дослідження розпочали з оцінки зміни вмісту аскорбінової кислоти (АК) під час заморожування ягід традиційним способом, їх зберігання та дефростації. Отримані результати наведено в таблиці 1.

Аналіз даних таблиці показав, що щойно заморожені за традиційною технологією ягоди уже втрачають певну кількість аскорбінової кислоти. І якщо її вміст у свіжих ягодах прийняти за 100%, то втрати в заморожених ягодах ожини становили 19,6%, чорноплідної горобини – 16,8%, чорниці – 26,3%. Це є результатом руйнівного впливу поза- та внутрішньоклітинних кристалів льоду, утворених при низьких температурах, на мембрани клітин ягід і субклітинні структури. Внаслідок цього частина клітин втрачають свою цілісність, цитоплазматична оболонка (каркас клітини) роз-

Таблиця 1

Динаміка зміни вмісту аскорбінової кислоти в ягодах, заморожених традиційним способом

Дослідні зразки	Вміст аскорбінової кислоти в ягодах, мг / 100 г			НІР <sub>0,5</sub>
	ожина	чорноплідна горобина	чорниця	
Свіжі ягоди	130,4	243,6	193,3	0,8
Заморожені ягоди (контроль)	104,9	202,0	142,5	0,7
Заморожені і дефростовані ягоди (контроль)	48,5	108,1	56,1	0,9

ривається [21], призводячи до безпосереднього контакту біологічно активних речовин, які знаходяться всередині клітини, з оксидоредуктазами. Вони прискорюють біохімічні реакції окислення, внаслідок чого АК руйнується.

Її втрати істотно зростають під час дефростації ягід у результаті витікання клітинного соку разом із розчиненими в ньому біокомпонентами з криоушкоджених клітин. Так, вони зросли до 62,8% в ягодах ожини, 55,6% – в ягодах чорноплідної горобини та 71% – в ягодах чорниці. Внаслідок цього харчова та біологічна цінність напівфабрикатів різко знижується, і навіть із найбільш якісної сировини неможливо отримати ідентичні продукти.

У подальших дослідженнях здійснили порівняння залишкового вмісту АК у дефростованих після 12 місяців зберігання ягодах, заморожених під прикриттям кріопротекторів. Це дало змогу одночасно відповісти на кілька запитань: по-перше, оцінити позитивний вплив кріопротекції на збереження в дефростованих напівфабрикатах найбільш цінного і найбільш нестійкого вітаміну – аскорбінової кислоти; по-друге, з'ясувати ефективність використання того чи іншого моно- або комбінованого кріопротектора для різних біологічних об'єктів. По-третє, довести реальну змогу обрати для кожного виду плодово-ягідної сировини кріопротектор, який забезпечує її максимальний кріозахист і, відповідно, мінімальні втрати аскорбінової кислоти.

У таблиці 2 наведено результати вмісту аскорбінової кислоти (у процентному співвідношенні до цього показника у свіжих ягодах: ягоди ожини – 130,4 мг / 100 г; ягоди горобини – 243,6 мг / 100 г; ягоди чорниці – 193,3 мг / 100 г, прийнятого за 100%) у дефростованих ягодах після 12 місяців зберігання, заморожених за вдосконаленою технологією з використанням кріопротекторів.

За даними таблиці 2, позитивний вплив кріопротекторів виявлено для всіх об'єктів: ступінь збереження аскорбінової кислоти в ягодах, заморожених цим способом і дефростованих після 12 місяців зберігання, перевищує у всіх без винятку дослідах аналогічний показник для ягід, заморожених без попереднього оброблення кріопротекторами. І хоча механізми дії кріопротекторів складні й досі не повністю розкриті (а в технологіях харчових продуктів їх лише почали вивчати), можна констатувати, що з їхньою допомогою реально звести до мінімуму результати ушкоджуючої дії від'ємних температур у процесі заморожування ягід та подальшої їх дефростації, про що свідчать дані залишкового вмісту АК.

Незважаючи на різноманітність обраних для дослідження кріопротекторів та їх комбінацій, їх вплив на досліджувані нами об'єкти має свої закономірності. І на основі наявних теоретичних відомостей можна сказати, що головним у механізмі захисної дії кріопротекторів є їхня властивість зменшувати кількість води, котра може кристалізуватись під час заморожування (а отже, кількість утворених кристалів), сприяти утворенню дрібнокристалічного льоду і тим самим захистити клітину від згубної дії від'ємних температур.

Автори [7] доповнюють цю теорію умовиводами щодо здатності кріопротекторів знижувати точку замерзання води (кріоскопічну температуру), підвищувати в'язкість розчинів, сповільнюючи цим ріст кристалів льоду, позитивно впливати на процес оводнення рослинної клітини під час розморожування.

Таким чином, виявлений нами позитивний вплив використання кріопротекторів у технологіях заморожування ягідної сировини, зокрема з точки зору максимального збереження вмісту АК, є результатом поєднання кількох зазначених вище ефектів, які виявили досліджені кріопротектори.

Таблиця 2

## Залишковий вміст АК у дефростованих ягодах

Використаний кріопротектор	Залишковий вміст АК, % до вмісту у свіжих ягодах		
	ожина	чорноплідна горобина	чорниця
MgCl <sub>2</sub> (15%)	76,8	70,7	62,4
Сахароза (10%)	78,7	76,5	64,0
Фруктоза (10%)	64,9	63,8	58,8
Глюкоза (10%)	75,8	64,2	57,7
Сахароза (10%) + лим. к-та (1%)	83,5	81,8	75,5
Фруктоза (10%) + лим. к-та (1%)	74,2	70,4	64,7
Глюкоза (10%) + лим. к-та (1%)	81,6	69,8	76,5
Контроль (без кріопротектора)	31,0	33,6	22,4

З точки зору провідних фахівців у галузі кріобіології та кріомедицини А.М. Білоуса та В.І. Грищенко [6], вибір кріопротекторів здійснюється емпірично, індивідуально для кожного біологічного об'єкта, оскільки досі універсальних принципів підбору кріопротектора із заданими (стосовно цього об'єкта) властивостями не розроблено. Відповідно до даних таблиці 2, комбіновані кріопротектори відзначаються більшою ефективністю, ніж моносполуки. Найбільший кріопротекторний ефект досягається в разі комбінованої дії двох сполук – сахарози (10%-ний розчин) та лимонної кислоти (1%-ний розчин): після 12 місяців зберігання та дефростації в ягодах ожини та чорноплідної горобини зберігається понад 80% АК, а чорниці – 75,5%. Лимонна кислота у складі кріопротекторів виступає як поліфункціональна речовина, дія якої, за даними [6], спрямована на зміну характеру кристалізації води в клітинах і підтримання стабільності структурно-функціональних параметрів біооб'єктів.

Загалом вітамінна цінність ягід, заморожених під прикриттям кріопротекторів, досить висока, чого не вдалося досягти традиційною технологією заморожування, – з табличних даних видно, що залишковий вміст аскорбінової кислоти в ягодах, заморожених без кріопротекторів, становить від 22,4 до 33,6% до її вмісту у свіжій сировині.

Номенклатура регламентованих нормативними документами показників оцінки якості плодів, ягід, овочів включає в основному їхні органолептичні властивості. Тому з метою отримання ще однієї порівняльної характеристики ягід, заморожених за традиційною технологією, і ягід, заморожених під прикриттям кріопротекторів, провели бальне оцінювання їх органолептичних показників (на прикладі ягід чорниці). За результатами досліджень виявлено, що ягоди, заморожені за традиційною

технологією, за жодним органолептичним показником не отримали максимальної кількості балів, вони придатні, за розробленими нами рекомендаціями, лише до нетривалого (протягом місяця) зберігання, тому не варто розраховувати на них як на джерело вітамінів та інших цінних нутрієнтів у зимово-весняний період за відсутності свіжої плодово-ягідної сировини. На противагу цьому фактові ягоди чорниці, заморожені з використанням кріопротекторів, за всіма показниками органолептики отримали максимальні 5 балів, підтвердили свій статус надійного джерела вітамінів та мінеральних елементів у міжсезонний період до нового врожаю. Підвищення якості отриманих заморожених ягідних напівфабрикатів та досягнуті їхні високі органолептичні показники є результатом здатності досліджених кріопротекторів зменшувати кількість замороженої води і, відповідно, утворених кристалів льоду (як основного чинника кріоушкоджень рослинних клітин) та сприяти формуванню його *дрібнокристалічної структури*.

**Висновки.** Кріозахист, здійснений дослідженими протекторами, виконав одне із найважливіших завдань – звів до мінімуму ушкоджуючу дію низьких температур і їхніх наслідків, внаслідок чого в заморожених ягодах після 12 місяців зберігання і дефростації вдалося зберегти понад 70% аскорбінової кислоти, тоді як традиційні технології заморожування (без застосування кріопротекторів) дають змогу отримати в заморожених і дефростованих ягодах близько 30% аскорбінової кислоти від її вмісту в сировині. Застосування методів кріопротекції, проведення інноваційних досліджень, спрямованих на подолання недоліків традиційних технологій заморожування, є перспективним напрямом удосконалення технологій консервування рослинної сировини з використанням штучного холоду.

#### Список літератури:

1. Frozen fruit market in the EU: Germany remains the largest importer. URL: <https://www.freshplaza.com/article/9020192/frozen-fruit-market-in-the-eu-germany-remains-the-largest-importer> (Дата звернення: 05.02.2019).
2. Світовий попит на заморожені продукти продовжує зростати. URL: <http://www.lol.org.ua/rus/showart.php?id=114914> (Дата звернення: 12.12.2018).
3. Goyal R.K., Verma L.R. and Joshi V.K. Nutritive value of fruits, vegetables, and their products in postharvest technology of fruits and vegetables. Indus Publishing, New Delhi, 2000. Pp. 337–389.
4. Rickman J.C., Barrett D.M., and Bruhn C.M. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *Journal of Sci Food Agric*. 2007. № 87. Pp. 930–944.
5. Frozen Foods Handling. URL: <http://www.cold.org.gr/library/downloads/Docs/FrozenFoodsHandling.pdf> (Дата звернення: 18.05.2019).
6. Silva C.L.M., Gonçalves E.M. and Brandão T.R.S. Freezing of Fruits and Vegetables. *J.A. Evans (eds) Frozen Food Science and Technology*. Oxford, UK : Blackwell Publishing Ltd. 2008. Pp. 165–183.

7. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Низькі температури в технологіях оздоровчих продуктів : монографія. Київ : Сталь, 2011. 363 с.
8. DeAncos B., Sanchez-Moreno C., Pascual-Teresa D., Cano M.P. Freezing preservation of fruits. Handbook of Fruits and Fruit Processing. Oxford, UK : Wiley-Blackwell, 2012. Pp. 103–119.
9. Белоус А.М., Грищенко В.И. Кробиология : монографія. Киев : Наукова думка, 1994. 431 с.
10. Poiana M., Moigradean D., Raba D., Alda L.-M. and Popa M. The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. Vol. 8 (1). 2010. Pp. 54–58.
11. Прісс О.П., Жукова В.Ф. Збереження плодів томатів і перцю за обробки екстрактами кореня хрону. *Харчова наука і технологія*. 2015. Вип. 5. С. 68–74.
12. Павлюк Р.Ю., Погарська В.В. Нове в технології отримання заморожених ягід та пюре з рекордними характеристиками. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства*. 2013. Вип. 1 (1). С. 3–9.
13. Li B., Sun D.W. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: A Review. *Journal of Food Engineering*. Vol. 54 (3). 2002. Pp. 175–182.
14. Wagner C.T., Martowicz M.L., Livesey S.A., Connor J. Biochemical stabilization enhances red blood cell recovery and stability following cryopreservation. *Cryobiology*. Vol. 45, № 2. Pp. 153–166.
15. Кадникова Н.Г. Зависимость криоустойчивости *Bifidobacterium bifidum* 1 от фазы роста и свойств криоконсерванта. *Действие холода на биологические объекты. Сборник научных трудов*. Киев : «Наукова думка», 1992. С. 26–29.
16. Carrow R.A., MacGrath J.J. Thermodynamic modeling and cryomicroscopy of cell-size unilamellar and paucilamellar liposomes. *Cryobiology*. Vol. 22. 1985. P. 251–267.
17. Гордиенко Е.А., Осецкий А.И., Розанов Л.Ф. Научное обоснование способов низкотемпературного консервирования клеточных суспензий. *Проблемы кробиологии*. 1997. № 1. С. 67–71.
18. Доценко Н.В. Комплекс криозащиты растительного сырья при холодильном консервировании: дис. ... канд. техн. Наук : 05.18.13. Одесса, 1998. 186 с.
19. Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В. Ефективність використання кріопротекторів при заморожуванні дикорослих і культивованих ягід. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т. 23, № 3. С. 179–185.
20. Singh R.P., Mannapperuma J.D. Development in Food Freezing. In: *Biotechnology and Food Process Engineering*. H.G. Schwartzberg, M.A. Rao (eds). New York : Marcel Dekker, 1990. 540 p.
21. Белоус А.М., Бондаренко В.А. Структурные изменения биологических мембран при охлаждении : монографія. Киев : «Наукова думка», 1982. 257 с.

### **Simakhina G.O. IMPROVEMENT OF BERRY FREEZING TECHNOLOGY BY COMBINATION OF ARTIFICIAL COLD AND CRYOPROTECTION**

*Freezing berries with traditional methods used in food industry can lead to significant losses of the majority of biologically active substances, especially during berries' defrosting. According to the results of our own researches, the losses of ascorbic acid made up from 16.8 to 26.3 percents in frozen fruit and berry products, and from 55.6 to 71.0 percents in those defrosted. This is the consequence of cryogenous damages of plant cells by the ice crystals formed in freezing, which would cause the oxidation of ascorbic acid by oxide reductases and the loss of the latter because of cellular juice leakage during defrosting. Therefore, improvement of the existing low-temperature technologies of fruit, berry and vegetable procession, particularly with combination of cold and other physical and technological factors, is relevant for producers of frozen half products. This was the purpose of this article, based on the research of freezing three sorts of berries – bilberries, blackberries, and chokeberries.*

*We confirmed that the berries processed by cryoprotective solutions before freezing remain undamaged in freezing, long-term shelflife (during 12 months) and defrosting. Hence, in the majority of cases, the effect of ascorbic acid retention exceeded 80 percents (relatively to its content in the raw material). Thanks to the impact of cryoprotectors at the freezing stage, the losses of ascorbic acid did not overcome 16.8...26.3 percents; after 12-month storage and subsequent defrosting the residual amount of ascorbic acid was 62.8...83.5 percents, while in the control specimen (frozen without cryoprotectors) it was only 22.4...33.6 percents. Having been estimated with the 5-point scale, only the berries frozen by the improved method (with cryoprotectors) received the highest grade of 5 according to all the indices.*

*Practical realization of theoretical knowledge in the field of cryobiology has shown the positive effect of cryoprotection in berry freezing.*

**Key words:** berries, freezing, cryoprotectors, storage, defrosting, vitamins, organoleptic indices.

**Скрипніченко Д.М.**

Одеська національна академія харчових технологій

**Казюк В.О.**

Одеська національна академія харчових технологій

**Безземельний О.М.**

Одеська національна академія харчових технологій

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СИРОВАТКОВИХ НАПОЇВ СПОРТИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*У роботі обґрунтовані необхідність та доцільність переробки молочної сироватки. Повна її переробка дає змогу створити додаткові сфери використання сироваткових білків, лактози та зменшити забруднення стічних вод. Проаналізований стан вітчизняного ринку спортивного харчування, а також особливості спортивного харчування. Встановлена необхідність у виробництві сироваткових напоїв спортивного призначення. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена технологія виробництва та рецептура сироваткових напоїв спортивного призначення з використанням ферментованої біфідобактеріями неосвітленої молочної сироватки, концентрату сироваткових білків та цукру в оптимальних співвідношеннях.*

*З метою покращення сенсорних показників та підвищення біологічної цінності сироваткових напоїв до складу додані натуральні соки. У результаті проведення експериментальних досліджень визначені види соків та встановлене їх оптимальне співвідношення: соків моркви та апельсину 1:1 для першого напою (напій I), чорної смородини та вишні – 1:3 – для другого напою (напій II). Своєю чергою, визначено, що концентрація лимонного соку є незмінною для обох напоїв і становить 5,5% та 5% для першого і другого напоїв відповідно.*

*Досліджена та встановлена оптимальна масова частка агару для першого та другого напоїв, яка становить 0,32 г / 100 г та 0,12 г / 100 г продукту відповідно.*

*У готових сироваткових напоях спортивного призначення визначено та встановлено, що органолептичні та фізико-хімічні показники відповідають вимогам до сироваткових напоїв.*

*На кафедрі технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики ОНАХТ досліджені мікробіологічні показники у зразках сироваткових напоїв та встановлено, що кількість КМАФАнМ, КУО в 1 г, кількість життєздатних клітин монокультур *Bifidobacterium animalis Bb-12*, КУО в 1 г та відсутність бактерій групи кишкової палички в 1 г продукту повністю відповідають вимогам.*

*Визначений та встановлений граничний термін зберігання сироваткових напоїв спортивного призначення для напою I – 28 діб, для напою II – 21 доба відповідно.*

**Ключові слова:** технологія, напої, сироватка, спортивне харчування, білок.

**Постановка проблеми.** Висока харчова цінність та унікальні біологічні властивості молока визначають необхідність використання всіх його компонентів виключно в харчових цілях. Проте традиційна технологія промислової переробки молока не дає змоги використовувати всі складові частини молока (сухих залишків) у таких молочних продуктах, як вершкове масло, сир, кисломолочний сир, казеїн та інші. У процесі їх виробництва неминуче отримують побічні продукти у вигляді знежиреного молока, маслянки та молочної сироватки, які широко використовують – у виробництві харчових продуктів, кормових засобів, медичних, технічних та хімічних препа-

ратів. Проблема повного і раціонального використання молочної сироватки як вторинної сировини є актуальною незалежно від отримуваних об'ємів, методів організації виробництва і форм власності в усіх країнах світу [1, с. 48]. Повна переробка молочної сироватки дає змогу створити додаткові сфери використання сироваткових білків, лактози та зменшити забруднення стічних вод [2, с. 134].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Рішення проблеми повного і раціонального використання сироватки в харчових продуктах здійснюється на основі промислової переробки. Серед різних видів продуктів із сироватки багатобіаційним напрямом є виробництво напоїв на



основі сироватки. Такі напої виробляються як із додаванням натуральних інгредієнтів, так і з додаванням ароматизаторів і ароматичних речовин; також виготовляються напої з використанням біотехнологій [3, с. 50; 4, с. 112]. Особливий інтерес у харчовій галузі як до молочної сироватки загалом, так і до окремих її компонентів виявляють виробники продуктів харчування для спортсменів [5, с. 81]. Спортивне харчування – це досить новий напрям у харчовій промисловості, тому ринок таких продуктів в Україні представлений в основному продукцією імпортного виробництва [6, с. 51].

Нині в Україні асортимент продуктів на основі молочної сироватки досить обмежений. Сфера застосування молочної сироватки зазвичай обмежена через підвищену кислотність, недоліки органолептичних властивостей (солонуватий і кислуватий смак, виражений сироватковий запах) [7, с. 133].

Для спортсменів, які прагнуть досягнення високих результатів, питання раціонального харчування набуває особливого значення, оскільки взаємозв'язок харчування та фізичної працездатності нині не викликає сумнівів.

Сучасний спорт характеризується інтенсивними фізичними, психічними і емоційними навантаженнями. Грамотна побудова раціону харчування спортсмена з обов'язковим заповненням витрат енергії і підтримки водного балансу організму – важлива вимога при організації тренувального процесу. В основі стратегії харчування спортсменів лежать загальні принципи здорового харчування, проте є і спеціальні завдання. Вони полягають у підвищенні працездатності, віддаленні часу настання стомлення і прискоренні процесів відновлення після фізичного навантаження [8, с. 3].

Аналіз складу цих продуктів показує, що більшість із них – це біологічно активні добавки, у складі яких використовуються різні компоненти молока, що виділяються, в тому числі, із молочної сироватки. Найчастіше у процесі виробництва харчових добавок для спортивного харчування використовують суху молочну сироватку, концентрати і ізоляти білків молочної сироватки.

Кількість енергії, одержуваної шляхом застосування харчових добавок для спортивного харчування, не має перевищувати 5–10% загальної калорійності раціону спортсменів, а застосування у великих кількостях не має бути тривалим, тому можна не сумніватися, що такі продукти не вирішують проблеми збалансованого та раціонального харчування спортсменів, а лише частково

доповнюють їх раціон. Таким чином, інші 90–95% калорійності необхідно отримувати шляхом вживання звичайних повноцінних за складом харчових продуктів, у тому числі і молочних, що вкотре підтверджує актуальність створення продуктів із використанням компонентів молока, що готові до безпосереднього вживання і не мають обмежень у кількості для вживання [5, с. 81–82].

