

**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) № 5 2019**

**Частина 2**



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2019

## **Головний редактор:**

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

## **Члени редакційної колегії:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet  
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського  
(протокол № 3 від 06.11.2019 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

### ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<b>Дворук В.І., Лабунець В.Ф., Борак К.В., Свирид М.М., Бучко І.О.</b> ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 65Г, ЗМІЩЕНОЇ ГАРТУВАННЯМ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАГРІВАННІ.....	1
<b>Кравченко В.В., Войтік А.В., Оляднічук Р.В., Ковальчук Ю.О.</b> МОЛОТОК ГОРИЗОНТАЛЬНО-РОТОРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА ГІЛОК.....	6
<b>Лаппо І.М., Добришкін Ю.М., Геращенко М.О., Приходько С.М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ СТАН У ЗОНІ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОМБІНОВАНИМ ОСЬОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ..	12
<b>Ребров О.Ю.</b> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗДВОЮВАННЯ ТРАКТОРНИХ ШИН.....	18

### ЕНЕРГЕТИКА

<b>Кірсанова В.В.</b> ПРОБЛЕМА ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТУ: ДИЛЕМА СУЧАСНОСТІ.....	23
<b>Кочмарський В.З., Гаєвський В.Р., Куба В.В., Соляк Л.В.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ІНГІБІТОРІВ НА ВІДКЛАДЕННЯ У ВОДНИХ ТЕПЛОНОСІЯХ.....	28
<b>Лаврішев О.О., Новосилецький Ю.Л., Русецька Н.М.</b> ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПОВІТРЯНИМИ ВИКИДАМИ З ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ.....	33

### ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>Авіна С.І., Привалова Г.С., Коновалова А.А., Пензева І.М.</b> КОБАЛЬТ-ХРОМ ОКСИДНИЙ КАТАЛІЗАТОР НА СИЛКАТНОМУ НОСІЇ ОКИСНЕННЯ АМОНІАКУ ДО НІТРОГЕН (II) ОКСИДУ.....	37
<b>Анікєєва П.С., Пилипенко О.І.</b> ВПЛИВ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОЛІЗУ НА ДИНАМІКУ ОКИСЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti6Al4V У РОЗЧИНАХ ФОСФАТНОЇ КИСЛОТИ .....	42
<b>Белянська О.Р., Біленко Т.Є., Колісник Я.О., Красніков К.С.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРОБКИ КАЛЬЦІЄВМИСНИХ ВІДХОДІВ У ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНИХ ДОБРІВ.....	48
<b>Гомеля М.Д., Степова О.В., Камаєв В.С.</b> РОЗРОБКА ІНГІБІТОРІВ ОСАДКОВІДКЛАДЕНЬ У ВОДАХ З ВИСОКОЮ МІНЕРАЛІЗАЦІЄЮ.....	55
<b>Дегтяр М.В., Галкіна О.П.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ФІЛЬТРАТУ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	62
<b>Майзеліс А.О.</b> ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ МУЛЬТИШАРОВИХ ПОКРИТТІВ (Cu-Sn) <sub>1</sub> /(Cu-Sn) <sub>2</sub> З ПІРОФОСФАТНО-ТРИЛОНАТНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ.....	69
<b>Фролова Л.А., Півоваров О.А.</b> УМОВИ ОТРИМАННЯ МАГНЕТИТУ ПІД ДІЄЮ КОНТАКТНОЇ НЕРІВНОВАЖНОЇ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ.....	76

### ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<b>Болгова Н.В., Галета Ю.С.</b> ЙОДКАЗЕЇН У ВИРОБНИЦТВІ ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ.....	80
<b>Дзюба Н.А.</b> КОМПОЗИЦІЙНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПОЛІКОМПОНЕНТНИХ МУСІВ БІОПРОТЕКТОРНОЇ ДІЇ.....	86
<b>Ковальова С.О., Чебаненко Х.В., Гуцало І.В., Коробка Ю.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У СОНЯШНИКОВІЙ ОЛІЇ ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	93

<b>Мироненко Л.С., Тимченко В.К., Перевалов Л.І., Яковлева І.М., Арутюнян Т.В.</b> АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЛІЇ З НАСІННЯ САФЛОРУ, АДАПТОВАНОГО В УМОВАХ СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ.....	98
<b>Савчук Ю.Ю., Янчик М.В., Усатюк С.І.</b> РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СМУЗИ НА ОСНОВІ НАПОЮ З ЯДЕР ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА З ДОДАВАННЯМ ШПІНАТУ ТА СПІРУЛІНИ.....	104
<b>Сподар К.В., Карбівнича Т.В., Лісніченко О.О., Соколова Є.Б.</b> АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА РИБОПЕРЕРОБНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ.....	110
<b>Штепа Є.П., Михайлова К.А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИТНОЇ ВОДИ, СОКІВ ТА НАПОЇВ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБРОБКИ.....	114
<b>ТРАНСПОРТ</b>	
<b>Бердниченко Ю.А., Стрелко О.Г., Коробка А.А., Данилюк О.В., Сидоренко О.В.</b> ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	122
<b>Бражник И.Д.</b> МОДЕРНИЗАЦІЯ ПРОЦЕСА ВЕНТИЛЯЦІЇ ГРУЗОВИХ ТРЮМОВ ТАНКЕРА С ПОМОЦЬЮ СИСТЕМИ ІНЕРТНИХ ГАЗОВ.....	129
<b>Кожушко А.П.</b> СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ РУХУ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ З АГРЕГАТАМИ ЗМІННОЇ МАСИ .....	134
<b>Стрелко О.Г., Бердниченко Ю.А., Петриковець О.В., Грушевська Т.М., Круглик М.В.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	144
<b>Третяк В.М., Оляднічук Р.В., Кравченко В.В., Ковальчук Ю.О., Третяк М.К.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИ РУСІ ТРАКТОРА НА РІЗНИХ ОПОРНИХ ПОВЕРХНЯХ.....	149
<b>Фомін О.В., Прокопенко П.М., Бурлуцький О.В., Фоміна А.М.</b> КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	154
<b>Шевчук В.В., Кутковецька Т.О.</b> АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВНУТРІШНЬОГРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ У САДІВНИЦТВІ.....	160
<b>БУДІВНИЦТВО</b>	
<b>Валовой О.І., Єрмоменко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ.....	166
<b>Шевченко Т.О., Шевченко А.О., Златковський О.А.</b> ЗНЕВОДНЕННЯ АНАЕРОБНО СТАБІЛІЗОВАНОГО ОСАДУ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД НА КАМЕРНО-МЕМБРАННОМУ ФІЛЬТР-ПРЕСІ: ПАРАМЕТРИ І ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....	172
<b>ГЕОДЕЗІЯ</b>	
<b>Нестеренко С.Г., Радзінська Ю.Б., Афанасьєв О.В., Касьянов В.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ У СУЧАСНИХ УМОВАХ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕРИТОРІЙ МІСТ.....	177
<b>Рудомаха А.В.</b> ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД.....	181
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	186

# CONTENTS

## INDUSTRIAL ENGINEERING

<b>Dvoryk V.I., Labunets V.F., Borak K.V., Svyryd M.M., Buchko I.O.</b> WEAR RESISTANCE OF 65G STEEL, STRENGTHENED BY INDUCTION HEATING .....	1
<b>Kravchenko V.V., Voitik A.V., Oliadnichuk R.V., Kovalchuk Y.O.</b> HAMMER OF HORIZONTAL-ROTORY CHOPPER OF BRANCHES .....	6
<b>Lappo I.N., Dobryshkin Yu.N., Herashchenko M.A., Prykhodko S.N.</b> RESEARCH OF THE INFLUENCE OF HEAT FLOWS ON THE TEMPERATURE CONDITION IN THE CUTTING AREA DURING THE OPENING OF HOLES WITH COMBINED AXIAL TOOLS .....	12
<b>Rebrov O.Yu.</b> ANALYSIS OF TRACTOR DUAL TIRES EFFICIENCY.....	18

## POWER ENGINEERING

<b>Kirsanova V.V.</b> THE PROBLEM OF USING BIOFUELS FOR TRANSPORT: THE DILEMMA OF THE MODERNITY .....	23
<b>Kochmarskii V.Z., Gajevskiy V.R., Kuba V.V., Soliak L.V.</b> MODELING THE IMPACT OF INHIBITORS ON DEPOSITION IN WATER HEAT – TRANSFER AGENTS .....	28
<b>Lavrishchev O.O., Novosyetskiy Y.L., Rusetska N.M.</b> WAYS TO REDUCE ECOLOGICAL ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AIR EMISSIONS FROM ANIMAL HOUSES .....	33

## CHEMICAL TECHNOLOGY

<b>Avina S.I., Pryvalova G.S., Konovalova A.A., Penzeva I.M.</b> COBALT-CHROMIUM OXIDE CATALYST ON SILICATE CARRIER OF AMMONIA OXIDATION TO NITROGEN DIOXIDE.....	37
<b>Anikeeva P.S., Pilipenko O.I.</b> THE INFLUENCE OF THE ELECTROLYSIS MODE ON THE OXIDATION DURATION OF THE SURFACE OF TITANIUM ALLOY Ti6Al4V IN SOLUTIONS OF PHOSPHORIC ACID .....	42
<b>Bielianska O.R., Bilenko T. Ye., Kolisnyk Ya.O., Krasnikov K.S.</b> STUDY OF PROCESSING OF CALCIUM-CONTAINING WASTES IN THE TECHNOLOGY OF COMPLEX FERTILIZERS .....	48
<b>Gomelya M.D., Stepova O.V., Kamaev V.S.</b> DEVELOPMENT OF DEPOSIT INHIBITORS IN WATERS WITH HIGH MINERALIZATION .....	55
<b>Degtyar M.V., Galkina H.P.</b> RESEARCH OF MAIN FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY LEACHATE TREATMENT .....	62
<b>Maizelis A.O.</b> ELECTRODEPOSITION OF (Cu-Sn) <sub>1</sub> /(Cu-Sn) <sub>2</sub> MULTILAYER COATINGS FROM PYROPHOSPHATE-TRILONATE ELECTROLYTE.....	69
<b>Frolova L.A., Pivovarov A.A.</b> CONDITIONS OF OBTAINING OF MAGNETITE USING CONTACT NON-EQUILIBRIUM PLASMA ....	76

## TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

<b>Bolhova N.V., Galeta J.S.</b> IODOCASEIN IN THE PRODUCTION OF PROCESSED CHEESE .....	80
<b>Dzyuba N.A.</b> COMPOSITIONAL DESIGN OF POLYCOMPONENT MUSES OF BIOPROTECTIVE ACTION.....	86
<b>Kovaleva S.O., Chebanenko Kh.V., Gutsalo I.V., Korobka Yu.V.</b> STUDY OF CHEMICAL TRANSFORMATIONS IN SUNFLOWER OIL DURING HEAT TREATMENT ....	93

<b>Myronenko L.S., Tymchenko V.K., Perevalov L.I., Yakovleva I.M., Arutiunian T.V.</b> ANALYSIS OF SAFFLOWER SEED OIL STRUCTURAL INDICES, ADAPTED IN CONDITIONS OF THE EASTERN FOREST-STEPPE .....	98
<b>Savchuk Yu.Yu., Yanchyk M.V., Usatiuk S.I.</b> DEVELOPMENT OF RECIPE AND TECHNOLOGY OF SMOOTHIE BASED ON DRINK OF WALNUT KERNELS WITH SPINACH AND SPIRULINA .....	104
<b>Spodar K.V., Karbivnycha T.V., Lisnichenko O.O., Sokolova Ye.B.</b> ANALYSIS OF ORGANIZATION OF WORK ON IMPROVING THE SAFETY AND COMPETITIVENESS OF PRODUCTS ON THE FISHERIES ENTERPRISE .....	110
<b>Shtepa E.P., Mikhailova K.A.</b> RESEARCH OF CHANGE OF PROPERTIES OF DRINKING-WATER, JUICES, AND MADE A DRUNK UNDER ACT OF ELECTROMAGNETIC TREATMENT .....	114

## TRANSPORT

<b>Berdnychenko Yu.A., Strelko O.H., Korobka A.A., Danyliuk O.V., Sydorenko O.V.</b> INNOVATIVE APPROACHES IN THE ORGANIZATION OF SUBURBAN PASSENGER TRAFFIC .....	122
<b>Brazhnik I.D.</b> MODERNIZATION OF THE VENTILATION PROCESS OF THE TANKER CARGO HOLDS WITH THE AID OF THE INERT GAS SYSTEM.....	129
<b>Kozhushko A.P.</b> SPECTRAL ANALYSIS OF THE EXPERIMENTAL DATA MOVEMENTS TRACTORS WITH VARIABLE MASS UNITS.....	134
<b>Strelko O.H., Berdnychenko Yu.A., Petrykovets O.V., Hrushevska T.M., Kruhlyk M.V.</b> IMPROVEMENT OF THE SORTING YARDS OPERATION TECHNOLOGY BY APPLYING A UNIFIED INFORMATION DATABASE .....	144
<b>Tretiak V.M., Oliadnichuk R.V., Kravchenko V.V., Kovalchuk Y.O., Tretiak M.K.</b> EXPERIMENTAL RESEARCH ON POWER DISTRIBUTION IN TRACTOR MOVEMENT ON DIFFERENT SUPPORTING SURFACES .....	149
<b>Fomin O.V., Prokopenko P.M., Burlutskyi O.V., Fomina A.M.</b> CONTROLLING TESTS OF THE TANK-CARS FOR THE ASSESSMENT OF THE RESIDUAL RESOURCE OF UNDERTAKING STRUCTURES .....	154
<b>Shevchuk V.V., Kutkovetska T.O.</b> ANALYSIS OF TECHNICAL MEANS OF THE MECHANIZATION OF THE PROCESS OF THE SUBSOIL FERTILIZER APPLICATION IN HORTICULTURE .....	160

## CONSTRUCTION

<b>Valovoi O.I., Eremenko O.Yu., Valovoi M.O., Volkov S.O.</b> DETERMINATION OF DEFORMATIONS OF BEAMS WITH COMBINED REINFORCEMENT USING BASALT FIBRE PLASTIC AND METAL ARMATURE.....	166
<b>Shevchenko T.O., Shevchenko A.O., Zlatkovskyi O.A.</b> ELABORATION OF ANAEROBICALLY STABILIZED SLUDGES OF COMMUNAL CLEANING PLANTS ON THE CHAMBER-MEMBRANE FILTER PRESS: PARAMETERS AND EFFICIENCY OF WORK.....	172