Ключовим моментом фізичної працездатності є оптимальне енергозабезпечення м'язової діяльності. Енергетична цінність харчового раціону більшості людей, у тому числі і спортсменів, забезпечується, головним чином, вуглеводами. Вуглеводи мають властивість вивільнювати енергію для життєдіяльності у процесі катаболізму, накопичуватися в печінці і м'язах, створюючи тим самим обмежений енергетичний резерв [8, с. 5, 19].

**Постановка завдання.** Мета роботи – розробка технології сироваткових напоїв спортивного призначення з додаванням натуральних соків, концентрату сироваткових білків, цукру та агару.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити оптимальне співвідношення соків у сироваткових напоях;
- визначити оптимальну концентрацію стабілізатора;
- розробити рецептуру і визначити показники якості готового продукту;
- визначити граничний термін зберігання сироваткових напоїв.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для проведення експериментальних досліджень як сировину використовували сирну сироватку, отриману на ТОВ «Гормолзавод № 1» (м. Одеса) у процесі виробництва кисломолочного сиру, концентрат сироваткових білків (виробник – «Техмолпром», м. Гадяч), агар, вироблений на ТОВ «Нова-Пак» (с. Зоря, Рівненська обл.), цукор-пісок білий кристалічний (виробник – ПАТ «ПК Поділля», с. Городівка, Вінницька обл.), фруктозу (виробник – ТОВ «Крокус-сіті», м. Одеса), натуральні соки апельсину, лимону, моркви, вишні та чорної смородини, отримані в лабораторних умовах, бакконцентрат безпосереднього внесення *Bifidobacterium animalis* Bb-12 (виробник – Chr. Hansen, Данія).

У процесі порівняння різних напоїв, з точки зору їх впливу на процеси відновлення і подальшу працездатність, визначено меншу болючість м'язів після вживання напою, який містив 8% вуглеводів

та 2% білку [10, с. 610]. Тому у процесі розробки продукту вміст концентрату сироваткових білків (КСБ-УФ) та цукру був незмінним і становив 2% КСБ-УФ та 6 і 8% цукру відповідно для першого та другого напоїв. Менший вміст цукру для першого напою пояснюється підвищеною солодкістю морквяного соку. Передбачається використання неосвітленої сироватки з її подальшою пастеризацією і ферментацією монокультурами *Bifidobacterium animalis* Bb-12 з додаванням 0,1% фруктози як біфідогенного фактору. Ферментація проводилась протягом 20 годин за температури 37±1 °С.

Для обґрунтування співвідношення натуральних соків у складі сироваткових напоїв було виготовлено 3 зразки кожного напою з таким співвідношенням соків моркви та апельсину: 1:3, 3:1, 1:1 – для першого напою; чорної смородини та вишні: 1:1, 1:2, 1:3 – для другого напою. Для всіх напоїв вміст лимонного соку був постійним і становив для першого і другого напоїв 5,5% та 5% відповідно.

Проведено органолептичну оцінку одержаних зразків групою осіб із 10 чоловік віком від 20 до 60 років на базі кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики, результати якої наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Зведені результати органолептичної оцінки зразків напоїв**

№ зразка	Запах	Смак	Колір	Загальний бал
1	4,4	4,1	3,4	4,0
2	4,2	4,0	3,9	4,0
3	4,5	4,5	4,1	4,4
4	4,4	4,3	3,8	4,2
5	4,6	4,3	3,6	4,2
6	4,7	4,6	4	4,4

За результатами органолептичної оцінки, зразок № 3 та № 6 є найбільш перспективними. Тому обране співвідношення соків моркви та апельсину 1:1 для першого напою (напій I), чорної смородини та вишні – 1:3 – для другого напою (напій II).

Як стабілізатор було обрано агар через високі стабілізуючі властивості та відсутність впливу на смакові властивості напоїв.

Для визначення оптимального вмісту агару було досліджено 5 зразків кожного напою з масовою часткою агару: 0,06, 0,12, 0,25, 0,5, 0,75 г / 100 г продукту. Через 20 годин після отримання напою було проведено дослідження на наявність осаду.

Результати досліджень наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Залежність стабілізуючих властивостей агару від масової частки**

Масова частка агару, г / 100 г	Наявність осаду/гелеутворення	
	Напій I	Напій II
0,06	Велика кількість осаду	Незначна кількість осаду
0,12	Велика кількість осаду	Суспензія
0,25	Незначна кількість осаду	Часткове гелеутворення
0,5	Гелеутворення	Гелеутворення
0,75	Гелеутворення	Гелеутворення

З огляду на дані досліджень, у напої I гелеутворення відбувається за умови вмісту агару 0,5 г / 100 г продукту; в напої II гелеутворення починається за умови меншого вмісту агару – 0,25 г / 100 г продукту, що пояснюється синергетичним ефектом доданого агару та наявних у соках пектинових речовин (особливо чорної смородини). Тому оптимальна масова частка агару для першого та другого напоїв становить (г / 100 г продукту): 0,32 та 0,12 відповідно.

Наступним етапом досліджень стала розробка рецептур сироваткових напоїв, які представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

**Рецептура сироваткових напоїв спортивного призначення (кг на 1000 кг продукту без врахування втрат)**

Сировина	Маса сировини, кг	
	Напій I	Напій II
Сироватка	530,79	527,69
Бакконцентрат <i>FD DVS Bb-12</i>	0,01	0,01
Фруктоза	1	1
Цукор	60	80
Агар	3,2	1,3
Сік чорної смородини	-	80
Сік вишні	-	240
Сік апельсина	165	-
Сік моркви	165	-
Сік лимона	55	50
КСБ-УФ	20	20
Загалом (вихід продукту)	1000	1000

Результати органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних досліджень готового продукту наведені в таблиці 4.

Для визначення граничного терміну зберігання напоїв було виготовлено зразки за оптимізованою

## Показники якості сироваткових напоїв спортивного призначення

Показник	Характеристика показника	
	Органолептичні показники	
	Напій I	Напій II
Смак	Виражений морквяний смак, із citrusовим присмаком, солодко-кислуватий, освіжаючий. Без сторонніх присмаків	Виражений вишневий смак, із присмаком смородини, кислуватий, освіжаючий. Без сторонніх присмаків
Запах	Морквяно-апельсиновий аромат. Без сторонніх запахів	Виражений вишневий аромат. Без сторонніх запахів
Колір	Яскраво-помаранчевий колір, однорідний	Темно-червоний колір, однорідний
Консистенція	Рідка, однорідна суспензія	Рідка, однорідна, з елементами волокон наповнювачів
Фізико-хімічні показники		
Титрована кислотність, °Т	120±1	125±1
Активна кислотність, од. рН	4,3±0,05	4,3±0,05
Масова частка сухих речовин, %	12,54±0,05	13,43±0,05
Масова частка білка, %	1,95±0,05	1,91±0,05
Мікробіологічні показники		
Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г	23±1	30±1
Кількість життєздатних клітин монокультур <i>Bifidobacterium animalis Bb-12</i> , КУО в 1 г	(8±1)·10 <sup>7</sup>	(3±1)·10 <sup>7</sup>
Бактерії групи кишкової палички в 1 г продукту	відсутні	відсутні

## Мікробіологічні показники якості напоїв у процесі зберігання

Назва показника	Час зберігання, діб	Отримані результати	
		Напій I	Напій II
Бактерії групи кишкової палички в 1 г продукту	0	відсутні	відсутні
	5	відсутні	відсутні
	10	відсутні	відсутні
	15	відсутні	відсутні
	20	відсутні	відсутні
	28	відсутні	-
Кількість життєздатних клітин монокультур <i>Bifidobacterium animalis Bb-12</i> , КУО в 1 г	0	(8±1)·10 <sup>7</sup>	(3±1)·10 <sup>7</sup>
	5	(3±1)·10 <sup>8</sup>	(8,5±0,5)·10 <sup>7</sup>
	10	(9±1)·10 <sup>8</sup>	(4±1)·10 <sup>8</sup>
	15	(2±1)·10 <sup>9</sup>	(8,5±0,5)·10 <sup>8</sup>
	20	(4,5±0,5)·10 <sup>9</sup>	(3,5±0,5)·10 <sup>9</sup>
	28	(6±1)·10 <sup>9</sup>	-
Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г	0	(8±1)·10 <sup>2</sup>	(9±1)·10 <sup>2</sup>
	5	(10±1)·10 <sup>2</sup>	(12±1)·10 <sup>2</sup>
	10	(12±1)·10 <sup>2</sup>	(20±1)·10 <sup>2</sup>
	15	(18±1)·10 <sup>2</sup>	(30±1)·10 <sup>2</sup>
	20	(20±1)·10 <sup>2</sup>	(51±1)·10 <sup>2</sup>
	28	(29±1)·10 <sup>2</sup>	-
Кількість молочнокислих мікроорганізмів КУО в 1 г продукту	0	(48±1)·10 <sup>2</sup>	(30±1)·10 <sup>2</sup>
	5	(63±1)·10 <sup>2</sup>	(51±1)·10 <sup>2</sup>
	10	(98±1)·10 <sup>2</sup>	(89±1)·10 <sup>2</sup>
	15	(11±1)·10 <sup>3</sup>	(18,7±1)·10 <sup>3</sup>
	20	(78,9±1)·10 <sup>3</sup>	(116,8±1)·10 <sup>3</sup>
	28	(108±1)·10 <sup>3</sup>	-

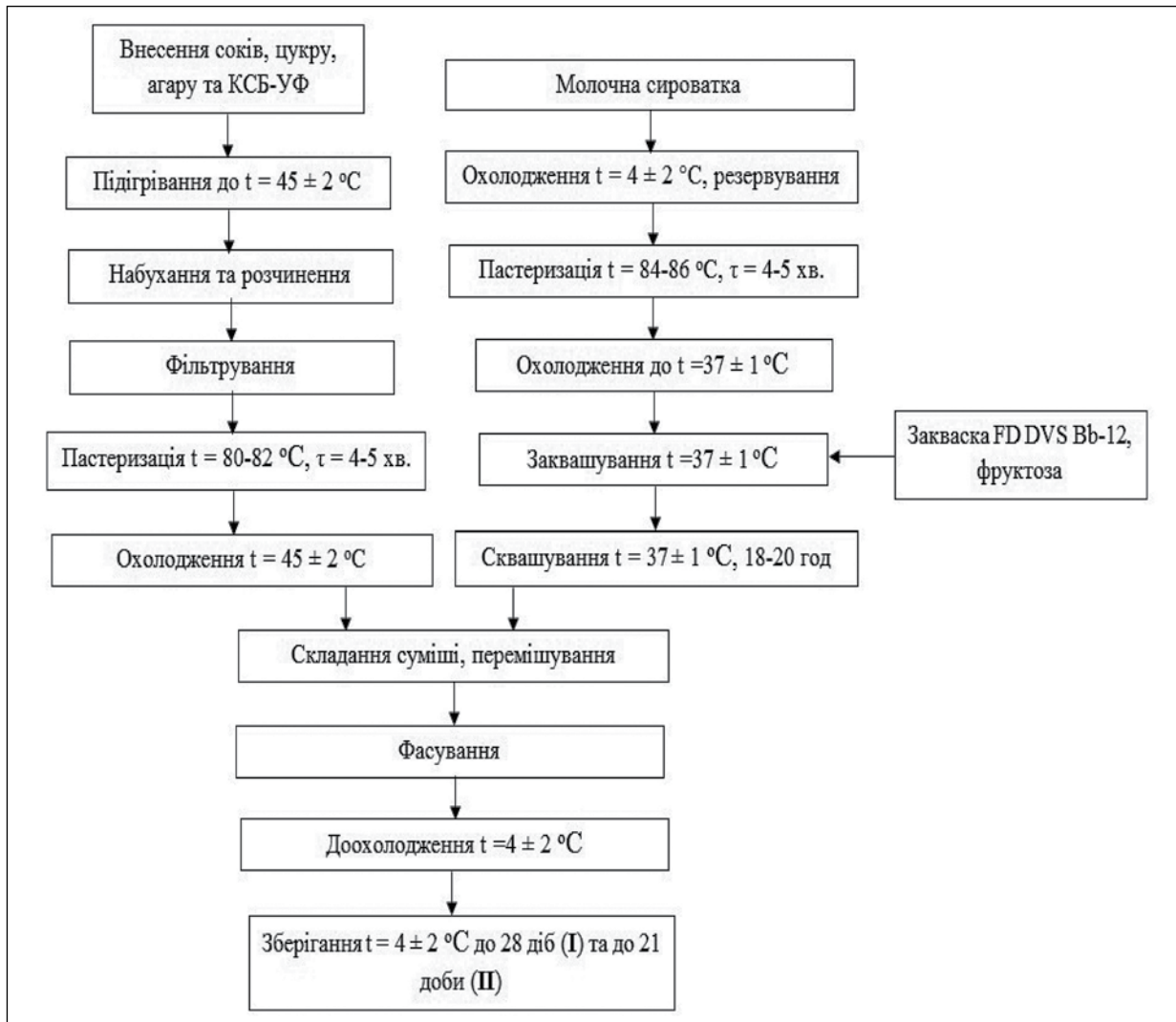


Рис. 1. Технологічна схема виготовлення сироваткових напоїв

рецептурою і розфасовано в герметичну тару. У свіжовиготовленому та інших зразках з інтервалом у 5 діб визначали органолептичні, фізико-хімічні (активну та титровану кислотність) та мікробіологічні показники.

Протягом 21 доби для напою II та 28 діб для напою I сенсорні показники залишались сталими. У результаті проведення фізико-хімічних досліджень титрована кислотність напоїв незначно збільшилась до 127 °Т, активна кислотність впала до значень 4,2 одиниці рН для обох напоїв.

У результаті проведення мікробіологічних досліджень у зразках сироваткових напоїв встановлено, що кількість КМАФАнМ, КУО в 1 г, кількість життєздатних клітин монокультур *Bifidobacterium animalis Bb-12*, КУО в 1 г та відсутність бактерій групи кишкової палички в 1 г продукту повністю відповідають вимогам. Резуль-

тати мікробіологічних досліджень наведено в табл. 5.

З огляду на дані теоретичних та експериментальних досліджень, з урахуванням підібраних компонентів розроблено технологічну схему виготовлення сироваткових напоїв спортивного призначення, яка наведена на рисунку 1.

**Висновки.** На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено науково обгрунтовану технологію сироваткових напоїв спортивного призначення з підвищеним вмістом білку, додаванням натуральних соків, збагачених біфідобактеріями. Визначені основні показники якості отриманого продукту та граничний термін зберігання. Перспективами подальших досліджень є визначення фізіологічного впливу на організм спортсменів, розроблення нормативної документації на виробництво та проведення промислової апробації розробленої технології.

## Список літератури:

1. Prazeres A.R., Carvalho F., Rivas J. Cheese whey management. *Environmental Management*. 2012. Vol. 110. P. 48–68.
2. Macwan S. R., Dabhi K. B., Parmar S. C., Aparnathi K. D. Whey and its utilization. *Curr. Microbiol. App. Sci.* 2016. Vol. 5. № 8. P. 134–155.
3. Асафов В.А., Танькова Н.Л., Исакова Е.Л., Борисов А.Т. Напитки *молокосодержащие с низкой гипоаллергенностью на основе сыворотки*. *Молочная промышленность*. 2017. № 2 (61). С. 50–52.
4. Шавыркіна Н.А., Обрезкова М.В., Школьнікова М.Н. Характеристика ферментированных напитков на основе молочной сыворотки и фруктового сока. *Вестник КрасГАУ*. 2018. № 2. С. 112–117.
5. Новокшанова А.Л., Ожиганова Е.В. Использование творожной сыворотки в индустрии спортивного питания. *Молочнохозяйственный вестник*. 2013. № 4 (12). С. 80–85.
6. Притульська Н.В., Мотузка Ю.М. Сучасні тенденції ринку спортивного харчування. *Харчова наука і технологія*. 2012. № 1. С. 49–52.
7. Назаренко Ю.В., Яценко С.Ю. Особенности використання молочної сироватки та ретентату, отримання високоякісних напоїв оздоровчого харчування. *Збірник наукових праць ХДУХТ*. Харків, 2016. № 2 (23). С. 127–142.
8. Борисова О.О. Питание спортсменов: зарубежный опыт и практические рекомендации : учеб.-методическое пособие. Москва : Советский спорт, 2007. 132 с.
9. Кутенев П.В., Барабанщиков Н.В. Практикум по молочному делу: учеб. пособие. Изд. 4-е, перераб. и доп. Москва : Колос, 1968.
10. Millard-Stafford M., Warren G.L., Thomas L.M., [et al.]. Recovery from run training: Efficacy of carbohydrate-protein beverage? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2005. № 15. P. 610–624.

**Skrypnichenko D.M., Kaziuk V.O., Bezzemelnyy O.M. THE TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF WHEY DRINKS WITH A SPORT PURPOSE**

*The necessity and expediency of a milk whey processing is substantiated in this work. Its complete processing allows you to create additional areas of use of whey proteins, lactose and reduce sewage pollution. The domestic market and specifics of sports nutrition are analyzed as well. There is a need for the production of whey drinks for sports purposes. On the basis of theoretical and experimental research a production technology and a recipe of whey drinks with a sport purpose were figured out with a usage of a fermented bifidobacteria of the unlit milk whey, whey protein concentrate and sugar in optimal ratios.*

*The natural juices are added to improve sensory parameters and increase a biological value of whey drinks. As a result of experimental research juice types and their optimal ratio were determined: carrot and orange juice 1:1 for the first drink (drink I), black currant and cherries – 1:3 for the second drink (drink II). Also, it was determined that the concentration of lemon juice is unchanged for these both drinks – 5,5% and 5% respectively.*

*The optimum mass fraction of agar was researched and set for the first and second drinks, which are – 0,32 g/100 g and 0,12 g/100 g of a product respectively.*

*In ready-made whey drinks for sports purposes it is determined and found that organoleptic, physic and chemical parameters correspond to the requirements for whey drinks.*

*The microbiological parameters in serum samples were studied at the Department of technology of milk, oil and fat products and cosmetics, and it was established that the amount of KMAFAnM, KUO in 1 g, the number of viable monoculture cells of Bifidobacterium animalis Bb-12, KUO in 1 g and the absence of bacteria of the intestinal group sticks in 1 g of product fully meet the requirements.*

*The maximum period of storage of whey drinks for sports purposes for the I drink – 28 days, for drink II – 21 days, respectively, has been determined and established.*

**Key words:** technology, drinks, whey, sports nutrition, protein.

## ТРАНСПОРТ

УДК 656.614.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/21>

**Коскіна Ю.О.**

Одеський національний морський університет

### **ДЕКОМПОЗИЦІЯ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ ЗА УЧАСТІ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З ПОЗИЦІЙ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ**

*У статті процес переміщення товару подано на рівні його доставки з пункту відправлення до пункту призначення. Він розглядається як сукупність транспортувань різними видами транспорту, у тому числі морський. Транспортування, зі свого боку, складається з виробничих процесів, які здійснюються організаціями, що вони залучаються для доставки товару. Таким чином, процес доставки розглянуто на трьох ієрархічних рівнях. Визначено місце транспортування товару морем та виробничого процесу судна у процесі доставки за участі морського транспорту.*

*Процес доставки зовнішньоторговельних товарів за участі морського транспорту викладено у термінології процесного підходу із встановленням основних атрибутів. Входом є товар, який має бути доставлено; виходом, який отримується, – вже доставлений товар. Процеси, що призводять до результату, це процеси переміщення товару різними видами транспорту (для яких товар стає вантажем). Процесу доставки передують процеси виробництва, а продовженням його є процес споживання. Укладання торговельного контракту ініціює процес доставки, який пов'язує сфери виробництва і споживання. Укладаючи згадану угоду, її сторони, якими є продавець і покупець, розподіляють відповідальність з доставки товару. Зазвичай зовнішньоторговельні угоди укладаються на підставі правил INCOTERMS, що означає, що до названого географічного пункту відповідальність за переміщення товару покладено на продавця, а з цієї точки – на покупця згідно з базисними умовами постачання. Власне, це означає, що вони є власниками процесу у межах своєї відповідальності та мають організувати транспортування, у тому числі вибір виду транспорту, перевізника, компанію, які здійснюватиме вантажні роботи тощо.*

*Ресурсами процесу доставки є матеріальні та інформаційні ресурси. Матеріальними є елементи транспортної системи, які забезпечують безпосереднє переміщення товарів – транспортні засоби та інфраструктурні об'єкти різних видів транспорту, а також транспортні комунікації, які їх пов'язують. Інформаційними ресурсами є документообіг підприємств ринку транспортних послуг, який ініціює та забезпечує функціонування елементів транспортної системи та відповідне переміщення товару з пунктів відправлення до пунктів призначення на окремих етапах.*

**Ключові слова:** доставка вантажів, морський транспорт, виробничий процес судна, процесний підхід.

**Постановка проблеми.** Доставка товарів від виробників до споживачів є специфічною сферою виробництва та комерційної діяльності, де виробництво та споживання послуг, що надаються, здійснюються одночасно. Участь морського транспорту, який зазвичай обслуговує вантажопотоки зовнішньої торгівлі, у загальному процесі доставки характеризується складним комплексом процесів, пов'язаних з організацією та реалізацією доставки товарів, а також значною кількістю підприємств, які залучаються та беруть участь у процесі доставки товарів.