## GEODESY

<b>Nesterenko S.G., Radzinskaya Y.B., Afanasyev O.V., Kasyanov V.V.</b> RESEARCH OF GEOINFORMATION TOOLS IN MODERN CONDITIONS OF ORGANIZATION OF TERRITORIES OF CITIES.....	177
<b>Rudomakha A.V.</b> GEOINFORMATION ANALYSIS OF LAND USE OF THE UNITED TERRITORIAL COMMUNITIES .....	181
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS.....</b>	186



# ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.365: 620.178.16

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/01>

**Дворук В.І.**

Національний авіаційний університет

**Лабунець В.Ф.**

Національний авіаційний університет

**Борак К.В.**

Житомирський агротехнічний коледж

**Свирид М.М.**

Національний авіаційний університет

**Бучко І.О.**

Житомирський агротехнічний коледж

## ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 65Г, ЗМІЦНЕНОЇ ГАРТУВАННЯМ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАГРІВАННІ

*У роботі проведено аналіз досліджень впливу гартування при індукційному нагріванні на зносостійкість сталей. Встановлено, що результати попередніх досліджень неможливо застосувати для робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, оскільки всі попередні дослідження на зносостійкість проводились при зношуванні по жорстко закріпленому абразиву.*

*Для визначення можливості підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин гартування струмами високої частоти необхідно провести лабораторні дослідження на зношування в умовах нежорстко закріплених абразивних частинок. Для проведення таких досліджень розроблена методика, яка дозволяє визначити зносостійкість сталі при зношуванні в умовах нежорстко закріплених абразивних частинок.*

*У роботі встановлено вплив сили струму на зносостійкість сталі 65Г при зміцненні гартуванням струмами високої частоти. Даний спосіб, підвищення зносостійкості, дозволяє підвищити стійкість до абразивного зношування сталі 65Г приблизно на 10% порівняно зі стандартною термообробкою (нагрівання в муфельній печі до 810°C з відпуском 200°C). У процесі взаємодії сталі 65Г (зміцненої гартуванням при індукційному нагріванні) з вільним абразивом відбувається процес наклепування поверхні, в результаті чого поверхнева твердість підвищується на 6...25,6%, що позитивно впливає на її зносостійкість. У зразків сталі з найменшою зносостійкістю на поверхні тертя, окрім слідів мікрорізання, також спостерігались наявність каверн. Застосування гартуванням при індукційному нагріванні не дозволить кардинально вирішити питання підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, тому необхідно шукати нові більш прогресивні способи і методи зміцнення їх робочих поверхонь.*

**Ключові слова:** зносостійкість, сталь 65Г, струм високої частоти, абразивне зношування, зміцнення.

**Постановка проблеми.** У розвинутих країнах світу витрати коштів, що зумовлені негативними наслідками абразивного зношування, становлять від 1 до 4% національного продукту [1].

Абразивне зношування є головною причиною передчасного виходу з ладу робочих органів

ґрунтообробних та посівних машин, які в процесі експлуатації безпосередньо взаємодіють зі специфічним абразивним середовищем – ґрунтом. Для підвищення їх зносостійкості широко застосовуються різноманітні конструкційні, технологічні та експлуатаційні засоби, серед яких до 80%

припадає на технологічні засоби. Найбільшого поширення набули такі технологічні засоби, як зміцнення створенням зносостійкої плівки на поверхні, а також зміна структури поверхневого шару і всього об'єму металу.

Одним із сучасних та високопродуктивних методів зміцнення, що широко застосовується в машинобудуванні, є гартування поверхні сталей струмами високої частоти (СВЧ). Однак на сьогодні питання щодо доцільності використання вказаного методу для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин остаточно не з'ясовано і потребує подальшого вивчення, що зумовило постановку цього дослідження.

**Аналіз останніх досліджень.** Використання термічної обробки деталей та заготовок СВЧ почали впроваджувати у виробництво у 30-х роках минуло століття [2]. Цей метод обробки володіє рядом позитивних характеристик, а саме:

- 1) висока швидкість нагріву й відсутність необхідності тривалого періоду розігріву обладнання;
- 2) відсутність окалини і угару металу;
- 3) рівномірний прогрів;
- 4) менша трудомісткість та більша економічність процесу обробки;
- 5) можливість автоматизації процесу.

У результаті СВЧ-обробки зносостійкість сталі 45 порівняно зі звичайною термічною обробкою (пічний нагрів) підвищується на 14...28%, що пояснюється наявністю більш дрібнозернистої структури, рівномірним розподілом дисперсних карбідів та розвиненою субструктурою через високу швидкість під час нагріву СВЧ [3]. Для сталі 15Х11МФ підвищення зносостійкості при використанні СВЧ порівняно з пічним нагрівом складає 12...23,5% [4, 5].

Автором [6] визначається, що гартування СВЧ дозволяє суттєво підвищити зносостійкість ножів кормозбирального комбайна, які виготовлені зі сталі ХВГ, 65Г та У10. Для малої партії ножів нагрівання під гартування за допомогою СВЧ сприяло збільшенню вартості обробки в декілька разів через коштовне обладнання. Тому цей спосіб нагрівання визнали недоцільним з економічного боку. Витрати на використання СВЧ починають дорівнювати витратам на нагрівання в соляних ваннах, якщо партія ножів перевищує 1000 одиниць. При більших партіях нагрівання СВЧ стає економічно вигідним [6].

Аналіз попередніх досліджень підтверджує можливість підвищення зносостійкості сталей за рахунок гартування СВЧ. Результати даних дослі-

джень неможливо застосувати для робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, оскільки всі попередні дослідження на зносостійкість проводились при зношуванні по жорстко закріпленому абразиву. Для визначення можливості підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин гартування СВЧ необхідно провести лабораторні дослідження на зношування зразків зміцнених обробкою СВЧ в умовах нежорстко закріплених абразивних частинок.

**Методика досліджень.** Для дослідження були виготовлені зразки зі сталі 65Г у вигляді квадратів (30x30 мм) товщиною 8 мм (рис. 1). Зміцнення зразків проводили за такими режимами:

- зразок СТ – стандартна термообробка (нагрівання до 810°C з відпуском 200°C);
- зразок 1 – гартування СВЧ, сила струму 0,8 А з відпуском 200°C;
- зразок 2 – гартування СВЧ, сила струму 0,1 А з відпуском 200°C;
- зразок 3 – гартування СВЧ, сила струму 1,25 А з відпуском 200°C;
- зразок 4 – гартування СВЧ, сила струму 1,5 А з відпуском 200°C.



Рис. 1. Дослідні зразки із сталі 65Г

Термічну обробку струмом високої частоти проводили з використанням генератора ВЧГ1-60/0,066У4 (рис. 2).

Для визначення зносостійкості підготовлених зразків використовували стандартний метод випробування матеріалів при терті об нежорстко закріпленій абразив на базі машини тертя Бри-нелля – Хаворта (рис. 3).

Сутність методу полягає в тому, що зразок притискають до гумового ролика діаметру 50мм. Під час обертання ролика в зону контакту подається абразив 7 з бункеру 5. Зусилля притискування регулюється за допомогою важеля 9



і складає 25,6Н. Як абразив використовується кварцевий пісок ( $\text{SiO}_2$ ) зернистістю 250 мкм, що перед випробуваннями сушили у спеціальній шафі. Перед випробуванням зразки шліфували до шорсткості  $R_z = 0,63\text{мкм}$ , яку визначали на профілометрі моделі 201. Зношеність вимірювали ваговим методом на аналітичних вагах АДВ – 200 з точністю до 0,0001 г. перед випробуванням зразки промивали у спирті, висушували і зважували.



Рис. 2. Генератор ВЧГ1-60/0,066У4

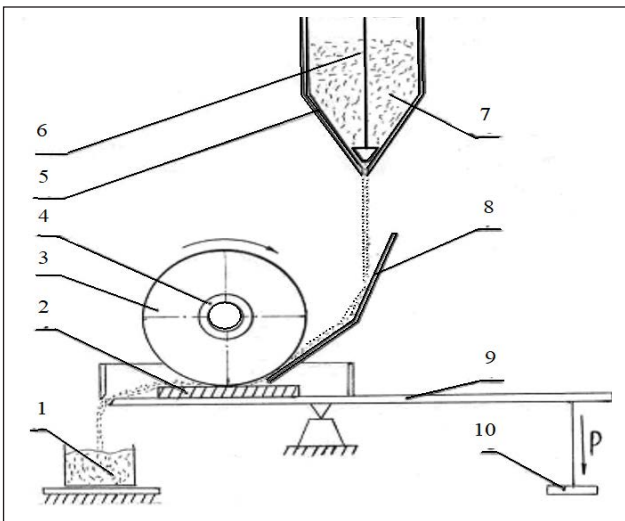


Рис. 3. Схема випробувальної установки:  
 1 – бункер для збирання відпрацьованого абразиву;  
 2 – зразок матеріалу, що досліджується;  
 3 – ролик, що обертається; 4 – втулка для ролика;  
 5 – бункер для вільного абразиву; 6 – важіль для регулювання швидкості подачі абразиву;  
 7 – вільний абразив; 8 – лоток для подачі абразиву; 9 – важіль для регулювання зусилля притискування циліндру до тертьової поверхні з абразивом; 10 – навантаження важіля силою Р

Випробування на твердість проводили на твердомірі ТК – 2М, а мікротвердість – мікротвердомірі ПМТ-3. Електронно мікроскопічні дослідження

здійснювали на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі РЕММА-102-02 і РЕМ-106-И.

Обробку результатів дослідження здійснювали регресійним аналізом.