Дослідження діяльності як системи процесів, які відбуваються у взаємному зв'язку один з одним та/або середовищем їхнього зовнішнього протікання, лежить в основі процесного підходу, який як концепція управління знаходить все більшого застосування у різних виробничих та комерційних сферах [1-5].

Одним з ключових понять процесного підходу є «бізнес-процес» - саме на його виділенні, формалізації та оптимізації базується методологія процесного підходу до управління, який є одним з базових принципів системи менеджменту якості [6]. На цім, як наголошується в [7], чіткого та одно-

значного тлумачення поняття «бізнес-процес» немає. У основі цього терміну лежить поняття «процес», під яким у рамках процесного підходу розуміють «сукупність взаємопов'язаних або взаємодійних робіт, що використовують входи для створення запланованого результату» [8, с. 11].

У розумінні «бізнес-процес» у рамках процесного підходу принциповим моментом є перетворення, яких зазнає об'єкт процесу у рамках його (процесу) реалізації. Наголосимо, що під час дослідження процесу доставки принциповим є об'єкт, щодо якого здійснюються процеси – товар, який у процесах переміщення набуває статусу «вантаж». Під час реалізації процесів переміщення вантаж як товар сам по собі не зазнає жодних кількісних та/або якісних змін, наразі змінюється його просторово-часове розташування та/або ступінь його транспортабельності, що власне і є «перетворенням».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процесний підхід як методологія дослідження процесів у транспортній сфері сьогодні знаходить відбиття у публікаціях, пов'язаних з удосконаленням діяльності підприємств, які працюють у транспортній галузі [11-14], з акцентом на специфічних особливостях процесів різних видів транспорту. Застосування процесного підходу з урахуванням специфіки функціонування підприємств морського транспорту, що вони беруть участь у доставці товарів, відбито у [15-16], де автори приділяють увагу удосконаленню діяльності окремих підприємств морського транспорту (портів та компаній, що надають послуги з агентування суден у морських портах). У [17] автори під «транспортними підприємствами», як їх позначено у назві роботи, розглядають насамперед порти та структури, які опікуються безпекою суден, хоча беззаперечно спектр компаній, які надають послуги морського транспорту, представлено більшою кількістю структур.

Можливості застосування процесного підходу до функціонування логістичних систем досліджено у [18-23], де автори розглядають процеси, пов'язані з доставкою товарів, як частину логістичного обслуговування, тим самим не приділяючи процесу доставки більшої уваги, аніж іншим логістичним процесом, які розглядаються у публікаціях. Значний акцент надано координації та злагодженості окремих логістичних процесів (у тому числі транспортування – як одного з них), завдяки чому власне і розв'язуються поставлені завдання з оптимізації функціонування логістичних систем.

**Посановка завдання.** Метою статті є декомпозиція процесу доставки товару за участі морського транспорту відповідно до основних положень процесного підходу, що передбачає ідентифікацію процесів, пов'язаних із переміщенням товарів/вантажів, та встановлення їхніх взаємозв'язків і визначення основних атрибутів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес доставки є комплексом транспортних процесів, які реалізуються різними видами транспорту, що є принциповим для доставки товару за участі морського транспорту – від виробника до порту відправлення та з порту призначення кінцевому споживачеві товар може бути доставлено виключено наземними (автомобільним та залізничним) видами транспорту. Зі свого боку, транспортування морським транспортом у загальному випадку, складається з виробничих процесів елементів транспортної інфраструктури – портів (стивідорних компаній) та флоту, якими власне і забезпечуються процеси переміщення вантажу.

У цій роботі розглядається процес доставки – як сукупність окремих процесів, якими забезпечується переміщення товару від його відправника до одержувача. Ієрархію процесів, які формують процес доставки із залученням морського транспорту, подано на рис. 1.

Основою процесного підходу є розділення діяльності на окремі взаємопов'язані процеси. Водночас таке виділення окремого процесу у системі процесів може ґрунтуватися на наявності кінцевого споживача результату процесу, а сам процес характеризується наявністю низки ключових елементів: вхід та вихід, постачальник та споживач процесу, ресурси та виконавці (власники) процесу, показники ефективності процесу [24].

У процесі доставки в термінології процесного підходу «входом» (об'єкт, який зазнає перетворень під час процесу) є товар (з позицій транспортних засобів та елементів транспортної інфраструктури, що здійснюють його переміщення, – вантаж); виходом – доставка товару (у змістовному розумінні доставки як результату), фактично – доставлений товар. Під час реалізації процесів (сукупності взаємопов'язаних, взаємопов'язаних видів діяльності) переміщення власне і відбувається трансформація «входу» у «виходи» – товар, який необхідно доставити від виробника до споживача стає «доставленим товаром».

Будь-який процес характеризується наявністю постачальника (який забезпечує входи процесу) та споживача (який зацікавлений у виході процесу). Для процесу доставки це відповідно продавець

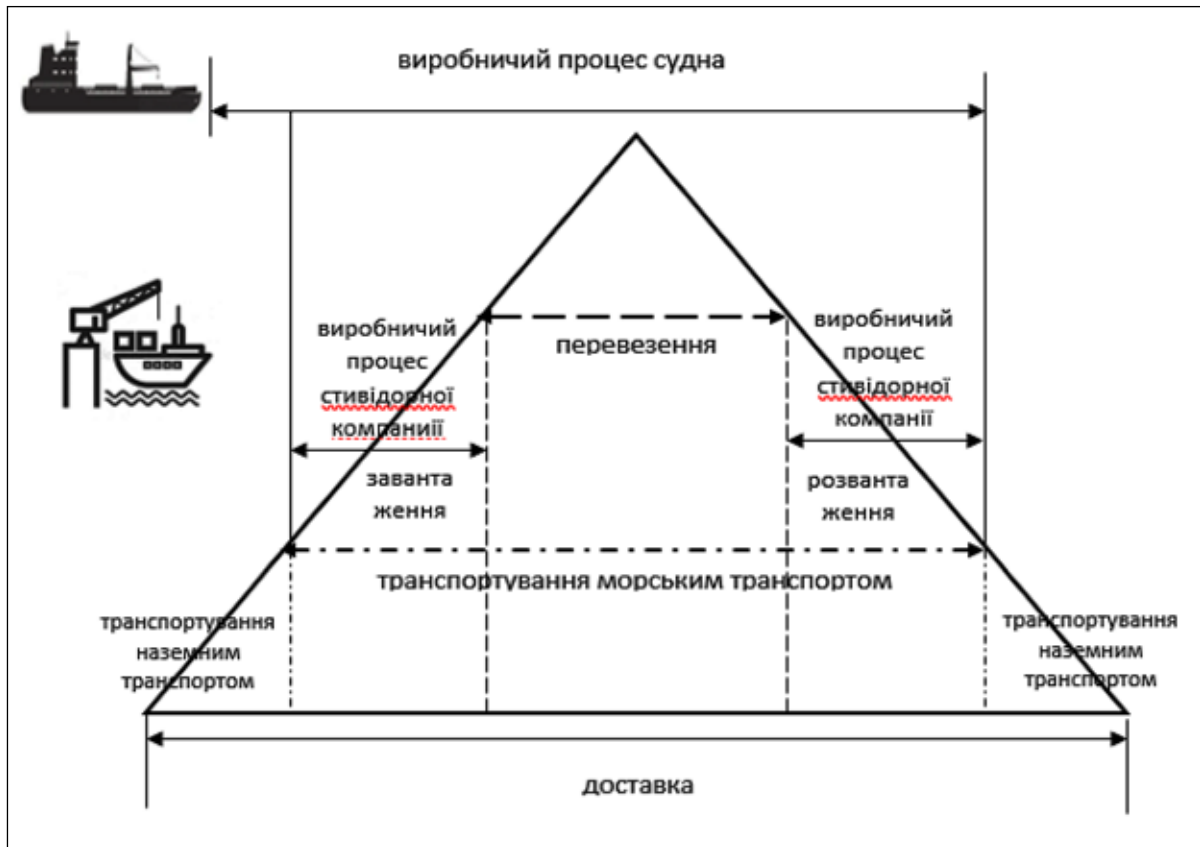


Рис. 1. Ієрархія процесів, які формують процес доставки товарів за участі морського транспорту

та покупець товару, які, уклавши угоди його купівлі-продажу, ініціюють процес доставки, на цій продавця є постачальником процесу, а покупець – його споживачем. Тут слід зазначити, що доставка, зрозуміло, є не сама по собі, а як невіддільні частини сфери торгівлі (з відповідними процесами, пов'язаними зокрема із купівлею-продажем товарів), яка, зі свого боку, поєднує сфери виробництва та споживання, де також відбуваються процеси відповідно виробництва та споживання. Об'єкт названих процесів є єдиним, наразі у сфері виробництва він є «продукцією», потрапляючи у сферу торгівлі набуває статусу «товару» із відповідними змістовними змінами під час потрапляння у наступну сферу – його споживання. У цьому сенсі товар як «вхід» до процесу доставки є свого роду «виходом» з процесу виробництва продукції, а як «вихід» з процесу доставки, яким власне забезпечується його переміщення до споживача, – «входом» до наступного процесу – процесу його споживання. Відповідно, з точки зору процесів, що забезпечують появу товару як «входу» до процесу доставки, процесу доставки передують процеси виробництва та/або (де суб'єктом постачальником товару як «входу»

до процесу доставки є виробник), а наступним процесом – процес споживання та/або можливого перероблювання доставленого товару. Відповідно, продавець як постачальник «входу» до процесу доставки у попередньому процесі виробництва виступав як споживач процесу; покупець, як споживач «виходу» процесу доставки, є постачальником «входів» до наступних процесів, що відбуватимуться із товаром. Можливою є і ситуація, коли виробник є власне і продавцем товару, так само – як і покупець є останнім його споживачем. Наразі як постачальники та споживачі процесу доставки вони іменуються саме продавцем та покупцем товару.

Важливим елементом реалізації процесу є його ресурси та власники. У методології процесного підходу ресурсами є елементи, необхідні для реалізації процесу, а власником процесу є особа, яка має відповідні ресурси та відповідає за отримання кінцевого результату. Матеріальними ресурсами процесу доставки є елементи транспортної системи (транспортні засоби та інфраструктурні об'єкти), інформаційними – документообіг, пов'язаний з переміщенням товару, який реалізує взаємозв'язок та взаємопов'язаність процесів



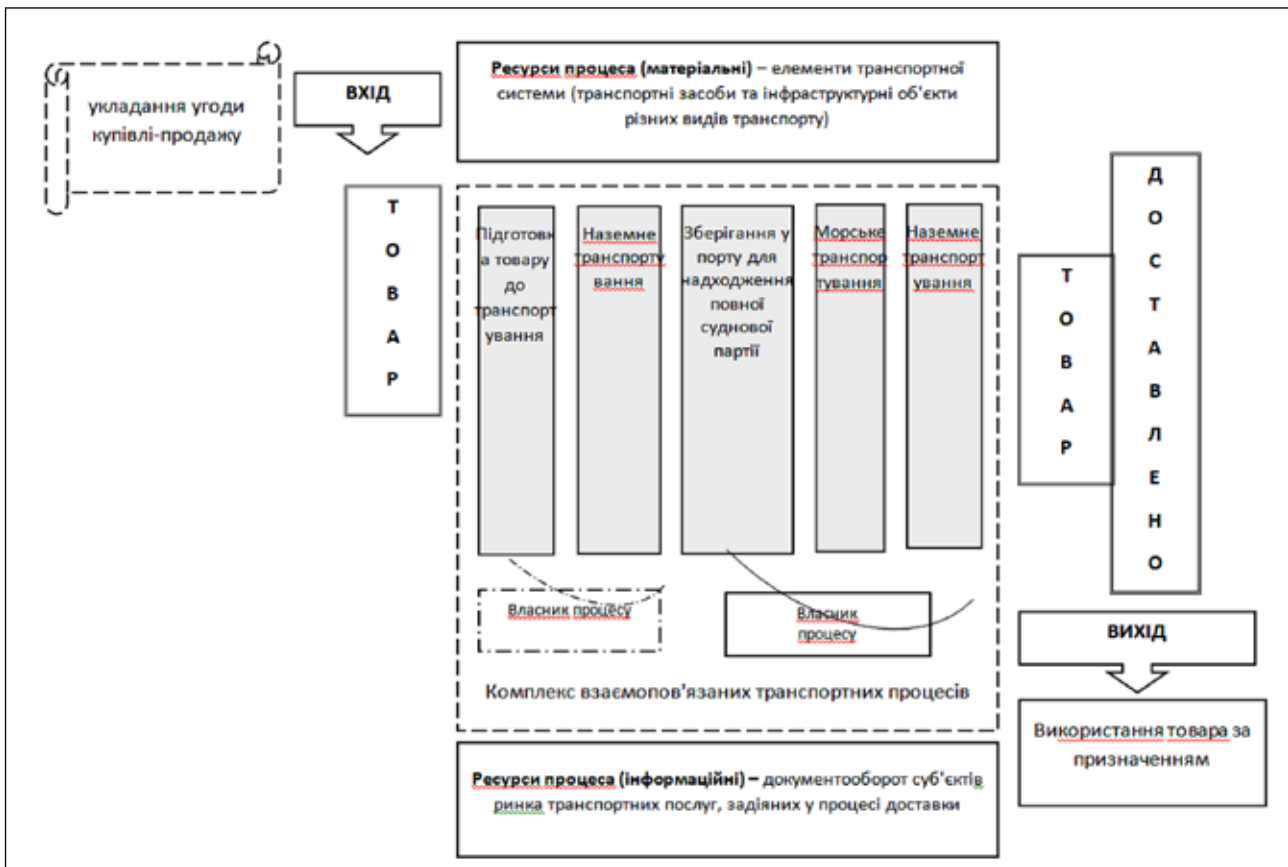


Рис. 2. Процес доставки вантажів у термінах процесного підходу

та забезпечується суб'єктами ринка транспортних послуг. Характерною відмінністю процесу доставки є той факт, що виробничі процеси елементів транспортної системи, які здійснюють безпосереднє переміщення вантажу, багато у чому ініціюються документально процесами, які реалізуються суб'єктами ринка транспортних послуг. Для останніх така «ініціація» є власними виробничими процесами, наразі без їхнього виконання неможливим є і виконання виробничих процесів елементів транспортної системи, залучених у процес доставки.

Власниками процесів є особи (організації), які несуть відповідальність за реалізацію процесу. Власниками процесу доставки можуть виступати як продавець і покупець (за умови організації ними процесу доставки самостійно), так і транспортно-експедиторські компанії, які беруть на себе зобов'язання з транспортування товару та діють від імені та за дорученням його власника. Водночас власником процесу доставки продавець і покупець є у межах своєї відповідальності за організацію переміщення товару до певного географічного пункту. З досягненням товару у процесі доставки названого географічного пункту,

власником процесу доставки стає покупець. Власниками процесів можуть бути, як зазначалось, і транспортно-експедиторські компанії, які беруть на себе відповідальність за організацію транспортування товару – наразі у тих самих межах відповідальності своїх принципалів. Межі відповідальності продавця і покупця (у рівному ступені – експедиторів, які залучено для організації доставки товару кожною зі сторін) визначаються базисними умовами поставляння, погодженими сторонами та зафіксованими у контракті його купівлі-продажу. Організацію транспортування товару власники процесів можуть здійснювати як власними силами (за наявності необхідних ресурсів – транспортних засобів, наприклад), так і з залученням сторонніх організацій для виконання своїх зобов'язань щодо доставки товару. У останньому випадку власник процесу пов'язаний з ними відповідною системою договорів, згідно з якими власне і здійснюються окремі етапи процесу доставки, наразі відповідальними за процес доставки (у межах своїх обов'язків за доставку товару до певного пункту та від нього) є продавець та покупець (або транспортно-експедиторські компанії, які діють за їхнім дорученням).

Процес доставки у термінології процесного підходу, як показано на рис. 2, структурно складається з сукупності процесів транспортування, які, зі свого боку, є сукупністю виробничих процесів елементів системи доставки. В основу виділення окремих процесів у рамках процесу доставки покладено принцип результату: у результаті виконання процесу його виконавцем відбувається певна трансформація входу (яким є товар), необхідна для виконання наступного процесу наступним його власником. Як ілюстрація вказаної вище особливості визначення власників процесу доставки зовнішньоторговельних товарів у рамках відповідальності продавця і покупця, власники процесів доставки зовнішньоторговельних вантажів вказані на рис. 2 для угоди, укладеної на умовах постачання, згідно з якими відповідальність продавця за доставку товару обмежується постачанням до порту відправлення – коли основне перевезення (морським транспортом) сплачується покупцем (група С базисних умов постачання товарів згідно з міжнародними правилами ІНКОТЕРМС). Наголосимо, що процес доставки продовжує здійснюватися щодо товару, наразі продавець або його експедитор перестають бути власником процесу доставки, ним стає покупець (його експедитор).

Показники процесу, наряду з названими елементами, є одним з ключових понять процесного підходу. Це система показників, яка кількісно та/або якісно характеризує протікання процесу та результати, що отримуються, що у рамках процесу доставки має, вочевидь, бути орієнтовано у тому рахунку і на ступінь задоволеності споживача процесу ходом його виконання. Таким чином, система показників процесу має базуватися на інтересах продавців та покупців товарів у межах їхньої відповідальності та включати показники, якими оцінюватимуться часові та вартісні показники процесу, а також чинники ризику, пов'язані з доставкою товару.

**Висновки.** Отже, виділення окремих процесів, які формують процес доставки загалом, є основою для розробки заходів щодо забезпечення їхньої ефективності шляхом формування регламенту окремих процесів та забезпечення контролю на їхніх стиках. Подане формулювання процесу доставки у термінології процесного підходу та розгляд його як сукупності окремих процесів, які реалізуються на різних рівнях, є підставами для виділення у процесі доставки суб-процесів для їхнього подальшого дослідження як складників процесів системи доставки.

#### Список літератури:

1. Гвоздь М.Я., Мицько В.І. Проблеми та переваги використання процесного підходу до управління машинобудівними підприємствами. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2014. № 811. С. 56–62.
2. Іващенко А.Г. Процесний підхід до управління як передумова підвищення конкурентоспроможності промислового підприємства. *Фінансовий простір*. 2015. № 2 (18). С. 390–395.
3. Чуб О.О. Імплементация процесного підходу в банках в умовах глобалізації. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2008. № 4 (46). С. 322–329.
4. Салагакова Н.О. Побудова мережі бізнес-процесів туристичного підприємства. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2015. Вип. 15. Ч. 3. С. 102–105.
5. Зайцев Р. Применение процесного підходу – обзор 2016. URL: <https://rzbpm.ru/knowledge/primenenie-processnogo-podxoda-obzor-2016.html> (дата звернення 15.05.2019).
6. Quality management principles. URL: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/pub100080.pdf> (дата звернення 15.05.2019).
7. Чорнобай Л.І., Дума О.І. Бізнес-процеси підприємства: загальна характеристика та економічна суть. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*. 2013. № 769. С. 125–131.
8. ДСТУ ISO 9000:2015. Система управління якістю. Основні положення та словник термінів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 45 с. (Національний стандарт України).
9. Keely L. Croxton, Sebastián J. García-Dastugue, Douglas M. Lambert, Dale S. Rogers. The Supply Chain Management Processes. *The International Journal of Logistics Management*. 2001. Vol. 12. № 2. P. 13–36.
10. Novack Robert A., Stephen W. Simco The Industrial Procurement Process : A Supply Chain Perspective. *Journal of Business Logistics*. 1991. Vol. 12. №. 1. P. 145–167.
11. Елисеєв С.Ю., Кулиєва Е.С. Процессный подход как основа повышения эффективности системы обслуживания грузовладельцев на железнодорожном транспорте. *Наука и техника транспорта*. 2017. № 2. С. 57–62.
12. Криворучко О.М., Сукач Ю.О. Формування бізнес-процесної моделі автотранспортного підприємства. *Економіка транспортного комплексу*. 2014. Вип. 23. С. 91–103.