**Результати досліджень.** У результаті проведених досліджень були отримані дані, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

**Вплив сили струму при гартування СВЧ на зносостійкість сталі 65Г**

Сила струму	Зносостійкість $\text{с/г} \cdot 10^4$		
	I	II	III
0,8А	16,2	14,6	15,4
1А	11,1	11,2	10,7
1,25А	15,3	15,6	15,8
1,5А	14,6	14,3	14,6

Результати дослідів опрацювали регресійним аналізом, згідно якого критерій Фішера становить 61,86, що перевищує табличні дані  $F_{0,95} = 4,76$  і  $F_{0,99} = 9,78$ . Тому різниця між всіма окремими варіантами дослідів достовірна на обох рівнях надійної ймовірності. Точність досліду складає  $T = 98,09\%$ . Обробка експериментальних даних дозволила побудувати графік залежності зносостійкості сталі 65Г від сили струму при гартуванні СВЧ (рис. 4).

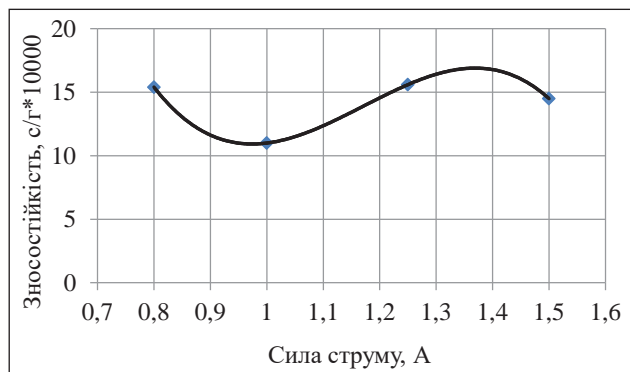


Рис. 4. Залежність зносостійкості сталі 65Г від сили струму при гартуванні СВЧ

Залежність зносостійкості сталі 65Г від сили струму при гартуванні СВЧ найкраще описує поліномальна функція (при всіх інших функціях коефіцієнт детермінації не перевищує 0,2):

$$y = -193,4x^3 + 679,64x^2 - 773,46x + 298,22 \quad (1)$$

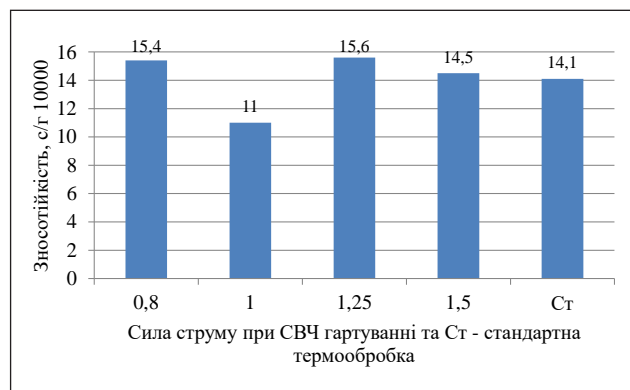


Рис. 5. Залежність зносостійкості сталі 65Г від способу гартування

При цьому коефіцієнт детермінації  $R = 1$ .

Слід зазначити, що при гартуванні СВЧ зносостійкість сталі 65Г порівняно зі стандартною термообробкою (нагрівання до  $810^{\circ}\text{C}$  з відпуском  $200^{\circ}\text{C}$ ) підвищується не суттєво (рис. 5).

Як видно при гартуванні СВЧ максимальне підвищення зносостійкості сталі 65Г складає 10% (при силі струму 1,25 А).

Для аналізу механізму абразивного зношування сталі 65Г після гартування СВЧ й стандартної термообробки поверхні тертя фотографували після зношування рис. 6, а також досліджено зміну поверхневої твердості зразків табл. 2.