13. Шатров С.Л., Фроленкова Е.О. Процессный подход в в системе управления железнодорожным транспортом : учетно-контрольные аспекты. *Устойчивое развитие экономики: международные и национальные аспекты*: электронный сборник статей II международной науч.-практ. конф. (Новополоцк, 7-8 июня 2018 г.). Новополоцк, 2018. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/161589989.pdf> (дата звернення 16.05.2019).
14. Підпригора І.В., Мінка В.Ф. Система менеджменту якості для підприємств залізничного транспорту. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2016. Вип. 20. Ч. 2. С. 76–79.
15. Корецька О.В. Особливості процесу управління бізнес-процесами підприємств портової діяльності. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія Міжнародні економічні відносини і світове господарство*. 2017. Вип. 14. Ч. 1. С. 155–158.
16. Бурда А.Г. Совершенствование бизнес-процессов морского агентирования при транспортировке сельскохозяйственных грузов: моделирование и информационное обеспечение. *Вестник Сибирского институт бизнеса и информационных технологий*. 2018. № 1 (25). С. 18–24.
17. Кравченко А.В., Голодницький А.Г. Управление бизнес-процессами транспортных предприятий. *Економічні інновації*. 2009. Вип. 39. С. 254–260.
18. Копытов Е., Abramov D. Modelling of multimodal freight transportation system using process approach. *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Harbour Maritime Multimodal Logistics Modelling and Simulation (HMS 2011)*. (Rome, 12-14 September, 2011). Rome, 2011. P. 46–51.
19. Staniak Maciej, Kolinski Adam. The impact of transport processes standardization on supply chain efficiency. *Scientific Journal of Logistics*. 2016. № 12 (1). P. 37–46.
20. Dariusz Badura. Modelling business processes in logistics with the use of diagrams BPMN and UML. URL: <http://www.wsb.edu.pl/container/FORUM%20SCIENTIAE/fso%20logistic/badura.pdf>. (дата звернення 15.05.2019).
21. Benaissa M., Benabdelhafid A., Akkouri Z. Quality management approach in supply chain logistics case of shipping maritime transportations. *Polish Journal of Management Studies*. 2010. Vol. 2. P. 139–154.
22. Rodawski B. Simulation of the logistics processes (SIMPROCESS). *LogForum*. 2006. Vol. 2. Issue 1. № 4. URL: [http://www.logforum.net/vol2/issue1/no4/2\\_1\\_4\\_06.html](http://www.logforum.net/vol2/issue1/no4/2_1_4_06.html) (дата звернення 16.05.2019).
23. Иващенко Т.И. Процессный подход как метод оптимизации логистических систем. *Ученые заметки Тихоокеанского государственного университета*. 2014. Том 5. № 4. URL: [http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2014/TGU\\_5\\_148.pdf](http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2014/TGU_5_148.pdf) (дата звернення 16.05.2019).
24. Репин В.В., Епифанов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.

### **Koskina Yu.O. PROCESS APPROACH TO DESCRIPTION OF DELIVERY OF GOODS WITH PARTICIPATION OF MARITIME TRANSPORT**

*The paper presents the process of good movement on the level of its delivery from the point of departure to the point of destination. It consists of transportations of goods with different modes of transport including maritime transport. The transportation, in turn, consists of manufacturing processes realized by the organizations involved in it. So, the delivery process is presented on three hierarchical levels. The place of transportation of cargo by sea and the manufacturing process of the vessel in the delivery process with maritime transport has been established.*

*The process of delivery of foreign trade goods with the participation of maritime transport is described in the terminology of the process approach with the main attributes set. The input is the product to be delivered; the output, which is obtained, is already delivered cargo. The processes leading to the result are the processes of movements of goods by different modes of transport (for the last ones the goods probably become cargo). The process of delivery is preceded with the manufacturing process (and it is the predecessor process) and is followed with the consumption process of goods (the subsequent process). The conclusion of a trade contract initiates the delivery process which connects the spheres of production and consumption. Making the mentioned transaction, its parties, referred to as the seller and the buyer, distribute responsibility for the delivery of goods. Usually for foreign trade goods they use the INCOTERMS and it means for the named geographic point the responsibility to carry the good rests with the seller and from that point – with the buyer according to the terms of delivery. It probably means that they are the ownerships of the process within their responsibility – they have to organize the transportation including the choice of the modes of the transport, carrier, cargo handling company etc.*

*The resources of the delivery process are the material and information resources. The material ones are the transport system elements providing the direct movement of the goods – vehicles and infrastructure facilities of different modes of transport, and transport communications connecting them. The information resources are document flows of the organizations of transport market services, which initiate and provide the function of transport systems' elements and movement of goods from the point of departure to the point of destination and at certain stages.*

**Key words:** *delivery of cargoes, maritime transport, production process of the vessel, process approach.*

UDK 656.612

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/22>

**Lapkina I.O.**

Odessa National Maritime University

**Malaksiano M.O.**

Odessa National Maritime University

**Glavatskykh V.I.**

Odessa National Maritime University

## TO THE ISSUE OF THE POSSIBILITY OF OPERATING VESSELS AT SLOW SPEEDS

*The instability of the freight market caused a high level of competition between shipping companies. In order to improve their competitiveness on the market, ship owners and operators have to optimize their costs, including fuel consumption costs. Since fuel consumption is directly dependent on the speed of the vessel, the operation of vessels at slow speeds is widely used in world practice. Therefore, studies aimed at substantiating an economically reasonable speed of vessels are particularly relevant.*

*The ways of increasing the efficiency of the operational phase of fleet replenishment projects have been investigated, taking into account the possibility of operating vessels at slow speeds. To do this, the analysis of the dependence of fuel consumption on the vessel speed is carried out. The vessel operation at slow speeds helps to achieve a significant reduction in fuel consumption and, consequently, effectively serves for operating costs reduction. The analysis of the efficiency of long-term investments, which include the acquisition of vessels, is quite complicated. It is associated with long time intervals and requires a comprehensive assessment of future conditions. The Net Present Values (NPV) of the projects for the acquisition and operation of vessels were calculated. Changes in the NPV values for the acquisition and operation options of the vessels depending on the speed were studied. It was shown that the efficiency of the acquisition and operation options of bulk carriers can be significantly improved through a reasonable choice of the vessel speed.*

*The calculations showed that at different speed regimes the best values of performance indicators can be achieved by different vessels. Therefore, the optimal choice of vessels should be made, taking into account the speed regime they are planned to operate. The completed study allows us to make a substantiated choice of the purchase option and the subsequent vessel operation.*

**Key words:** dry bulk shipping, fuel consumption, optimal speed, sea transport, slow speed.

**Formulation of the problem in general.** The instability of demand for shipping and plenty of vessels caused a high level of competition between shipping companies. In order to improve their competitiveness on the chartering market, ship owners and operators have to optimize costs, including fuel costs. Since fuel consumption is directly dependent on the speed of the vessel, the operation of vessels at slow speeds is widely used in world practice. Therefore, studies aimed at choosing an economically reasonable speed of vessels are particularly relevant.

When determining the main directions of a shipping company's investment policy, it is worth to note that international shipping is a fairly specific form of activity exposed to the influence of a multitude of factors. Although shipping is a dynamically changing business with many restrictions and options, the ship owners' objectives remain unchanged: they strive to

operate their fleet so as to achieve the most efficient utilization of the available tonnage.

The available tonnage changes as a result of natural aging, and requires efficient timely renewal. Financing a project of ship acquisition is a fairly risky undertaking that requires essential substantiation. Under such conditions it is important to carry out a careful analysis of alternative investments. These include purchase of new tonnage (newly built ships), purchase of tonnage previously operated by other shipping companies (second-hand tonnage), or upgrading of existing ships.

**Analysis of recent publications on the subject of research.** There are a number of studies on the wide range of problems concerning management of shipping companies and their optimal investment policy. Some basic methods of management of shipping companies and their optimal investment policy are discussed in [1–3].

One of the critical problems of the shipping business is associated with the market entry-exit decisions and the investment timing for asset allocation. In [4] shipping assets and market entry decisions are studied from the point of business cycles in the dry cargo shipping. The problem of market entry decision is addressed according to the maximum return on equity condition. In order to solve the problem, a number of indicators are discussed under the business cycle perspective and the fluctuation of the return on equity is estimated in the long-run framework.

The study, proposed in [5] deals with the problem of cargo type selection for the dry bulk ship companies by means of fuzzy multicriteria decision-making approach. The evaluation process is based on identifying criteria sets and ranking them according to factor loads using fuzzy AHP. The criteria include net profit from freight, cargo handling conditions, total fuel consumption and others.

In the paper [6] fuel consumption levels of liner vessels at various speeds are estimated. Through an extensive analysis of liner service characteristics, fuel costs and fuel surcharges authors explore the impact of slow steaming on fuel consumption and liner service characteristics, and evaluate the extent to which slow steaming has changed the relation between fuel costs and fuel surcharges imposed on shippers by shipping lines. Relations between slow steaming practices and fuel surcharge policies of shipping lines are explored.

There are several ways to reduce the cost of combustibles and lubricants. One of the ways is to update the fleet with new-generation vessels, which are equipped with modern economical engines. This course is associated with attracting significant investment. The issues of substantiation of the strategies for operating and replacing equipment, taking into account uncertainties, are studied in [7; 8]. The work of [9] is devoted to the issues of economic substantiation in the design of sea cargo ships. In papers [10; 11], the issues of replacing equipment are considered with regard to the growth of wear and tear. The substantiation of the optimal service life of the equipment, taking into account both wear and tear and obsolescence, was studied in article [12].

Another way to reduce fuel consumption in the vessel operation is to select and ensure optimal operating conditions of the ship's power plant, as well as various organizational and technical measures to save combustibles and lubricants. Reducing the speed during the vessel operation can significantly reduce the vessel operating costs and is widely used in practice.

Fluctuations of fuel prices and strict regulations of emissions are the leading factors which influence the

maritime shipping industry and made shipping companies and ship owners find ways to reduce and optimize fuel consumption. Some different measures and approaches aimed at the reduction of fuel consumption are discussed in [13]. Among these approaches were those based on the optimizing the ship construction (such as construction of hull, propeller, etc.), and those related to routes optimization and speed control.

Paper [14] is devoted to exploration of the process of setting warranted ship speed and fuel consumption in ocean shipping time charter contracts. A conceptual model was proposed in which warranted ship speed and fuel consumption are related to an underperformance claim. Thus, in [14] authors study warranted and fuel consumption from various contract terms, ship characteristics, and market variables based on an empirical model for warranted ship speed and fuel consumption and time charter fixture data.

Great attention of the leading shipping and carrier companies is focused on the development of measures to reduce fuel costs. These include measures for organizing transportation (combining routes, reducing operating speed, providing favorable navigation conditions), measures for technological improvement (improvement of the hull design, new technologies for ship engines, use of alternative energy sources, computer technologies).

Saving combustibles and lubricants on ships is an important complex task that requires an effective solution not only because it provides an increase in profits, but also due to the fact that the rational use of energy resources can significantly reduce the amount of combustion products emitted into the atmosphere. At the same time, reducing fuel consumption, as a rule, saves the service life of the main engines of a vessel and generating units of ship power plants. This reduces the thermal stress of parts and assemblies of ship machinery and mechanisms and consumption of lubricants.

In [2], the optimal speed of vessels in tramp navigation is investigated. The methods of substantiation of the optimal speed when designing ships were studied in [9]. Studies [15–19] and a number of other studies are devoted to the study of the dependence of fuel consumption on the speed and the development of methods for choosing the optimal operational speed of ships.

**The purpose of the work** is to develop measures aimed at improving the operational efficiency of vessels used in tramp navigation, as well as the rationale for the methods of substantiation of the choice of a vessel acquisition option, taking into account the possibility of its operation at various speeds.

Table 1

The main characteristics of the expectant vessels

	Vessel 1	Vessel 2	Vessel 3	Vessel 4
Type of the vessel	bulk carrier	bulk carrier	bulk carrier	bulk carrier
Year built	2014	2004	1997	2018
Deadweight, mt	32729	35000	42648	38595
Draught, m	8.10	7.60	11.10	8.80
Net capacity, mt	26569	29151	35912	31713
Cargo capacity, m <sup>3</sup>	42857	44183	51912	50879
GRT	19891	22115	24987	23703
NRT	11021	12814	18975	13524
Holds/Hatches	5/5	5/5	5/5	5/5
LOA, m	177.00	180.00	181.50	179.99
Beam, m	28.40	30.00	30.50	30.00
Depth, m	14.20	15.80	16.10	16.60
Service speed full-loaded, knots	14.5	14.0	12.0	13.8
Service speed in ballast, knots	15	14.3	12.5	14.2
Purchase price of the vessel, thousand USD	8 000	7 250	5 510	13 900
Sale price of the vessel after using for five years, thousand USD	5 300	5 250	3 500	10 200

Table 2

Changes in high viscosity fuel consumption depending on the speed of the expectant vessels

Speed, knots	Fuel consumption, ton/day			
	Vessel 1	Vessel 2	Vessel 3	Vessel 4
5.0	6.16	6.47	9.53	4.36
5.5	6.48	6.89	10.07	4.74
6.0	6.86	7.36	10.70	5.18
6.5	7.28	7.91	11.42	5.68
7.0	7.77	8.53	12.23	6.25
7.5	8.31	9.22	13.14	6.89
8.0	8.92	9.99	14.15	7.60
8.5	9.59	10.85	15.27	8.39
9.0	10.32	11.78	16.50	9.25
9.5	11.13	12.81	17.84	10.20
10.0	12.00	13.92	19.30	11.22
10.5	12.95	15.13	20.89	12.34
11.0	13.97	16.43	22.59	13.54
11.5	15.07	17.83	24.43	14.83
12.0	16.25	19.33	26.40	16.21
12.5	17.51	20.94	—	17.69
13.0	18.85	22.65	—	19.27
13.5	20.28	24.48	—	20.95
13.8	21.18	25.62	—	22.00
14.0	21.80	26.40	—	—
14.5	23.40	—	—	—

For further study, we will consider several alternative options for acquiring bulk carriers for the transport of grain cargoes from Ukrainian ports to the ports of China and other countries in Southeast Asia. The main characteristics of the considered expectant vessels are given in Table 1.

In Fig. 1 the graphs of changes in consumption of fuel IFO 380, depending on the speed of the considered vessels are shown.

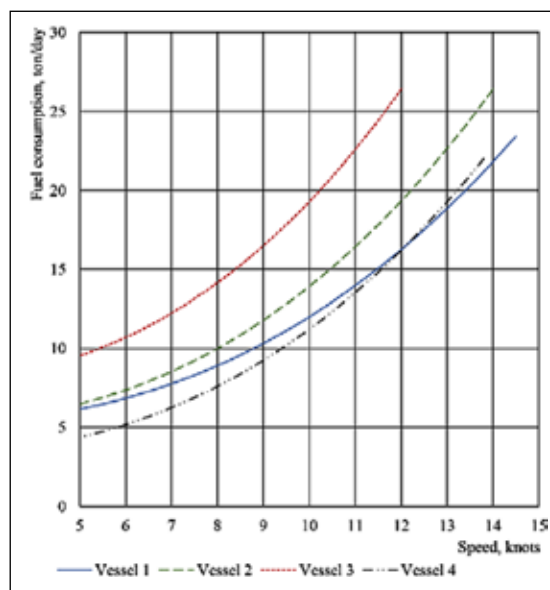


Fig. 1. Comparison of high viscosity fuel consumption dependencies on the speed for the considered expectant vessels

Changes in consumption of fuel IFO 380, depending on the speed of the expectant vessels, are presented in Table 2.

**Evaluation of time-charter equivalent values depending on the vessel speed.** In order to evaluate the efficiency of the use of the expectant vessels, the operational performance indicators of these vessels in several routes were calculated. The value of

freight, fixed and variable costs (including the cost of combustibles and lubricants) and time of voyage for each vessel and each direction depending on the selected speed of the vessels were found. Based on these indicators, the TCE (Time Charter Equivalent) values over all directions were calculated for each of the vessels considered, depending on the speed of the vessels. The changes in the TCE values depending on the speed of the expectant vessels are presented in Table 3.

Table 3

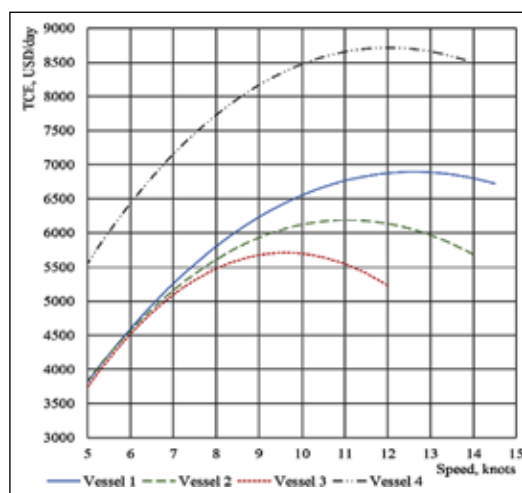
**The changes in the TCE values depending on the speed of the considered vessels**

Speed, knots	TCE, USD/day			
	Vessel 1	Vessel 2	Vessel 3	Vessel 4
5.0	6.16	6.47	9.53	4.36
5.5	6.48	6.89	10.07	4.74
6.0	6.86	7.36	10.70	5.18
6.5	7.28	7.91	11.42	5.68
7.0	7.77	8.53	12.23	6.25
7.5	8.31	9.22	13.14	6.89
8.0	8.92	9.99	14.15	7.60
8.5	9.59	10.85	15.27	8.39
9.0	10.32	11.78	16.50	9.25
9.5	11.13	12.81	17.84	10.20
10.0	12.00	13.92	19.30	11.22
10.5	12.95	15.13	20.89	12.34
11.0	13.97	16.43	22.59	13.54
11.5	15.07	17.83	24.43	14.83
12.0	16.25	19.33	26.40	16.21
12.5	17.51	20.94	–	17.69
13.0	18.85	22.65	–	19.27
13.5	20.28	24.48	–	20.95
13.8	21.18	25.62	–	22.00
14.0	21.80	26.40	–	–
14.5	23.40	–	–	–

In Fig. 2 the curves of the changes in the average values of the TCE, depending on the speed of the expectant vessels, are shown.

**Impact evaluation of the vessel speed on the performance values.** The analysis of the efficiency of long-term investments, which include the acquisition of vessels, is quite complicated. It is associated with long time intervals and requires a comprehensive assessment of future conditions.

In assessing the efficiency of the acquisition and operation options of the considered expectant vessels, we will take as a basis the standard methods for evaluating projects in maritime transport described in [20].



**Fig. 2. The changes in the average values of the TCE depending on the speed of the expectant vessels**

To calculate the NPV values of the projects considered for the acquisition and operation of vessels, it is necessary to estimate all the cash flows associated with these projects. The cash flow  $CF_i$  for year  $i$  is the difference between incomes and costs incurred in operating the vessel, including credit costs. It is calculated by the formula

$$CF_i = TCE \cdot T_e - R_i^{perm} - R_i^{fixed}, \quad (1)$$

where TCE – the weighted average time charter equivalent for all directions of transportation, USD/day;  $R_i^{fixed}$  – the fixed costs during the vessel operation for year  $i$ , USD;  $R_i^{cred}$  – the credit costs for year  $i$ , USD;  $T_e$  – the period of the vessel operation during the year, days.

The fixed costs during the vessel operation include the crew's salary, expenses related to maintaining the vessel in proper technical condition, as well as insurance fees.

The value of the central indicator of the efficiency of the acquisition and operation option of the vessel (NPV, Net Present Value) is determined by the formula

$$NPV = \sum_{i=1}^T \frac{CF_i}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^i} + \frac{I_{sale}}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T} - I_0^{own}, \quad (2)$$

where  $T$  – the time period considered, years;  $p$  – the discount rate, %;  $I_0^{own}$  – the volume of investment at the expense of own funds, USD;  $I_{sale}$  – the estimated cost of selling the vessel after its operation during  $T$  years, USD.

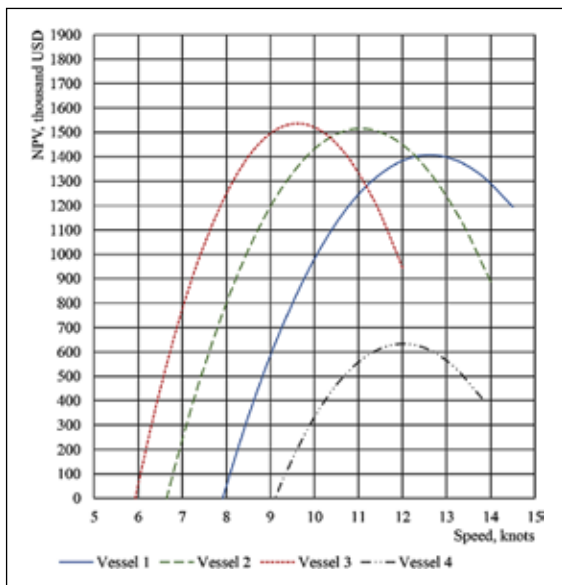
In Table 4 the calculations of the NPV values for the considered acquisition and operation options of the vessels under the condition of movement of vessels at different speeds are shown.