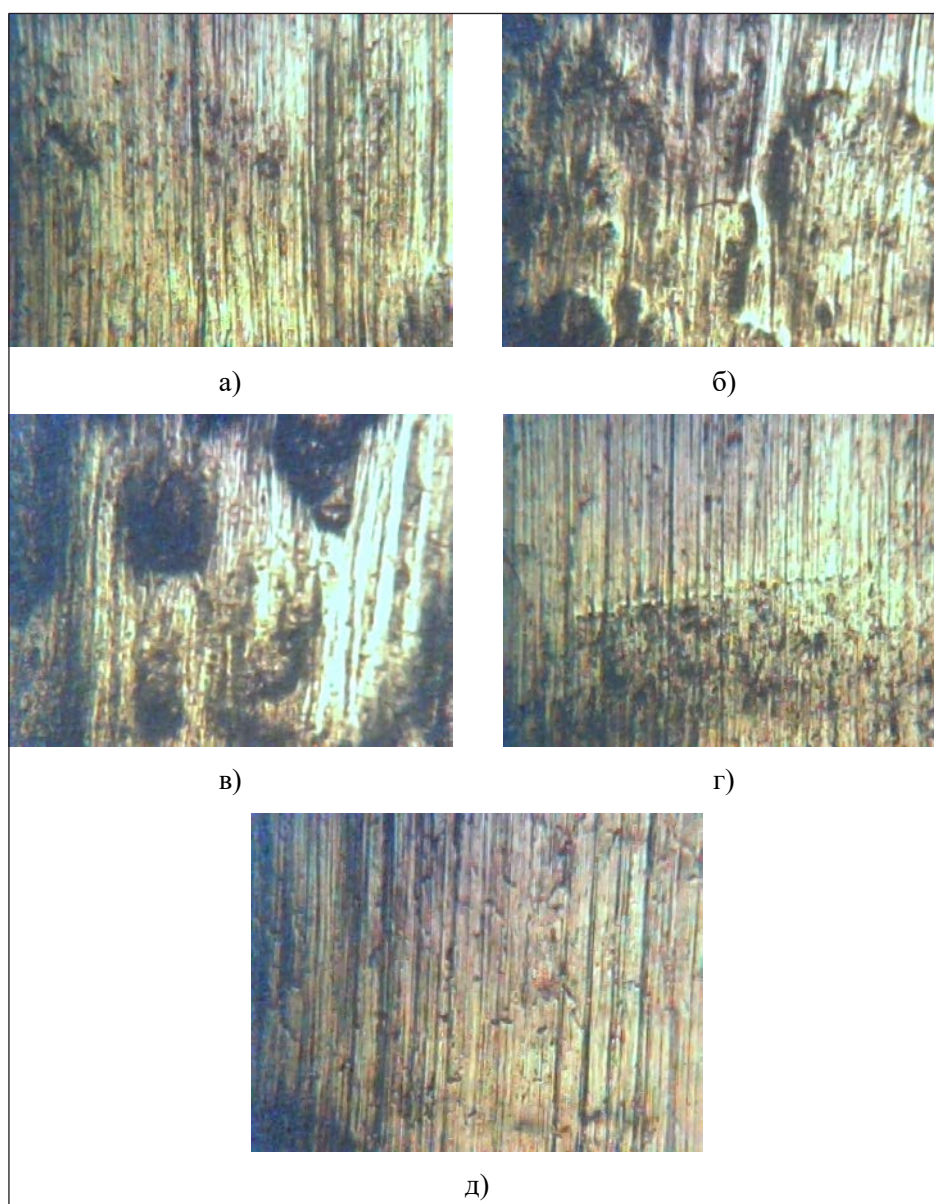


Рис. 6. Електронні фотографії поверхонь тертя при гартування та термообробці СВЧ при абразивному зношенні: а – стандартне гартування ; б – гартування СВЧ сила струму 0,8 А; в – гартування СВЧ сила струму 1 А; г – гартування СВЧ сила струму 1,25 А; д – гартування СВЧ струму

Таблиця 2

## Поверхнева твердість дослідних зразків

Вид обробки, режим	№ зразка	Твердість поверхні до зношування, HRC	Твердість поверхні після зношування, HRC
Стандартне Гартування 810° від.200°	1	50	62,5
	2	53	64,4
	3	54	62,5
СВЧ 0,8 А від.200°	1	53	71,2
	2	54	70,3
	3	55	65,7
СВЧ 1 А від.200°	1	53	56,4
	2	54	59,6
	3	55	62,8
СВЧ 1,25 А від.200°	1	52	60,9
	2	55	58,7
	3	58	68,3
СВЧ 1,5 А від.200°	1	52	62,1
	2	55	67,5
	3	56	66,6

У зразків сталі з найменшою зносостійкістю на поверхні тертя (рис. 6,в), окрім слідів мікро-різання, також спостерігались каверни.

Дані табл. 2 дозволяють зробити висновок, що в процесі взаємодії сталі 65Г з вільним абразивом відбувається процес наклепування поверхні, в результаті чого поверхнева твердість підвищується на 6...25,6%, що позитивно впливає на її зносостійкість.

**Висновки.** СВЧ гартування дозволяє підвищити зносостійкість сталі 65Г при зношуванні тертям об незакріпленій абразив приблизно на 10%. Застосування СВЧ гартування не дозволить кардинально вирішити питання підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних та посівних машин, тому необхідно шукати нові більш прогресивні способи і методи зміцнення їх робочих поверхонь.

## Список літератури:

1. Tylczak J.H. Abrasive wear. *ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International*. 1992. № 18. P. 184–190.
2. Гурченко П.С., Шипко А.А. История и направления развития индукционного нагрева СВЧ на минском автомобильном заводе. *Литье и металлургия*. 2013. № 2 (70). С. 91–105.
3. Вуец О.Є. Влияние термической обработки с различными скоростями нагрева на износостойкость стали 45. *Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве*. 2013. № 1. С. 78–79.
4. Погрібний М.А., Вуець О.Є. Дослідження впливу відпуску з різними швидкостями нагрівання на механічні властивості сталі. *Вісник ХНАДУ*. 2014. № 67. С. 58–62.
5. Погрібний М.А., Вуець О.Є. Вплив термічної обробки на зносостійкість сталі 15Х11МФ. *Металознавство та обробка металів*. 2014. № 4. С. 31–35.
6. Сталь і термічна обробка ножів кормозбирального комбайна. О.Ю. Браташевський та інші. «Марал». *Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки*. 2010. № 95. С. 75–83.