Table 4  
**Changes in the NPV values for the acquisition and operation options of the vessels depending on the speed**

Speed, knots	NPV, thousand USD			
	Vessel 1	Vessel 2	Vessel 3	Vessel 4
5.0	-2422.61	-1401.14	-907.63	-3288.17
5.5	-1914.87	-924.16	-392.28	-2720.66
6.0	-1446.48	-492.38	58.71	-2202.00
6.5	-1016.30	-104.89	446.90	-1730.86
7.0	-623.72	239.05	773.74	-1306.07
7.5	-267.99	540.28	1040.60	-926.37
8.0	51.60	799.57	1248.82	-590.62
8.5	335.74	1017.67	1399.68	-297.73
9.0	585.08	1195.30	1494.35	-46.67
9.5	800.26	1333.16	1534.00	163.54
10.0	981.87	1431.94	1519.82	333.84
10.5	1130.52	1492.26	1452.38	465.10
11.0	1246.75	1514.74	1334.20	558.18
11.5	1331.10	1500.07	1162.49	613.93
12.0	1384.17	1448.55	943.57	632.75
12.5	1406.15	1360.95	—	616.24
13.0	1397.93	1238.88	—	564.56
13.5	1360.62	1077.96	—	474.22
13.8	1322.57	965.18	—	408.98
14.0	1290.32	887.07	—	—
14.5	1195.42	—	—	—

In Fig. 3 the curves of changes in the efficiency indicator values (2) depending on the speed of the expectant vessels are shown.



**Fig. 3. Dependence of the NPV values for the acquisition and operation options of the expectant vessels on the speed**

Fig. 3 shows that when vessels are moving at maximum speeds, the NPV values will not be the

greatest. In Table 5 the NPV values for the acquisition and operation options of the expectant vessels are presented when the vessels are moving at service (maximum) speeds.

Table 5  
**The NPV values for the acquisition and operation options of the expectant vessels when moving at service speeds**

Vessels	Vessel service speed, knots	NPV value, thousand USD
Vessel 1	14.50	1 195.42
Vessel 2	14.00	887.07
Vessel 3	12.00	943.57
Vessel 4	13.80	408.98

A gradual decrease in the vessel speed to a certain level leads to a reduction in fuel consumption and, consequently, a decrease in the NPV values. For each expectant vessel there is an optimal speed at which the NPV reaches its maximum value. These values are given in Table 6. However, a further decrease in speed, being below the values presented in Table 5, is impractical, as both a decrease in the NPV values and an increase in the voyage time will be observed.

Table 6  
**The maximum NPV values that can be achieved while reducing the speed of the expectant vessels**

Vessels	Optimal speed, knots	Maximal NPV value, thousand USD
Vessel 1	12.32	1 401.98
Vessel 2	11.20	1 513.29
Vessel 3	9.60	1 545.44
Vessel 4	11.73	627.14

The data presented in Fig. 3, Table 4 and Table 6 allow us to make a substantiated choice of the vessel, taking into account the possibility of its operation at various speeds. So, from Fig. 3 it can be seen that Vessel 4 is inferior at any speed to the other vessels considered, therefore its acquisition is inexpedient.

In order to minimize the average voyage duration, Vessel 1 should be chosen and used at maximum speeds. In this case, the speed will be 14.5 knots, that will minimize the voyage time. However, in this case, the value of NPV for Vessel 1 will be only 1.2 thousand USD.

Choosing Vessel 3 and using it at a speed of 9.6 knots can achieve the maximum NPV. In this case, the NPV value will increase to 1.54 thousand USD, which is 0.6 thousand USD more than the NPV value for the same vessel, provided it is used at a maximum speed of 12 knots.



It is obvious that the use of any of the considered expectant vessels at a speed lower than 9.6 knots provides a lower value of the efficiency indicator, which is disadvantageous both for the ship owner and for the cargo owner.

Fig. 3 shows that Vessel 2 presents the best NPV values when used in the speed range from 10.3 to 12.3 knots. The maximum NPV for Vessel 2 is slightly lower than the maximum NPV for Vessel 3. But at the same time, Vessel 2 has better speed characteristics than Vessel 3.

**Conclusions.** The vessel operation at slow speeds helps to achieve a significant reduction in fuel con-

sumption and, consequently, effectively serves for operating costs reduction. The studies have shown that the efficiency of the acquisition and operation options of bulk carriers can be significantly improved through a reasonable choice of the vessel speed. From the calculations it is clear that the choice of a vessel depends on the speed regimes that these vessels are planned to operate. At different speed regimes, the best values of performance indicators can be achieved using different vessels. The proposed method allows the decision maker to make a substantiated choice of the option for acquiring the vessel, taking into an account the possibility of operating it at different speeds.

### References:

1. Revenko V.L., Lapkina I.A. Methods and models of investment analysis in the shipping industry. *Cybernetics and Systems Analysis*. 1997. № 4 (33). PP. 571–580. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02733114>
2. Rakhovetskiy A.N. Operational freight activity in the maritime transport, Moscow : Transport, 1986. 160 p.
3. Kapitonov I.V. Efficiency reserves of ships operations, Moscow Transport, 1990. 221 p.
4. Bulut E., Duru O., Yoshida S. Market entry, asset returns, and irrational exuberance: Asset management anomalies in dry cargo shipping. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*. 2013. № 5 (6). PP. 652–667. DOI: <http://dx.doi.org/10.1504/IJSTL.2013.056851>
5. Özdemir Ü., Güneroğlu A. Cargo type selection procedure using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS techniques: The case of dry bulk cargo ships. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*. 2018. № 10 (3). PP. 259–280. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSTL.2018.091673>
6. Notteboom T., Cariou P. Slow steaming in container liner shipping: is there any impact on fuel surcharge practices? *The International Journal of Logistics Management*, 2013. № 24 (1). PP. 73–86. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2013-0055>
7. Lapkina I., Malaksiano M. Estimation of fluctuations in the performance indicators of equipment that operates under conditions of unstable loading. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 1 (3 (91)). PP. 22–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123367>
8. Lapkina I.O., Malaksiano M.O. (2016). Modelling and optimization of perishable cargo delivery system through Odesa port. *Actual Problems of Economics*. 2016. № 3(177). PP. 353–365.
9. Kraev V.I., Stupin, O.K., Limonov E.L. (1973). Economic justification for the design of marine cargo ships, L. Shipbuilding. 294 p.
10. Lapkina I.O., Malaksiano M.O., Malaksiano M.O. (2016). Optimization of the structure of sea port equipment fleet under unbalanced load. *Actual Problems of Economics*. 2016. № 9 (183). PP. 364–371.
11. Malaksiano N.A. On the stability of economic indicators of complex port equipment usage. *Actual Problems of Economics*. 2012. № 12 (138). PP. 226–233.
12. Lapkina I., Malaksiano M. Elaboration of the equipment replacement terms taking into account wear and tear and obsolescence. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 3 (3 (93)). PP. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133690>
13. Sharifi Y., Ghassemi H., Zanganeh H. (). Various Innovative Technologic Devices in Shipping Energy Saving and Diminish Fuel Consumption. *International Journal of Physics*. 2017. № 5 (1). PP. 21–29. DOI: [10.12691/ijp-5-1-4](https://doi.org/10.12691/ijp-5-1-4)
14. Veenstra A.W., Van Dalen J. Ship Speed and Fuel Consumption Quotation in Ocean Shipping Time Charter Contracts. *Journal of Transport Economics and Policy*. 2011. № 45 (1). PP. 41–61.
15. Ronen D. The effect of oil price on containership speed and fleet size. *Journal of the Operational Research Society*. 2011. № 62(1). PP. 211–216. DOI: <https://doi.org/10.1057/jors.2009.169>
16. Wang S., Meng Q., Liu Z. Bunker consumption optimization methods in shipping: A critical review and extensions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2013. № 53. PP. 49–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.02.003>
17. Lapkina I.A., Akimova O.V. Determination of the optimal operational speed of container ships when the volume of traffic on the line changes. *Methods and tools for managing the development of transport systems*. 2011. № 18. PP. 165–181.

18. Jae-Gon Kim, Hwa-Joong Kim, Paul Tae-Woo Lee. Optimizing ship speed to minimize fuel consumption. *Transportation Letters*. 2014. № 6(3). PP. 109–117. DOI: <https://doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000016>
19. Lapkina I.O., Malaksiano M.O., Glavatskykh V.I. A multi-criteria approach to justifying the choice of a project of bulk carrier vessel acquiring and operating. *Collection of scientific works of DUIT. Series "Transport Systems and Technologies"*. 2019. № 33(2). PP. 99–111.
20. Lapkina I.A., Pavlovskaya L.A., Boldyreva T.V., Shutenko T.N. Project analysis: theoretical foundations for evaluating projects in maritime transport. Odessa : Feniks, 2008. 315 p.

### **Лапкіна І.О., Малаксіано М.О., Главатських В.І. ЩОДО ПИТАННЯ ПРО МОЖЛИВІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН НА УПОВІЛЬНЕНИХ ШВИДКОСТЯХ**

*Нестабільність фрахтового ринку зумовлює високий рівень конкуренції між судноплавними компаніями. Для того, щоб підвищити свою конкурентоспроможність на фрахтовому ринку, власники суден і оператори флоту змушені оптимізувати свої витрати, в тому числі витрати на споживання палива. Оскільки витрати палива безпосередньо залежать від швидкості руху судна, експлуатація суден на уповільнених швидкостях широко використовується у світовій практиці. Тому дослідження, що спрямовані на вибір економічно обґрунтованої швидкості руху суден, особливо актуальні.*

*У роботі досліджено шляхи підвищення ефективності операційної фази проектів поповнення флоту з урахуванням можливості експлуатації суден на уповільнених швидкостях. Для цього проведено аналіз залежності витрат палива від швидкості руху суден. Аналіз ефективності довгострокових інвестицій, які включають у себе придбання та експлуатацію суден, представляє значні труднощі. Це пов'язано з необхідністю розгляду тривалих горизонтів планування і вимагає комплексної оцінки майбутніх умов експлуатації суден. У роботі були вивчені зміни експлуатаційних показників роботи суден і зміни значень чистої сучасної вартості (NPV) для різних проектів поповнення флоту судноплавних компаній залежно від вибору швидкісних режимів руху суден. Було показано, як ефективність експлуатації суден-балкерів може бути значно підвищена завдяки обґрунтованому вибору швидкості руху суден.*

*Розрахунки показали, що при різних швидкісних режимах найкращі значення показників ефективності можуть бути досягнуті шляхом використання різних суден. Тому оптимальний вибір судна істотно залежить від того, на яких швидкісних режимах планується його експлуатувати. Виконане дослідження дає змогу робити обґрунтований вибір варіанту придбання і подальшої експлуатації судна-балкера.*

**Ключові слова:** перевезення навалочних вантажів, витрати палива, оптимальна швидкість, морський транспорт, знижена швидкість.

УДК 656.025 (045)  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/23>

**Стрелко О.Г.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Кириченко Г.І.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Бердниченко Ю.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Лиман А.С.**

Державний університет інфраструктури та технологій

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ З ОГЛЯДУ НА ДОСВІД ІНШИХ ДЕРЖАВ

*Необхідність створення системи якісного обслуговування вантажовласників зумовлена проведенням на залізничному транспорті України реформування. Метою реформування є забезпечення стійкого функціонування залізничного транспорту на ринку транспортних послуг, підвищення комерційної ефективності та якості транспортної продукції. Це досягається шляхом найбільш повного задоволення вимог клієнтів до якості перевезень та пов'язаних із ними послуг. Вимоги, що висувують клієнти під час вибору перевізника, є різноманітними та потребують комплексного підходу до організації обслуговування. У статті досліджуються теоретичні й методичні основи удосконалення шляхів взаємодії залізниці та клієнта в сучасних ринкових умовах шляхом впровадження індексу клієнтоорієнтованості. Проаналізовано досвід інших держав щодо максимального використання пропускної спроможності та ефективного використання залізничної інфраструктури, а також задоволення всіх потреб клієнта. Запропоновано нові критерії, які визначають загальний зріз настроїв на ринку вантажних перевезень залізничним транспортом України, що дало змогу визначити їхні переваги і недоліки та запропонувати раціональні організаційні структури управління ними. Розроблено теоретико-методичні підходи до оцінки економічної ефективності створення та функціонування комплексу програм, який передбачає автоматизований режим роботи у взаємодії з клієнтом у межах єдиного інформаційного середовища. Вказано напрям перспективних досліджень в організації роботи відповідних підрозділів залізничного транспорту. Створення в Україні системи, що враховує бізнес-інтереси клієнта, відкриє нові можливості залізничного транспорту, підвищить конкурентоспроможність залізниць, приверне значну кількість нових клієнтів, підвищить рівень ефективності використання та обороту вагонів шляхом скорочення непродуктивних простоїв надасть додатковий ресурс для збільшення обсягів вантажоперевезень в Україні.*

**Ключові слова:** удосконалення, обслуговування, клієнт, автоматизована система, логістичні послуги, інформаційні технології.

Залізничний транспорт є однією з найбільш наукомістких та технологічно розвинених галузей економіки. Більшість експлуатаційних процесів залізниць є досить складними та непередбаченими і вимагають чіткої побудови та дотримання технологій експлуатаційної роботи.

Значної складності технологічні процеси набувають на сортувальних станціях. Це складні та великі транспортні системи. Значна кількість підсистем та учасників виробничого процесу зумовлює загальну складність і навіть непередбачуваність функціонування підрозділів станцій.

Нині система комплексного обслуговування вантажовласника залізничним транспортом розвинута неповною мірою. Залізничний транспорт надає лише послугу, яка є складником процесу доставки вантажу від відправника до одержувача – транспортування. Крім цього, клієнт, звертаючись до перевізника, потребує повного задоволення своїх потреб та надання повного спектру послуг, таких як вибір виду та типу рухомого складу, підготовчі операції, зберігання вантажу, його маркування, навантаження та розвантаження, попередні розрахункові операції вартості всіх складників транспортування, оформлення супровідної

документації, охорона та супровід вантажу, координування доставки, інформаційний супровід транспортування вантажу.

**Постановка проблеми.** Як свідчить аналіз тенденцій розвитку транспортного обслуговування і систем обробки інформації, інформаційний сервіс на транспорті має розвиватися в двох напрямках: він має надавати послуги як оперативним працівникам транспорту, так і його клієнтам. Якість наданих послуг залежить, насамперед, від технологічних прийомів і засобів передачі інформації, які використовуються в управлінні перевізним процесом. Нині стає очевидним, що окремими заходами проблему підвищення якості інформаційної взаємодії не вирішити. Необхідна комплексна інформаційна клієнтська система, що передбачає надійність передачі та обробки даних у межах єдиного інформаційного середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Упродовж ХХ сторіччя питанням розв'язку проблеми конкурентоспроможності вітчизняного залізничного транспорту увага майже не приділялась, оскільки робота ґрунтувалась не на принципах ринкових відносин, тобто вільної конкуренції, а на принципах держзамовлення. Останніми роками проблемою удосконалення обслуговування вантажовласників на залізничному транспорті, а відповідно й підвищення привабливості саме цього виду транспорту для клієнтів, займались багато науковців та практиків [1–7], які у своїх працях переважно розглядали недоліки в технології оперативного планування вантажної роботи на залізницях України, фактори впливу на технологічну надійність, основні функції інформаційної автоматизованої системи обліку взаємодії залізниці з користувачами транспортних послуг. У працях запропонована оптимізаційна модель розрахунку оперативного плану вантажної роботи залізниць, підвищення ефективності роботи шляхом впровадження комплексної інформаційно-керуючої системи.

У ринкових умовах на транспорті підвищується рівень конкуренції, а підвищення якості транспортного обслуговування може дати змогу залізничному транспорту не лише зберегти свої позиції на транспортному ринку, а й захопити додаткові обсяги перевезень шляхом більш досконалого виконання своїх функцій [8]. Розвиток технологій транспортного обслуговування здатен значною мірою вплинути на конкурентоспроможність залізничного транспорту на ринку транспортних послуг України. Нині одним із шляхів удосконалення обслуговування клієнтів, спрощення управління перевезеннями та їх організації є використання можливостей

АСК ВП УЗ-Є (автоматизована система управління вантажними перевезеннями). Архітектурою та функціоналом АСК ВП УЗ-Є передбачається, що інформація про події з об'єктами управління передається з АРМів (автоматизованого робочого місця) працівників залізниць до центральної бази даних про перевізний процес, де оброблюються, зберігаються та утворюються окремі моделі перевізного процесу. Модель системи, підсистеми – це віртуальне відображення окремої ланки технологічного процесу з об'єктами управління на підставі інформації про події з цими об'єктами. Сукупність моделей перевізного процесу утворюється з метою виконання цілей та реалізації функції системи АСК ВП УЗ-Є [9].

Необхідність створення системи якісного обслуговування вантажовласників зумовлена проведенням на залізничному транспорті України реформування цієї сфери з метою підвищення комерційної ефективності та якості транспортної продукції. Метою реформування є забезпечення стійкого функціонування залізничного транспорту на ринку транспортних послуг. Це досягається шляхом найбільш повного задоволення вимог клієнтів до якості перевезень та пов'язаних із ними послуг [10].

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка підходів до підвищення рівня обслуговування споживачів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нині на залізницях України успішно функціонує АСК ВП УЗ Є – автоматизована система управління вантажними перевезеннями, яка дає змогу вести динамічні вагонну, контейнерну, локомотивну моделі залізниці, а також здійснювати оперативний контроль за завантаженням і вивантаженням вагонів і контейнерів, дислокацією локомотивів і локомотивних бригад, слідуванням пасажирських поїздів, обліком і видачею попереджень у поїзній роботі. Однак у зв'язку із стрімким розвитком вантажних перевезень, вступом України до Євросоюзу, реформуванням залізничних перевезень та необхідністю удосконалення інтегрованості залізничного транспорту постає нагальна потреба в розробці та впровадженні більш сучасних методів роботи та взаємодії із клієнтами Укрзалізниці, що, своєю чергою, поліпшать рівень та якість обслуговування, удосконалять систему управління вантажними перевезеннями, пришвидшать організацію перевезень вантажів [11–12].

Так, наприклад, варто взяти приклад та піти шляхом Польської державної залізниці, яка з

2009 р. поетапно впровадила систему замовлення онлайн ниток поїздів – Internetowy system zamawiania trasy pociągu (ISZTP) та систему конструкції розкладу за назвою – System Konstrukcji Rozkładu Jazdy (SKRJ) власної розробки. Ці системи були повністю впроваджені у 2010 р.

Нині система ISZTP служить інструментом для всебічної обробки заявок, щодня обробляється понад 3000 заявок. ISZTP ґрунтується на принципі «Замовляй і їдь». Кожен перевізник, який зареєструвався в системі, може цілодобово зайти в систему та замовити нитку графіку з будь-якого місця, де є інтернет. У такій системі можливі кілька варіантів розкладів руху: річний розклад руху поїздів; каталоги маршрутів – звід готових розкладів (маршрутів) для певних ділянок, з якого, володіючи певними параметрами маси та тяги, можна швидко скласти маршрут на замовлення, такий каталог має перевагу – короткий час очікування відповіді, недолік – жорсткі параметри (маса, довжина, потужність локомотива); індивідуальний розклад – побудований на замовлення.

Автоматизовані обчислювальні центри обробки заявок знаходяться в регіональних філіях, а робочі місця диспетчерів, що впроваджують графіки у дію, – в Центрі управління рухом, що, своєю чергою, складається з відділів Головного диспетчерського управління та Управління залізничним рухом.

В основі SKRJ лежить цифрова інформація про всю інфраструктуру залізничної мережі компанії, так званий реєстр інфраструктури. Маючи

всю інформацію про стан залізничної мережі, графісти за досить короткий проміжок часу можуть підготувати індивідуальний розклад руху. Середній час для підготовки індивідуального розкладу – дві години.

Цілями такої організації перевезень є максимальне використання пропускної спроможності та ефективне використання залізничної інфраструктури, а також задоволення всіх потреб клієнта [13–14].

На «УЗ» розробка програми подібного типу можлива на базі системи АСК ВП УЗ-Є. Необхідно створити додаток, що дасть змогу клієнтам, не виходячи з дому, отримати консультацію щодо типу рухомого складу відповідно до його вантажу, необхідності та правильності маркування, способів завантаження/розвантаження та зберігання вантажу та інших транспортно-логістичних послуг. Впровадження зазначених технологій дасть змогу покращити якість послуг, що надаються клієнту. Питання клієнтоорієнтованості в умовах конкуренції є актуальними для перевізників. У зв'язку з цим представники логістичного об'єднання України спробували оцінити якість послуг із перевезення вантажів залізничним транспортом. Був запропонований базовий перелік запитань про цінову політику, зручність користування й інші параметри, які визначають загальний зріз настроїв на ринку вантажних перевезень залізничним транспортом. Визначені фахівцями показники та їх рейтинг у клієнтів виглядають таким чином.

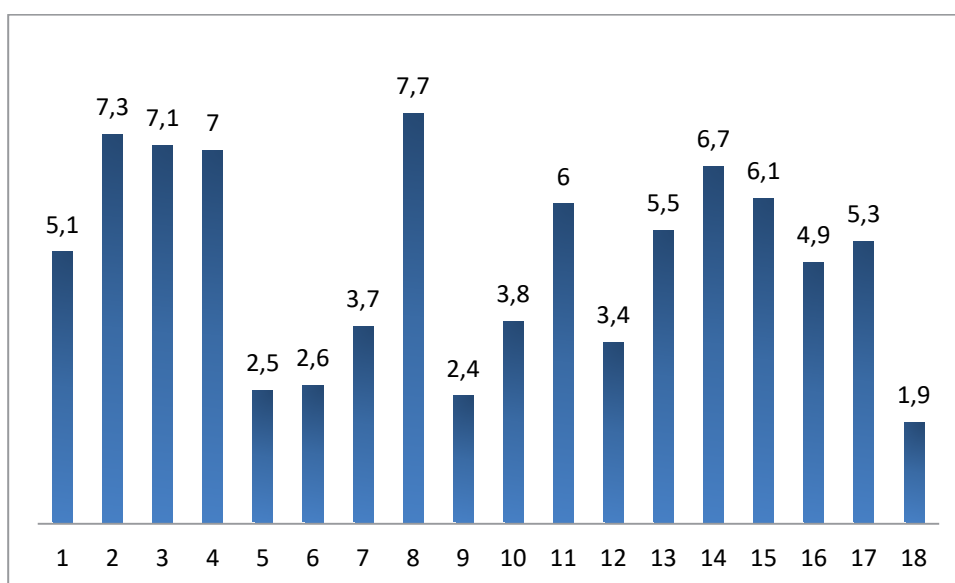


Рис. 1. Оцінка ефективності бізнес моделі залізниці (Індекс клієнтоорієнтованості)

Критерії:

1. оперативність узгодження заявки та простота процедури для організації маршрутної відправки зерна;
2. оперативність узгодження заявки через АС «Месплан»;
3. простота і зручність при укладанні необхідних договорів для початку роботи з Укрзалізницею;
4. простота й зручність подачі заявки на перевезення вантажів;
5. достатність наявних вагонів потрібного типу в необхідній кількості;
6. дотримання подачі вагонів за узгодженим графіком;
7. стан технічної та комерційної придатності вантажних вагонів перевізника (УЗ);
8. стан технічної та комерційної придатності вантажних вагонів інших власників;
9. дотримання термінів доставки власних порожніх вагонів під навантаження і навантажених вагонів порівняно з нормативами УЗ;
10. випадки розукомплектування деталей і вузлів вагонів при доставці вантажу;
11. забезпечення збереження вантажу при перевезенні;
12. забезпечення маневровими тяговими засобами на станціях завантаження/розвантаження;
13. рівень розвитку транспортної інфраструктури на використовуваних ділянках залізниці;
14. зручність, простота і доступність технології організації перевезення, обміну документами з УЗ;
15. відкритість у наданні даних з інформаційних систем УЗ;
16. вартість послуг УЗ із перевезення вантажів;
17. вартість послуг компаній-операторів – власників рухомого складу;

18. рівень відповідальності УЗ за невиконання своїх зобов'язань під час організації і виконання перевезення;

19. чи доводилося вам використовувати ненормативні механізми (особисті зв'язки тощо) під час організації відвантаження залізничним транспортом?

Створення в Україні системи, що враховує бізнес-інтереси клієнта, відкриє нові можливості залізничного транспорту, підвищить конкурентоспроможність залізниць, приверне значну кількість нових клієнтів, підвищить рівень ефективності використання та обороту вагонів, шляхом скорочення непродуктивних простоїв надасть додатковий ресурс для збільшення обсягів вантажоперевезень в Україні.

**Висновки.** В умовах ринку замало забезпечити перевезення від станції відправлення до станції призначення. Необхідно ще думати про якісне надання клієнту повного спектра послуг, у тому числі додаткових: організація навантаження, вивантаження, доставка вантажів «вчасно», консультація клієнтів, оформлення документів, митне оформлення.

Вимоги, що пред'являються до перевізного процесу (термін доставки, вартість перевезень, обслуговування, програми знижок, технічна та виробнича потужність), умови ринкового середовища, в яких працює залізничний транспорт, підвищують роль логістичних послуг та інформаційних технологій для успішної комерційної діяльності залізниць.

Забезпечення достовірності, своєчасності та повноти інформаційного потоку є основними задачами інформатизації, яка нині відбувається. На підставі розглянутого можна розробити комплекс програм, який передбачає автоматизований режим роботи у взаємодії з клієнтом у межах єдиного інформаційного середовища.

**Список літератури:**

1. Strelko O., Kyrychenko H., Berdnychenko Y., Hurinchuk S. Automation of Work Processes at Ukrainian Sorting Stations. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7(2.23). P. 516–518. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.23.15346 .
2. Kyrychenko H., Statyvka Y., Strelko O., Berdnychenko Y., Nesterenko H. Assessment of cargo delivery quality using fuzzy set apparatus. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7(4.3). P. 262–265. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19800 .
3. Bux M., Leser U. Parallelization in Scientific Workflow Management Systems. *Distributed, Parallel, and Cluster Computing*. 2013. № 1. P. 24.
4. Chandrappa S., Dharmanna L., Shubhada V.P., Meghana N.U. Automatic Control of Railway Gates and Destination Notification System using Internet of Things (IoT). *International Journal of Education and Management Engineering*. 2017. № 7(5). P. 45–55.
5. Ададунов С.Е. Комплексная система автоматизации сортировочных процес сов. *Железнодорожный транспорт*. 2008. № 6. С. 37–38.

6. Бульба С.С., Лукова-Чуйко Н.В., Лелет І.В. Система виконання сервісів Укрзалізниці як композитних додатків у розподіленій мережі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 2. С. 38–42.
7. Гапанович В.А., Шабельников А.Н. Разработка автоматизированных сортировочных систем. *Железнодорожный транспорт*. 2010. № 7. С. 23–25.
8. Нагорний Є.В., Огороков А.М., Переста Г.І. Дослідження розвитку системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. № 4. С. 58.
9. Стрелко О., Бердніченко Ю., Петриковець О., Блистіва Т. Аналіз впровадження автоматизованих систем управління на залізничному транспорті. *Транспортні системи і технології*. 2019. Том 2. Вип. 33. С. 84–91. DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-2-8 .
10. Альошинський Є. С., Челмакіна О. С. Дослідження функціонального циклу обслуговування вантажовласників залізничним транспортом. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 131. С. 12–13.
11. Ломотько Д.В., Волосюк П.Ф., Емець І.Л. Підвищення ефективності роботи залізнично–перевантажувального вузла в умовах застосування інноваційних логістичних технологій. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2015. Вип. 152. С. 40–42.
12. Лаврухін О.В., Блиндюк В.С., Богомазова Г.Є., Киман А.М., Тофан М.О. Удосконалення технології оперативного планування вантажної роботи при взаємодії власників рухомого складу із залізницею. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип. 156. С. 16.
13. Офіційний сайт Польська Державна залізниця. URL: <http://www.pkp.pl/>
14. RAILWAY HUB. URL: <http://www.railwayhub.in.ua/2018/09/blog-post.html>

#### **Strelko O.H., Kyrychenko H.I., Berdnychenko Yu.A., Lyman A.S. IMPROVEMENT OF CUSTOMER SERVICE SYSTEM ON UKRAINIAN RAILWAYS BASED ON THE EXPERIENCE OF OTHER STATES**

*The need to create a quality service system for cargo owners is due to the reformation of Ukraine's rail transport. The goal of the reforming is to ensure sustainable functioning of railway transport in the transport services market, increase of commercial efficiency and quality of transport services. This is achieved by the most complete satisfaction of customers' requirements for the quality of transportations and related services. The claims raised by the customers when choosing a carrier are diverse and require an integrated approach to service organization. The article examines both theoretical and methodological foundations of improving the ways of interaction between the railway and the client in the current market conditions by introducing the customer-orientation index. The experience of other countries as for maximum utility of carrying capacity and efficient use of railway infrastructure, as well as the satisfaction of all customers needs have been analyzed. New criteria, defining an overall profile of sentiment in the freight market of Ukraine by railway transport, which made it possible to determine their strengths and weaknesses, and offer optimal organizational management structure, have been proposed. Theoretical and methodological approaches to assessing the economic efficiency of creating and operating a set of programs, which provides for an automated mode of operation in cooperation with the client within a single information environment, have been developed. The direction on prospective studies in the organization of work of the relevant railway transport departments has been indicated. Creating a system in Ukraine that takes into account the client's business interests will open up new possibilities for railway transport, increase the competitiveness of railways, attract a significant number of new customers, and increase the level of efficiency in the use and turnover of railcars by reducing unproductive car detentions and provide additional resources for increasing freight traffic in Ukraine.*

**Key words:** *improvements, service, client, automated system, logistic services, information technologies.*

**Шевчук В.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Кутковецька Т.О.**

Уманський національний університет садівництва

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОВГОВІЧНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ МОБІЛЬНИХ МАШИН

*Робота присвячена аналізу досліджень надійності та довговічності гідросистем сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин. Наведено фактори, що впливають на роботу гідросистем мобільних машин і призводять до їх поломки. Визначено, що працездатність гідросистем сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин значною мірою залежить від функціонування гідравлічних насосів. Однією із найважливіших узагальнюючих властивостей цих машин є їхня надійність та довговічність. Ефективна робота гідросистем істотно визначається широким набором різноманітних властивостей, явищ і процесів у трибологічних елементах. Стосовно мобільних машин, надійність може характеризуватися як властивість зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність машини виконувати необхідні функції при заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання й транспортування. Підвищення надійності гідроприводу відбувається шляхом поліпшення контролю чистоти вузлів, агрегатів і систем машин різного призначення, що використовуються під час експлуатації мобільних машин і мають високу ефективність. Зношування гідроагрегатів машин зумовлене наявністю в робочій рідині механічних домішок і спричинене в основному твердими абразивними частинками. Найменший наросток на відмову мають гідроагрегати, які містять плунжерні пари, – гідронасоси, гідромотори, розподільники. Завдяки проведеним дослідженням розроблені методи очищення, диспергування механічних домішок, використання яких забезпечує значне підвищення працездатності гідроприводу. Після проведеного аналізу встановлено, що для надійної роботи гідроприводу доцільним є очищення рідини, яка використовується в системі, що забезпечить довговічність гідросистем мобільних машин.*

**Ключові слова:** гідросистеми, мобільні машини, гідравлічні насоси, гідропривід, зношування деталей.

**Постановка проблеми.** Ефективність та якість виконання технологічного процесу мобільними машинами залежить від досконалості їх робочих органів і систем керування. Конструктивно закладений рівень надійності та довговічності систем реалізується у разі відповідності розрахункових параметрів експлуатаційним навантаженням. Елементи сільськогосподарських, будівельних та дорожніх машин сприймають експлуатаційні навантаження змінного характеру, величина та інтенсивність зміни яких залежать від великого числа як контрольованих, так і випадкових факторів.

Працездатність гідросистем сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин значною мірою залежить від функціонування гідравлічних насосів. Надійність, довговічність та ефективна робота цих агрегатів істотно визначається широким набором різноманітних властивостей, явищ і процесів у трибологічних елементах, детальне

вивчення яких стало можливим у наш час з інтенсивним розвитком комп'ютерних та електронних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розв'язанню проблеми підвищення надійності гідроприводу присвячені роботи таких науковців: Т.М. Башти [1, с. 103], І.А. Вакуленка [2, с. 11], І.В. Крагельського [6, с. 46], А.С. Матвєєва [7, с. 20], В.К. Руднева [9, с. 17], В.А. Дідура [4, с. 36] та ін. Проте є ще багато невирішених проблем щодо роботи гідравлічних насосів мобільних машин, які потребують подальших досліджень. Тому ця стаття є актуальною.

**Постановка завдання.** На основі наукових напрацювань необхідно провести аналіз досліджень щодо довговічності гідросистем мобільних машин та визначити вплив негативних факторів на роботу цих систем.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Кількісну характеристику однієї або кількох влас-



тивостей стосовно до певних умов створення та експлуатації машин прийнято називати показниками якості машини. Однією з найважливіших узагальнюючих властивостей машин є їхня надійність. Стосовно мобільних машин, надійність може характеризуватися як властивість зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність машини виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання й транспортування. Завдяки дослідженням різних науковців з'ясовано, що рівень надійності гідросистем визначається високою концентрацією механічних домішок у робочій рідині. Розроблені наукові й практичні рекомендації із забезпечення промислової чистоти гідроприводу, використання яких забезпечує істотний ефект. Дослідники, ґрунтуючись на положеннях теорії тертя і зношування, також застосовували спроби побудувати аналітичні методи визначення зношування гідроагрегатів. Однак зроблені при цьому припущення роблять ці методи малоефективними.

У наш час розвивається напрям підвищення надійності гідроприводу шляхом поліпшення контролю чистоти вузлів, агрегатів і систем машин різного призначення, що використовуються під час експлуатації мобільних машин і мають високу ефективність.

Дослідження фірми Cincinati (США) показують, що достатньо збільшити довговічність гідроагрегатів на 5,5%, щоб відшкодувати витрати на обладнання гідросистеми фільтрами більш тонкого очищення, що дасть змогу продовжити ресурс деталей на 46%, при цьому витрати окупаються за короткий термін.

Японські фахівці вважають [10, с. 30], що інтенсивність зношування різко зростає у разі збільшення концентрації забруднень до 0,15...0,2 %.

Підвищення робочого тиску викликає негативний вплив забруднень на надійність гідроагрегатів. Зв'язок між підвищенням робочого тиску в системі та допустимим забрудненням робочої рідини може бути представлений у вигляді [8, с. 120]:

$$P_1/P_2 = e^{0,0037 \ln N_2/N_1}, \quad (1)$$

де  $P_1$  і  $P_2$  – робочий тиск у системі до і після забруднення;  $N_1$  і  $N_2$  – кількість частинок забруднень цього розміру в системі до і після забруднення.

Фахівці імперського коледжу і науково-дослідного інституту (ВМС) США вважають, що значне збільшення терміну служби гідроагрегатів досягається в класах чистоти не нижче ніж 14/11.

Термін служби подвоюється, якщо рівень забруднень знижується з 21/13 до 17/14 за класифікацією ISO 44061.

Вплив забруднення робочої рідини на надійність гідроприводу будівельних і дорожніх машин вивчався в ХАДІ [9, с. 17–18]. Огляд гідрофікованих екскаваторів, бульдозерів і автокранів, які перебували в умовах реальної експлуатації, показав, що чистота робочих рідин на екскаваторах і бульдозерах перебуває на рівні 16–17 класів, автокранів – на рівні 15–16 класів. Під час заправлення машин робочою рідиною із чистотою IS класу граничний наробіток до встановлених значень чистоти робочої рідини становив, відповідно, 240 і 480 годин. Виявлено, що для екскаваторів небезпечними є частки розміром 5...25 мкм, для бульдозерів і автокранів – 10...40 мкм.

Вивчення розподілу частинок за розмірами дало змогу встановити, що відсоток небезпечних частинок у загальній їх кількості сягає для екскаваторів 95 %, а для автокранів і бульдозерів – 30...33 %.

У разі підвищення температури робочої рідини понад 80 °С і забруднення її на рівні 75-го класу має місце заклинювання плунжера гідророзподільника, що приводить до нестійкого режиму роботи гідросистеми, і насос працює з підвищеною шумовою характеристикою. Стендові випробування гідронасосів 210.25 і 223.25 показали, що очищення робочої рідини від механічних домішок дає змогу підвищити наробіток насосів для екскаваторів у середньому в 2,8 раза, а для автокранів – в 1,7 раза. Очищення одночасно від механічних домішок і води збільшує термін служби насосів екскаваторів в 3,9 раза, автокранів – в 1,9 раза [7, с. 26].

У роботах певних учених [2, с. 18; 4, с. 11] показано, що інтенсивне зношування створюють частинки, розмір яких спільномірний із зазором у парах тертя. Якщо розмір частинок менше зазору, то частка забруднень у потоці рідини вільно проходить через нього, не викликаючи ушкоджень. Частинки забруднень, розмір яких значно більший величини зазору, в нього не проникають, а можуть викликати часткову закупорку зазору ззовні. Великі частинки можуть дробитися на дрібні. Частинки забруднень, розмір яких близький до розміру зазору, є найнебезпечнішими, особливо в разі їх твердості, яка перевершує твердість матеріалу деталей. Проникнення в зазор більших частинок можливе лише після його збільшення в результаті абразивного впливу дрібних частинок або внаслідок перекошу деталей під навантаженням. Потрапивши в зазор, частинка забруднення

переміщається щодо робочих поверхонь із ковзанням, результатом чого є подряпини на поверхнях контактуючих деталей. Вплив частинок на поверхні є, як правило, багаторазовим.

Існують три способи очищення робочої рідини – це фізичний, фізико-хімічний та хімічний. Фізичні методи дають змогу видаляти з масел тверді частинки забруднень, мікрокраплини води і частково смолисті й коксувальні речовини, а за допомогою випарювання домішки легко википають. Масла обробляються в силовому полі з використанням гравітаційних, відцентрових і рідше електричних, магнітних і вібраційних сил, а також застосовуються фільтрування, водне промивання, випарювання та вакуумна дистиляція. До фізичних методів очищення відпрацьованих масел належать також різні масло- і теплообмінні процеси, які застосовуються для видалення з масла продуктів окиснення вуглеводнів, води і фракцій, які легко википають [2, с. 19; 4, с. 16].

Фізико-хімічні методи знайшли широке застосування у процесі очищення масел, до них належать коагуляція, адсорбція та селективне розчинення забруднень, які втримуються в маслі, різновидом адсорбційного очищення є іонно-обмінне очищення [3, с. 16].

Хімічні методи очищення засновані на взаємодії речовин, які забруднюють відпрацьовані масла, та реагентів, які вводяться в ці масла. При цьому в результаті хімічних реакцій утворюються з'єднання, які легко видаляються з масла. До хімічних методів очищення належать: кислотне і лужне очищення; окиснення киснем; гідрогенізація, а також осушка і очищення від забруднень за допомогою окислів, карбідів й гідридів металів [3, с. 17].

Складні умови роботи сільськогосподарської, будівельної та дорожньої техніки (висока запиленість, коливання температури, вологість) приводять до підвищеного зношування гідроагрегатів і, як наслідок, до високого відсотка відмов у роботі. Зношування гідроагрегатів машин зумовлене наявністю в робочій рідині механічних домішок і спричинене в основному твердими абразивними частинками. Найменший наробіток на відмову мають гідроагрегати, які містять плунжерні пари, – гідронасоси, гідромотори, розподільники. Завдяки проведеним дослідженням розроблені методи очищення, диспергування механічних домішок, використання яких забезпечує значне підвищення працездатності гідроприводу.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що на довговічність гідроприводу сільсько-

господарських, будівельних і дорожніх машин істотний вплив також мають конструктивні параметри, що закладаються на етапі проектування, та властивості робочої рідини, які підтримуються на етапі експлуатації.

З огляду на характеристику мобільних машин як складних динамічних систем, їх придатність і безпека для практичного використання, насамперед, залежать від того, чи задовольняють вони умовам стійкості і яка чутливість як системи загалом, так і її окремих елементів.

Щодо гідроприводів мобільних машин чутливість показників безпеки системи до зміни експлуатаційних факторів представляється виявленням характеру інтенсивності зношування елементів тертя, зокрема плунжерних пар аксіально-поршневих насосів залежно від стану робочої рідини. Встановлення параметрів, їхня якісна та кількісна характеристики не отримали точного трактування в наявних наукових розробках.

У вузлах тертя поширений режим змішаного (граничного) мащення: одні ділянки поверхні контактуючих тіл розділені гідродинамічним шаром, а інші – граничним. Для цього виду мащення велике значення має об'ємна характеристика мастильного матеріалу, а саме його в'язкість та здатність створювати на поверхнях тертя міцні граничні шари. Чим вищою є частка гідродинамічного режиму мащення, тим нижчий коефіцієнт тертя при змішаному мащенні [5, с. 147].

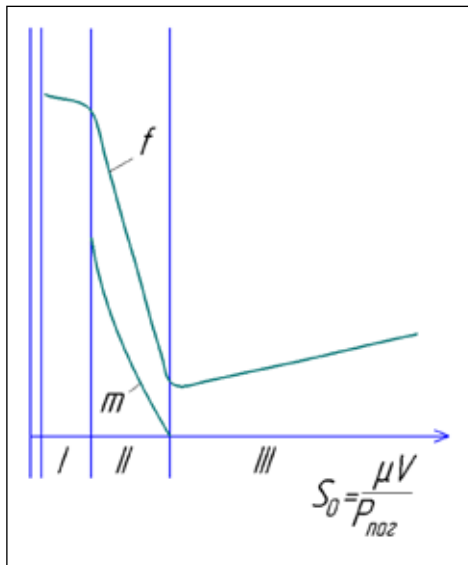
Область застосування гідродинамічного, змішаного і граничного мащення у вузлах тертя ковзання визначають за діаграмою Герси – Штрибека (рис. 1), який являє собою залежність коефіцієнта тертя у вузлі тертя, що змащується від безрозмірного критерію, який називається числом Герси, або критерієм Зоммерфельда [5, с. 240]:

$$S_o = \mu \cdot V / P_{\text{пог}} \quad (2)$$

де  $\infty$  – динамічна в'язкість;  $V$  – швидкість порівняного переміщення пар тертя;  $P_{\text{пог}}$  – погонне навантаження на вузол тертя (навантаження, належне до довжини спряження в напрямі, перпендикулярному напрямку порівняного переміщення).

У лівій частині діаграми локалізована зона реалізації граничного режиму мащення як найбільш твердого. Він реалізується за умови високих питомих навантажень у парах тертя, низьких швидкостей порівняного переміщення трибологічних пар, підвищених температур (які спричиняють зниження динамічної в'язкості) і характеризується не тільки підвищеним коефіцієнтом тертя, але й постійним зношуванням деталей пари тертя.

Серед трибологічних пар аксіально-поршневого насоса найбільшому зношуванню піддається пара тертя «плунжер-втулка», яка працює при змішаному режимі мащення.

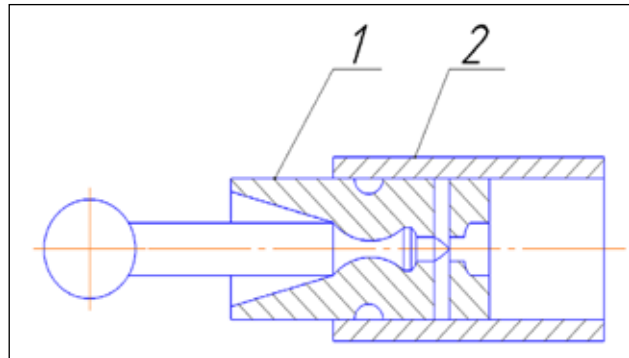


**Рис. 1. Діаграма Герсі – Штрибека: залежність коефіцієнта тертя  $f$  і зношування  $m$  від безрозмірного параметра (числа Герсі): I-III – зони мащення: I – гранична; II – змішана; III – гідродинамічна**

Загальний вигляд однієї з конструктивних різновидностей пари тертя «плунжер-втулка блоку» качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини представлено на рис. 2.

Ця конструкція плунжерної пари знайшла широке застосування в аксіально-поршневих гідромашинах із похилим корпусом для забезпечення збільшення робочого ходу плунжера, а звідси і робочого об'єму гідромашини.

Точка переходу між змішаним і гідродинамічним мащенням характеризується найменшим



**Рис. 2. Пара тертя «плунжер втулка блоку» аксіально-поршневого насоса: 1 – плунжер, 2 – втулка**

значенням коефіцієнта тертя та зменшенням зношування до нуля. Оскільки в парі тертя «плунжер-втулка» аксіально-поршневого насоса неможливо досягти винятково гідродинамічного режиму мащення, то з метою забезпечення найменшого зношування в трибологічній парі актуальним завданням є зменшення в ній коефіцієнта тертя.

**Висновки.** Таким чином, проведений аналіз літературних джерел і досліджень різних науковців показує, що на довговічність гідроприводу сільськогосподарських, будівельних і дорожніх машин істотний вплив мають як конструктивні параметри, що закладаються на етапі проектування, так і властивості робочої рідини, які підтримуються на етапі експлуатації. Тому, враховуючи вище наведені фактори впливу на роботу гідроприводів мобільних машин, можна зробити такі висновки: щоб уникнути несправностей у цій системі, необхідно забезпечити високу очистку робочої рідини, яка використовується в гідроприводі, що, своєю чергою, забезпечить надійну та ефективну роботу сільськогосподарських, будівельних та дорожніх машин.

#### Список літератури:

1. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидравлические машины и гидроприводы. Москва : Машиностроение, 1962. 423 с.
2. Вакуленко И.А. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин применением рациональной очистки рабочих жидкостей : автореф. дис. ... канд. Харьков, 1989. С. 19.
3. Волков В.И. Совершенствование системы очистки масла в автомобильном двигателе : автореф. дис. ... канд. Москва, 2000. 18 с.
4. Дидур В.А. Влияние технологической среды на износ гидроагрегатов. *Техника в сельском хозяйстве*. 1984. № 3. С. 41.
5. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев : Техника, 1970. 396 с.
6. Крагельский И.В., Алисин В.В. Трение, изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн. Москва : Машиностроение, 1978. Кн. 1. 400 с.
7. Матвеев А.С. Влияние загрязнённости масел на работу гидроагрегатов. Москва : Россельхозиздат, 1976. 48 с.

8. Прокофьев В.Н. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод. Москва : Машиностроение, 1968. 495 с.

9. Руднев В.К. Ресурсосберегающие технологии при эксплуатации гидроприводов строительных и дорожных машин. *Механизация и строительство*. 1996. № 4. С. 17–18.

10. Сато Я., Сасаки М. Влияние загрязнений рабочих жидкостей на характеристики гидравлических механизмов. *Юнкид Гидзону*. 1976. № 1. С. 27–34.

#### **Shevchuk V.V., Kutkovetska T.O. ANALYSIS OF THE MOBILE MACHINES HYDRAULIC SYSTEMS DURABILITY**

*The study is devoted to the analysis of reliability and durability of hydraulic systems of the agricultural, construction and road machines. The factors influencing the work of hydraulic systems of mobile machines and their breakdown are given. It is determined that the working capacity of the hydraulic systems of agricultural, construction and road machines depends to a large extent on the hydraulic pumps operation. One of the most important generalizing properties of such machines is their reliability and durability. The effective work of hydraulic systems is largely determined by a wide variety of different properties, phenomena and processes in tribological elements. The mobile machines reliability may be characterized as the ability to keep the values of all parameters that characterize the machine's ability to perform the required functions under given modes and conditions of application, maintenance, storage and transportation within the established limits and specified period of time. The increase in the hydraulic drive reliability is due to the improved control of the cleanliness of nodes, aggregates and systems of various machines, used by the mobile machinery operation and have high efficiency. The wear of the hydraulic components of machines is conditioned by the mechanical impurities in the working fluid and is caused mainly by the solid abrasive particles. The smallest failure interval have the hydraulic units, which contain plunger pairs, namely the hydraulic pumps, hydraulic motors, distributors. On the basis of the conducted research, such methods as the purification method, the method of mechanical impurity dispersion, the use of which provides a significant increase in the working capacity of the hydraulic drive, were developed. As a result of the analysis, it was found that for the reliable operation of the hydraulic drive the purification of liquid, used in the system is expedient, which will ensure the durability of hydraulic systems of mobile machines.*

**Key words:** hydraulic systems, mobile machines, hydraulic pumps, hydraulic drive, component wear.

# ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 004.056.55:791.44.075

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-2/25>

## **Очеретько О.Я.**

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

## **Розорінов Г.М.**

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

## ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТА ЗАХИСТУ ЦИФРОВИХ КІНОФІЛЬМІВ

*Досліджено передумови та тенденцію розвитку цифрового кіно. Виявлено тенденції розвитку захисту цифрового кіно. Проаналізовано шлях проходження сигналу від сервера до проектора. Розглянуто основні принципи цифрового кіно. Детально розглянута система керування екраном, освітленням у кінотеатрі, звуковідтворювальною апаратурою кінотеатру. Виявлено та синтезовано необхідні передумови створення стандартів цифрового кіно. Розглядається робота консорціуму світових кіностудій, робочої групи з розробки інтернет-технологій і товариства інженерів кінематографії та телебачення та прийняті ними стандарти пов'язані з цифровим кіно. Розглядаються технології зберігання і поширення цифрових копій фільмів із використанням цифрових кінопакетів. Розкриваються структура цифрового кінопакету, особливості наповнення і можливості взаємодії між ними. Пояснюються поняття композиції, файлів доріжок і цифрових бобін. Розглядається структура композиції та функції кожної складової частини. Описується список композицій та її складники. Досліджено, які дії виконуються для захисту цифрових кінофільмів. Особлива увага приділяється проблемі запобігання несанкціонованому доступу та копіюванню фільмів. Пояснюються метод кодування Ключ-Довжина-Значення, який використовується в файлах, які містять сутність та метадані. Розглядається тип повідомлення «ключове повідомлення доставки» який використовується для передачі зашифрованих ключів. Аналізуються способи симетричного і асиметричного шифрування, їх застосування для забезпечення захисту кіноконенту. Описується призначення повідомлення про отримання ключа та медіаблоку як елементів системи безпеки. Розглядається модель довіри та ключові аспекти її функціонування. Описано список довірених пристроїв, який входить до складу ключового повідомлення доставки. Розглядається коло довіри цифрового кіно як виявлення на якому етапі було порушено питання захисту.*

**Ключові слова:** захист, ключ, медіаблок, несанкціонований доступ, цифровий кінофільм, шифрування.

**Постановка проблеми.** Кінематограф із моменту свого зародження використовував плівку для зберігання і демонстрації зображення. З плином часу її склад і структура змінювалася, на неї стали також записувати звук. Більше століття саме бобіни з кілометрами кіноплівки були носіями кінофільмів.

Але на початку ХХІ ст. технологічний прогрес дав змогу створити кінопроектор, здатний демонструвати зображення без використання плівки. Так настала епоха цифрового кіно. І хоч досі зйомка може здійснюватися як на плівку, так і цифрові камери, цифрові кінопроектори повністю витіснили своїх попередників. Це ста-

лося з багатьох об'єктивних причин: цифрові фільмокопії не схильні до зносу, для їх демонстрації не потрібно кілька проекційних постів, набагато легше і дешевше виробляти цифрові копії фільмів і доставляти їх у кінотеатри по всьому світі.

Повністю змінилося обладнання кінотеатрів. Тепер десятки фільмів зберігаються на порівняно невеликих серверах замість величезних складів із бобінами, зображення на екрані формується мікродзеркальними або рідкокристалічними матрицями, а нові фільми поширюють на жорстких дисках або за допомогою захищеного супутникового каналу, або по мережі Інтернет.

Нові технології скасовували необхідність у старих стандартах плівкового кінематографу. Тому 20 липня 2005 р. консорціум провідних світових кіностудій Digital Cinema Initiatives (DCI) розробив нові стандарти, які встановлюють вимоги до всього кінообладнання, якості та формату зображення та звуку, способів їх збереження, поширення та захисту. Така стандартизація дає змогу студіям, виробникам обладнання, дистриб'юторам та кінотеатрам бути впевненими в повній сумісності всіх систем кінопоказу. Однією з задач DCI було обрати метод збереження фільмокопії. Таким методом стали цифрові кінопакекти Digital Cinema Package (DCP). Цей пакет має відповідати суворим стандартам DCI для безболісного показу в усіх цифрових кінотеатрах.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** DCP пакет являє собою складну впорядковану структуру, яка завдяки своїй гнучкості дає змогу зберігати в собі різні види інформації. Це «пакувальний ящик» для файлів, який може містити або не містити повний фільм. З іншого боку, цифровий кінофільм складається зі структурованого набору файлів, які називаються композицією. Композиція являє собою кінцевий продукт, який може складатися не тільки з кінофільму, але також трейлерів і рекламних оголошень.

Архітектуру композиції запропонували наприкінці 2001 р. Вона була відмінною від будь-якого формату засобів масової інформації, що використовувалася при поширенні в той час. Характерною рисою кінобізнесу є поширення кінофільмів у багатьох індивідуальних версіях, таких як версії з певним звуковим форматом, титрами, конкретним форматом зображення, однією або кількома мовами. Це зумовлено обмеженнями обладнання та необхідністю демонстрації фільмів у різних країнах. Архітектура композиції була розроблена для ефективного вирішення проблеми необхідності доставляти кілька версій фільму в кінотеатри, надаючи механізм для обміну файлами між ними.

DCP може містити одну або кілька композицій, або тільки часткову композицію. Якщо він складається з однієї або кількох композицій DCP називається композиційним пакетом (Composition Package). Якщо він складається з елементів композиції DCP, то він називається пакетом ресурсів (Asset Package). Крім того, в пакеті завжди присутній список (Packing List), в якому описані всі елементи, що містяться в цьому DCP [1].

Композиція складається з кількох файлів, а саме списку відтворення і файлів доріжок (Track Files). Для гнучкості і розширюваності кожен такий файл містить тільки один тип сутності (Essence), такий як зображення, звук або субтитри. Спосіб та послідовність відтворення файлів вказано у списку відтворення, який називається композиційним списком відтворення або CPL.

SMPTE визначає поняття «контент» як метадані та сутність. Сутність у цифровому кіно – це термін, який застосовується до однієї форми вираження, такої як зображення, звук або субтитри. Типи сутності є унікальними за своєю природою, тобто може бути тільки файл зображення з частотою 24 кадрів на секунду, тільки файл зображення з 48 кадрами на секунду, тільки файл із 3D-зображенням, тільки звукова доріжка у форматі 5.1, тільки звукова доріжка у форматі 7.1 і т.д. Використовуючи ці визначення, файл доріжки несе в собі один тип сутності плюс необхідні метадані, щоб полегшити його використання [2].

Незалежність сутнісних типів у композиції забезпечує високу ступінь розширюваності, даючи змогу в майбутньому вводити нові типи сутностей без порушення структури композиції. Наприклад, коли поняття «композиція» та «цифровий кіно пакет» були вперше введені у цифрове кіно, стереоскопічного 3D не було в планах. Але розширюваність композиції дала змогу швидко додати файл доріжки стереоскопічного зображення, коли з'явився цифровий 3D [3].

Файли доріжок запаковані у спеціальній версії формату обміну даними або MXF. MXF надає структурований метод для перенесення різних типів сутностей із метаданими. Хоча MXF здатний нести більш як один тип сутності в одному файлі, необхідно підкреслити, що для цифрового кіно прийнято використовувати тільки один тип сутності для кожного файлу. Обмеження, що застосовуються до MXF для упаковки цифрового кінозображення і звуку, визначені в SMPTE ST429-3 (файли доріжок звукового супроводу і зображення) [4].

Файли доріжок MXF складаються із заголовка, контейнера сутності і нижнього колонтитула. Заголовок містить метадані, що описують файл доріжки. Контейнер сутності несе саму сутність. Нижній колонтитул містить таблицю індексів сутностей [5].

Сутність зображення і звуку запакована з використанням технології KLV (Key-Length-Value) (рис. 1).

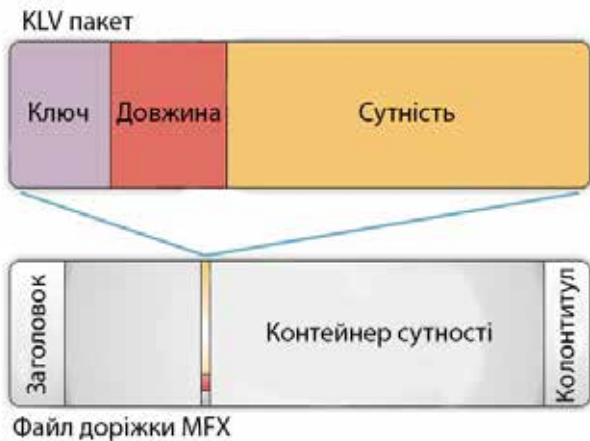


Рис. 1. Структура KLV пакета

Ключ (Key) визначає природу присутньої сутності. Довжина (Length) описує довжину поля з сутністю (Value). Саме поле сутності містить один кадр зображення або звук.

За визначенням, композиція повинна мати як мінімум три файли: композиційний список відтворення (CompositionPlayList), файл доріжки зображення і файл звукової доріжки [6]. Крім того, ці доріжки можна розділити на кілька файлів, що складаються з фрагментів цих доріжок, названих бобін (Reels). Назва «Бобіни» походить із часів плівкового кінопрокату, де фільм поставлявся у вигляді частин (кінострічки на бобінах). Це полегшувало фізичну доставку фільму. Також це давало змогу вносити зміни, замінюючи тільки одну бобіну, замість усього фільму, що могло знадобитися під час виправлення титрів або варіювання рекламних роликів. Аналогічним чином, у цифровому поширенні і виробництві можна домогтися високої ефективності в розбитті цифрового контенту на частини, а саме в організації композицій у вигляді набору «цифрових бобін».

На рис. 2 показана композиція, що складається з композиційного списку відтворення і чотирьох типів файлів доріжок (зображення, звук, субтитри і приховані субтитри), які організовані у вигляді двох цифрових бобін.

На практиці, композиція може містити до 100 файлів або більше. Кількість файлів доріжок може бути обмежена правилами шифрування. Часто існує кілька версій фільму. Для 3D-контенту, різних субтитрів, додаткових мовних звукових доріжок або фрагментів фільму з цензурою можуть знадобитися різні версії фільму. Для кожної має бути створена своя композиція. У композиції може бути лише по одній доріжці зображення, звуку, звичайних і прихованих субтитрів. Але при цьому

дозволено обмінюватися файлами доріжок між композиціями. Наприклад, різні композиції, що представляють собою різні версії фільму, які призначені для поширення в різних країнах, можуть мати різні файли звукової доріжки, але один і той самий файл доріжки зображення (рис. 3).

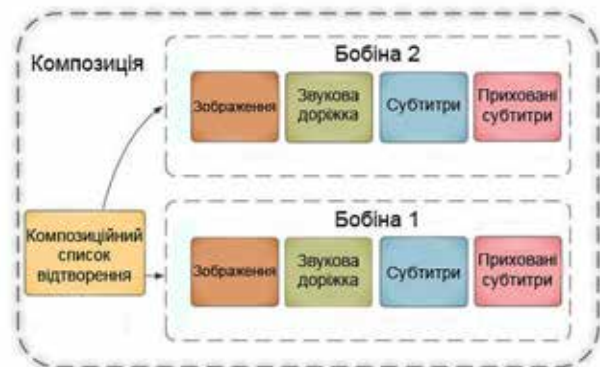


Рис. 2. Структура композиції



Рис. 3. Композиції для фільмів зі спільним зображенням, але з різними звуковими доріжками

Аналогічно, можна мати дві композиції з однаковою звуковою доріжкою і різними доріжками 3D- і 2D-зображення. Таким чином, можна поширювати багато версій фільму без необхідності відправки дублікатів файлів доріжок.

Оскільки один DCP пакет може містити кілька композицій, а самі композиції можуть спільно використовувати одну і ту саму сутність, ми можемо мати кілька різних версій фільму в одному пакеті (рис. 4).

Але бажано, щоб різні версії фільму поширювалися як окремі DCP пакети. У таких випадках батьківська композиція буде містити повну версію фільму і буде створена одна або кілька дочірніх версій композиції, які будуть спільно використовувати певні файли доріжок батьківської композиції. Коли всі композиційні списки відтворення та сутності присутні в загальному сховищі даних,



система відтворення матиме все необхідне для відтворення кожної з версій фільму. Але при цьому у DCP пакеті з дочірньою композицією будуть присутні не всі файли, які необхідні для відтворення. Для правильного управління розподілом батьківських і дочірніх композицій необхідний механізм.



Рис. 4. Дві версії фільму в спільному DCP пакеті

На практиці батьківській композиції присвоюється ярлик «Оригінальної версії» (Original Version), який переноситься у власний DCP пакет (рис. 5).

Кожній дочірній композиції присвоюється ярлик «Файл версії» (Version File), і він також переноситься у власний DCP пакет. Коли батьківський пакет ОВ і пов'язані дочірні пакети ФВ завантажуються до сервера цифрового кіно, всі файли, необхідні для відтворення різних композицій, будуть присутні і готові до відтворення.

Обидва способи розподілу призводять до однакового результату, даючи змогу відтворювати різні композиції, а отже, різні версії фільму.

Ще однією важливою задачею DCI було обрати метод захисту фільмів від несанкціонованого доступу і копіювання. Для цього використовуються два методи шифрування: симетричне і асиметричне.

Згідно з симетричним методом, дані шифруються і розшифровуються одним і тим самим ключем. Уявімо тепер, що фільм у форматі DCP зашифрований саме таким способом, і необхідно показати його в кінотеатрі. Фільм відправляється в кінозал, і навіть якщо його перехоплять пірати, то відкрити ніяк не зможуть, адже він зашифрований. Але відразу виникає проблема передавання ключа. Адже його можуть перехопити так само, як і фільм. Ключ можна передавати при особистій зустрічі. Але тоді для кожного з тисяч кінотеатрів світу доведеться особисто привозити ключ. Це абсолютно не зручно. У цьому і полягає головна проблема симетричного шифрування.

Асиметричний метод передбачає використання пари ключів – публічного і приватного. Основний сенс алгоритму полягає в тому, що отримувач генерує цю пару ключів. Відправник отримає публічний ключ, на його основі шифрує інформацію, після чого розшифрування можливе тільки отримувачем і тільки його приватним ключем, який зберігається в секреті. Обидва ключі пов'язані між собою складною односторонньою математичною функцією, і на основі відкритого ключа ніяк не можна отримати приватний. Для кращого розуміння асиметричного алгоритму можна навести дуже простий приклад, який відобразить всю суть цього методу. Уявімо, що в нас є фільм, який треба передати в кінотеатр. Працівники кінотеатру над-

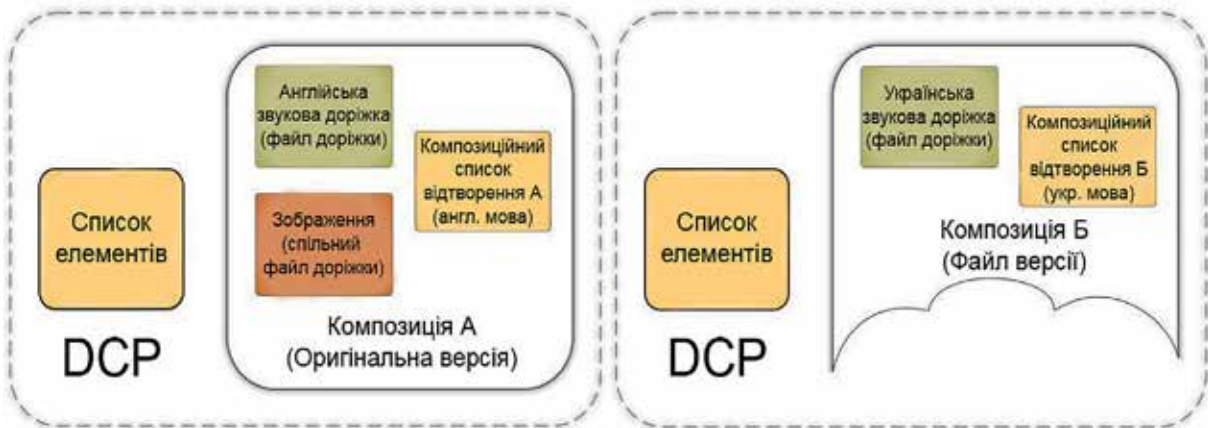


Рис. 5. Дві версії фільму в окремих DCP пакетах



силають нам звичайний замок, ключ від якого є тільки у них. Ми кладемо носій із нашим фільмом у кейс і замикаємо його цим замком. Тепер ніхто, крім співробітників кінотеатру, не зможуть відімкнути кейс, адже ключ є тільки в них. Замок у цьому випадку – публічний ключ, а ключ від нього – приватний [7].

Тож стандарт DCI передбачає захист контенту за допомогою обох способів шифрування. Кожен виробник медіаблоків або серверів для кожної конкретної моделі генерує 2 сертифікати за стандартом X.509, публічний і приватний, і маркує їх серійним номером. Приватний сертифікат вшивається глибоко в надра системи, де дістати його неможливо, а публічний можна отримати, надіславши запит до виробника. Розширення таких сертифікатів .pem або .crt.

Спочатку DCP шифрується звичайним симетричним ключем, а вже сам цей ключ зашифровується асиметричним алгоритмом на основі публічного сертифіката необхідного нам сервера або медіаблоку. Симетричний ключ від нашого DCP, який зашифрований таким асиметричним алгоритмом, називається Key Delivery Message (KDM). Далі цей KDM відсилається в кінотеатр електронною поштою і завантажується до сервера, де він уже на основі приватного сертифіката медіаблоку або сервера розшифровує симетричний ключ від нашого фільму [8].

Під час генерації KDM також вказується часовий період, протягом якого можна розшифровувати DCP пакет. Після закінчення цього часу показ буде неможливий до завантаження нового KDM, із новими датами. Це робиться спеціально для того, щоб творці фільму могли регулювати показ у кінотеатрах. Також існує Distribution KDM – технічно звичайний KDM, тільки згенерований для обладнання по мастерингу DCP. Призначений він для того, щоб дистрибутори могли розшифровувати на своєму обладнанні фільм і вносити будь-які правки.

У процесі шифрування композицій зашифровуються тільки файли доріжок. Вони можуть бути вибірково зашифровані, коли деякі файли доріжок шифруються, а інші – ні. На практиці рішення, що стосуються шифрування, залишаються на вибір власника контенту. Наприклад, власник контенту може зашифрувати тільки зображення і не чіпати звукові або текстові файли. Коли файл доріжки зашифрований, вся сутність у файлі зашифрована, вона не може бути частково зашифрованою. Композиційний список відтворення (CPL) не зашифровується.

Алгоритм шифрування, який використовується в цифровому кіно, – це відомий симетричний алгоритм розширеного шифрування (Advanced Encryption Algorithm, AES). У цифровому кіно використовується 128-бітний ключ. У процесі шифрування сутність у кожному файлі доріжки зашифрована за допомогою унікального ключа. Кожен із файлів доріжок не може використовувати один і той самий ключ. KDM містить зашифровану версію кожного ключа для кожного з файлів доріжок.

Шифрується тільки сутність пакета KLV. Метадані, пов'язані з сутністю, відкриті, щоб їх можна прочитати при пошуку в файлі. Це також дає змогу оператору відтворювати файл доріжки з будь-якого кадру, тобто робити перемотку. Пакет KLV із зашифрованою сутністю запаковується в інший «спеціальний» пакет KLV разом із пов'язаними з ним криптографічними метаданими. «Спеціальний» пакет KLV просто містить зашифрований контент, не знаючи характеру його вмісту. Далі він запаковується в файл доріжки MXF так само, якби шифрування не проводилося зовсім [9] (рис. 6).

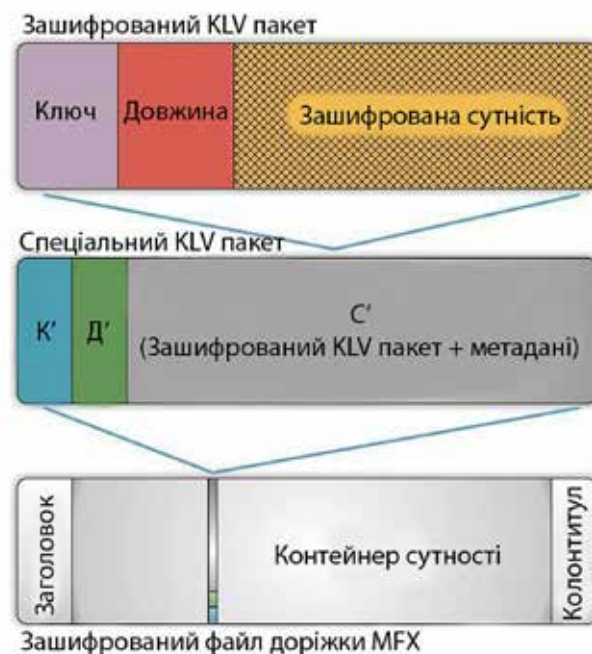


Рис. 6. Структура зашифрованого KLV пакета

Для надійного захисту використовують так звану модель довіри. Метою моделі довіри є мінімізація кількості суб'єктів, яким варто довіряти, щоб зберегти бізнес інтереси. Модель довіри дає змогу високо цінувати вміст, що поширюється по всьому світу без обтяжень у виконанні та показах.

На ранніх етапах виробництва кінематографа керують власники прав, де є довіра. Однак

розподіл кінофільмів, як правило, здійснюється поза межами права власника прав. Тому для забезпечення надійного середовища в дистрибуції потрібний особливий розгляд. Типова модель робочого процесу високого рівня для кінофільмів наведена нижче. Цікавим є питання поділу сфер впливу дистрибуції та показу.



Рис. 7. Область, у якій працює модель довіри

Довіра забезпечується шляхом шифрування вмісту цифрового кінематографа та керування ключами безпеки, які дають змогу відтворювати вміст. З практичних причин корисно шифрувати один раз та поширювати для багатьох користувачів. Але також бажано обмежити, де відтворюється зашифрований вміст, даючи змогу відтворювати в кожному окремому місці або на екрані за принципом «бізнес-вимоги власника прав».

Модель довіри до цифрового кіно дає змогу закрити цей відкритий цикл довіри через журнал безпеки цифрового кіно. Журнал створює модель

робочого процесу «Коло довіри», як показано нижче.



Рис. 8. Структурна схема кола довіри цифрового кіно

Захист фільмів у кінотеатрі забезпечує медіаблок. Він містить всі необхідні елементи обробки в межах захищеної зони для формування зображення і звуку, а також елементів інтерфейсу за межами захищеної зони. Структура медіаблоку показана на рис. 9.

Медіаблок складається з таких елементів [10]:

- система керування показом (SMS). Система керування показом забезпечує керування медіаблоком, як за допомогою призначеного для користувача інтерфейсу, так і машинного управління;
- безпечна зона обробки (SPB). Для обробки зображення і звуку SPB має відповідати Федеральним Стандартами Обробки Інформації США

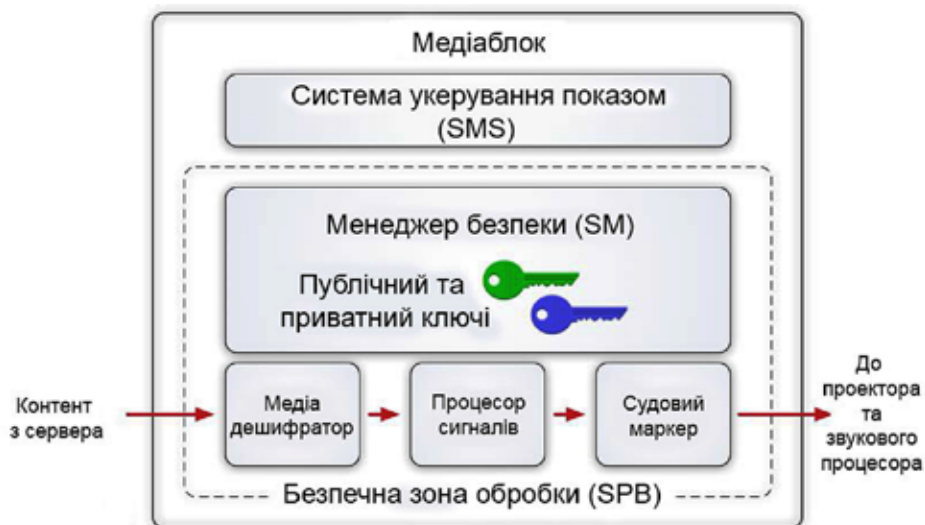


Рис. 9. Структура медіаблоку

(FIPS) 140-2 Level 3, а також відповідати вимогам DCI. Згідно зі специфікацією, для обробки зображення і звуку SPB має бути захищена від несанкціонованого доступу. Наприклад, фізичне втручання повністю зітре всі ключі;

- менеджер безпеки (SM). Елемент медіаблоку, який відповідальний за дані системи безпеки і політики безпеки. Це автономна підсистема, що має власний процесор і захищену операційну систему;

- медіа-дешифратор. Медіа-дешифратор розшифровує зашифровану сутність файлу доріжки, використовуючи публічний ключ медіа блоку;

- процесор сигналів. Обробка зображень, що включає декомпресію JPEG 2000 і обробку звуку в разі використання системи зі складним багатоканальним звуком;

- судовий маркер. Специфікація DCI вимагає використовувати судове маркування, але його використання не є обов'язковим для власників контенту. Інформація визначається DCI і включає в себе інформацію про місцезнаходження і час доби;

- захищений годинник. Він захищений від несанкціонованого доступу і має резервне живлення. Він потрібен для визначення поточної дати/часу.

- Коли була вперше представлена концепція медіаблоку, передбачалося, що існуватимуть кілька типів медіаблоків, такі як окремі мультимедійні блоки для зображення і звуку. Наприклад, DCI часто посилається на медіаблок для зображення (IMB) в його специфікації. Однак на практиці виробники воліють обробляти якомога

більше типів сутностей в одному медіаблоці. У результаті IMB, як правило, є єдиним медіаблоком, який можна знайти в більшості цифрових систем кіно.

Вміст може бути зашифрований під час входу в медіаблок, а на його виході бути вже розшифрованим. Така схема можлива лише тоді, коли медіаблок встановлений всередині проектора (Integrated Media Block) і піддається процесу сполучення з проектором. Якщо створення пари між IMB і проектором підроблено з метою отримати доступ до незашифрованого зображення, це викличе процес захисту від несанкціонованого доступу в межах медіаблоку.

**Висновки.** З огляду на вищезазначене, Digital Cinema Initiatives має досить складну, але водночас структуровану систему збереження, захисту і поширення цифрового кіноконенту. Концепція DCP пакетів є досить універсальною і гнучкою, що дає змогу без великих зусиль використовувати нові типи сутностей та з легкістю маніпулювати ними задля створення різноманітних версій фільмів.

Система захисту DCP пакетів демонструє велику надійність, що підтверджується відсутністю випадків крадіжок оригінальних файлів кіноконенту ані під час поширення, ані з серверів кінотеатрів. Водночас зловмисники іноді крадуть фільми із серверів кінокомпаній та дистриб'юторів, що вказує на незначну потужність системи захисту кіноконенту на етапі постпродукції. Існують і так звані CamRip версії фільмів, що є наслідком слабого контролю за глядачами в деяких кінотеатрах.

#### Список літератури:

1. SMPTE ST429-2 DCP Operational Constraints. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7290915/>
2. SMPTE ST 390-2011 MXF Pattern "OP-Atom". URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7290732/>
3. SMPTE ST 429-10 DCP Stereoscopic Picture Track File. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7292178/>
4. SMPTE ST429-3 Sound and Picture Track File. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7291560/>
5. SMPTE ST 377 MXF File Format Specification. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7292073/>
6. SMPTE S429-7 Composition Playlist. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7291923/>
7. Современные алгоритмы шифрования. URL: <https://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=6645>
8. SMPTE ST430-1 Key Delivery Message (KDM). URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7290381/>
9. SMPTE ST429-6 MXF Track File Essence Encryption. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7291629/>
10. Eric Diehl. Securing Digital Video: Techniques for DRM and Content Protection. Springer Science & Business Media, 2012. 266 с.

#### Ocheretko O.Y., Rozorinov H.M. DIGITAL MOVIE DISTRIBUTION AND PROTECTION TECHNOLOGIES

*The preconditions and tendency of digital cinema development has been investigated. The tendencies of development of protection of digital cinema has been revealed. The path of signal passing from the server to the projector has been analyzed. The basic principles of digital cinema has been considered. The screen*

*control system, lighting in the cinema, sound reproduction equipment of the cinema has been considered in detail. The necessary prerequisites for the creation of digital cinema standards has been identified and synthesized. The work of the consortium of world film studios, the working group on the development of Internet technologies and the society of engineers of cinematography and television and the standards adopted by them related to digital cinema has been considered. The technologies of storage and distribution of digital copies of films using digital cinema packages has been considered. The structure of the digital cinema package, the features of filling and possibilities of interaction between them has been revealed. The notion of composition, track files and digital bobbin has been explained. The composition structure and functions of each component has been considered. The list of songs and its components has been described. Actions that was taken to protect digital movies has been explored. Particular attention to preventing unauthorized access and copying of films has been paid. The key-length-value encoding method used in files containing the essence and metadata has been explained. The type of message "key delivery message" used to transfer encrypted keys has been considered. The methods of symmetric and asymmetric encryption, their application for protection of cinema content has been analyzed. The purpose of the message about the receipt of the key and the Media Block as elements of the security system has been described. A model of trust and key aspects of its functioning has been considered. The list of trusted devices that is part of the key delivery message has been described. The range of digital cinema credibility is considered, as well as revealing at what stage security issues has been raised.*

**Key words:** *defence, key, media-block, unauthorized division, digital movie, encryption.*

**Відомості про авторів**

**Антоненко А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

**Аракелян В.П.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики інституту енергетики та електротехніки Національного політехнічного університету Арменії;

**Арсеньсва Л.Ю.** – доктор технічних наук, професор кафедри експертизи харчових продуктів, Національного університету харчових технологій;

**Безземельний О.М.** – магістр кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

**Бердниченко Ю.А.** – кандидат історичних наук, доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

**Білей-Рубан Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри легкої промисловості і професійної освіти Мукачівського державного університету;

**Білоус І.О.** – викладач першої категорії Київського енергетичного коледжу;

**Бошков Л.З.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри термодинаміки і відновлюваної енергетики Одеської національної академії харчових технологій;

**Бошкова І.Л.** – доктор технічних наук, професор, доцент кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв Одеської національної академії харчових технологій

**Волгушева Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв Одеської національної академії харчових технологій;

**Главатських В.І.** – магістрант кафедри управління логістичними системами і проектами Одеського національного морського університету;

**Грищенко І.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

**Грушковська А.О.** – молодший науковий співробітник відділу біотехнології Інституту продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук;

**Даниленко С.Г.** – старший науковий співробітник, доктор технічних наук, завідувач відділу, Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук;

**Дем'янченко О.Є.** – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;

**Денисюк І.В.** – магістр кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Деревягіна Н.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

**Доценко В.Ф.** – доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій;

**Єфімова В.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Земліна Ю.В.** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури;

**Іванченко А.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;

**Інкін О.В.** – доктор технічних наук, професор кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

**Казюк В.О.** – магістр кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

**Карабут Н.О.** – старший викладач кафедри моделювання та програмного забезпечення Криворізького національного університету;

**Караван Н.А.** – кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки та організації виробництва Дніпровського державного технічного університету;

- Карлова О.М.** – викладач вищої категорії Київського енергетичного коледжу;
- Карпенко З.П.** – старший викладач кафедри товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки Харківського державного університету харчування та торгівлі;
- Кирисов І.Г.** – аспірант кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії;
- Кириченко Г.І.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;
- Кобзар С.Г.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України;
- Кобзєв О.В.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
- Коваленко Г.В.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України;
- Коваленко Г.В.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України;
- Колесниченко Н.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри матеріально-технічного забезпечення Військової академії (м. Одеса);
- Коломіц Г.В.** – асистент кафедри електромеханіки Криворізького національного університету;
- Коскіна Ю.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації флоту і технологій морських перевезень Одеського національного морського університету;
- Крижська Т.А.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології молока та м'яса Сумського національного аграрного університету;
- Кузьменко А.С.** – старший викладач кафедри електромеханіки Криворізького національного університету;
- Кутковецька Т.О.** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;
- Лапкіна І.О.** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри управління логістичними системами і проектами Одеського національного морського університету;
- Лиман А.С.** – студент Державного університету інфраструктури та технологій;
- Лісніченко О.О.** – кандидат економічних наук, доцент кафедри товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки Харківського державного університету харчування та торгівлі;
- Лобойко В.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
- Майзеліс А.О.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
- Малаксіано М.О.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри управління логістичними системами і проектами Одеського національного морського університету;
- Медвецький В.В.** – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;
- Медвідь І.М.** – аспірант кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій;
- Мельник О.Є.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Криворізького національного університету;
- Михайленко О.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Криворізького національного університету;
- Мулярчук М.А.** – аспірантка кафедри фізики енергетичних систем Фізико-технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Очеретько О.Я.** – студент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Паламарчук О.П.** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії медичної ботаніки Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка Національної академії наук України;

**Паскаль А.А.** – асистент кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв Одеської національної академії харчових технологій;

**Пилипенко Т.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Полуда С.Н.** – старший викладач кафедри легкої промисловості і професійної освіти Мукачівського державного університету;

**Порохня Ю.В.** – магістр Київського університету культури;

**Приходько К.О.** – викладач кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв;

**Розорінов Г.М.** – доктор технічних наук, професор кафедри звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Ройко О.М.** – викладач фахових дисциплін Волинського коледжу Національного університету харчових технологій;

**Ройко О.Ю.** – кандидат технічних наук, викладач фахових дисциплін Волинського коледжу Національного університету харчових технологій;

**Садовенко І.О.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

**Сімахіна Г.О.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій;

**Сінческул О.Л.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Скрипніченко Д.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики Одеської національної академії харчових технологій;

**Соколова Є.Б.** – старший викладач кафедри товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки Харківського державного університету харчування та торгівлі;

**Степанюк О.Ю.** – студент магістратури кафедри фізики енергетичних систем Фізико-технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Стрелко О.Г.** – доктор історичних наук, професор, професор кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

**Сук І.В.** – викладач-методист, вищої категорії Київського енергетичного коледжу;

**Супрун Б.М.** – магістр Київського університету культури;

**Товажнянський Л.Л.** – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», член-кореспондент НАН України;

**Халатов А.А.** – академік Національної академії наук України, професор, завідувач відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики НАН України;

**Хоньків М.О.** – фахівець відділу біотехнології Інституту продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук;

**Хрипливець Ю.В.** – науковий співробітник кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

**Чернюк А.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії;

**Чорнобривець Д.О.** – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;

**Шевчук В.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Шидловська О.Б.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій.

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 30 (69) № 4 2019**

**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. 14,17. Ум.-друк. арк. 18,83. Зам. № 0919/182

Підписано до друку 30.08.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: [mailbox@helvetica.com.ua](mailto:mailbox@helvetica.com.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.