### Dvoryk V.I., Labunets V.F., Borak K.V., Svyryd M.M., Buchko I.O. WEAR RESISTANCE OF 65G STEEL, STRENGTHENED BY INDUCTION HEATING

*The analysis of studies of the influence of quenching during induction heating on the durability of steels is carried out. It has been established that the results of previous studies cannot be applied to the working bodies of soil tillage and sowing machines, since all previous studies on wear resistance were carried out during wear on rigidly fixed abrasives. To determine the possibility of increasing the wear resistance of the working bodies of soil tillage and seeding machines high-frequency currents, it is necessary to carry out laboratory tests for wear in conditions of non-rigidly fixed abrasive particles. For carrying out such studies, a technique has been developed that allows to determine the wear resistance of steel during wear in conditions of non-rigidly fixed abrasive particles.*

*The influence of the current strength on the wear resistance of 65Г steel during hardening by high-frequency currents is established in the work. This method, increase wear resistance, allows to increase the resistance to abrasion wear of steel 65Г by about 10%, compared with standard heat treatment (heating in a muffle furnace to 810 °C with a release of 200°C).*

*In the process of interaction of 65Г steel (strengthened by quenching during induction heating) with free abrasive is the process of surface hardening, resulting in surface hardness increases by 6...25,6%, which has a positive effect on its wear resistance. The least wear-resistant specimens on the friction surface, except for traces of micro-cutting, also showed the presence of caverns. The application of quenching during induction heating will not allow to radically solve the question of increasing the wear resistance of the working bodies of the tillage and sowing machines, so it is necessary to look for new more progressive ways and methods of strengthening their working surfaces.*

**Key words:** wear resistance, 65Г steel, high frequency current, abrasive wear, strengthening.



**Кравченко В.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Войтік А.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Оляднічук Р.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Ковальчук Ю.О.**

Уманський національний університет садівництва

## МОЛОТОК ГОРИЗОНТАЛЬНО-РОТОРНОГО ПОДРІБНЮВАЧА ГІЛОК

*У статті представлено результати розроблення та визначення конструктивних розмірів робочого органа горизонтально-роторного подрібнювача гілок. Критеріями до вибору форми робочого органа та розрахунку його основних розмірів виступали зниження затрат потужності на подолання опору повітря під час подрібнення гілок, збільшення ресурсу його роботи та здатність перерубувати гілки діаметром до 30 мм за швидкості руху робочого органа від 30 м/с, а також зрівноваження молотка на удар, яке необхідне для забезпечення довговічності роботи привідного вала подрібнювача.*

*Аналіз попередніх досліджень показав, що для подрібнення гілок використовують в основному шарнірно закріплені молотки лопатевої форми. Ці молотки мають достатню масу для перерубування гілок, але їхнім недоліком є наявність лише однієї робочої грані та підвищені вимоги до потужності на їхній привід шляхом підвищеного опору повітря.*

*Запропоновано конструкцію робочого органа, який має дві робочі грані, для збільшення ресурсу його роботи. А елементи, з яких складається молоток, мають менші, ніж у лопатевих молотків, площі поперечних перерізів щодо напрямку руху молотка та менші коефіцієнти обтікання. Оскільки дані фактори мають прямо пропорційний вплив на величину лобового опору молотка, то і загальний опір повітрю розробленого робочого органа буде знижено.*

*З урахуванням умов зрівноваження молотка на удар та умов забезпечення перерубування гілок у статті розраховано основні розміри молотка загалом та його конструктивних елементів зокрема, а саме: робоча ширина – 80 мм, загальна висота – 99,5 мм, товщина бокових граней та бойка – 10 мм, зовнішній радіус тримача – 16,5 мм, висота противаги – 16,5 мм, відстань від осі підвісу молотка до лінії дії ударного імпульсу на бойку – 88 мм. Відповідно до розрахованих розмірів маса молотка становитиме 1,39 кг.*

**Ключові слова:** подрібнення гілок, молоток, зрівноваження на удар, опір повітря, момент інерції молотка.

**Постановка проблеми.** Основним елементом машин, робота яких пов'язана з подрібненням матеріалів, є робочий орган, який безпосередньо взаємодіє з оброблюваним матеріалом і здійснює розділення його на частинки. Критеріями для розроблення або вибору робочих органів слугують якісні та енергетичні показники роботи машини під час подрібнення матеріалу. Окрім фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, на значення цих показників впливають форма робочих органів, матеріал їхнього виготовлення, спосіб подрібнення ними матеріалу, спосіб кріплення несучої частини, кінематичні режими роботи тощо.

Гілки дерев і кущів є анізотропним матеріалом, і під час їх подрібнення використовується в основному спосіб руйнування різання-рубання. У начіпних машинах молотки або ножі розміщуються на вертикальному або горизонтальному валах і можуть мати жорстке або шарнірне кріплення. Під час подрібнення валка обрізаних гілок чи кущових насаджень відбувається підпірне або безпідпірне подрібнення, і, щоб досягнути необхідного результату, швидкість руху робочих органів повинна сягати 30–50 м/с. Робота на таких швидкостях призводить до виникнення опору повітря, на подолання якого витрачається додаткова енергія. У подрібнювачах із вертикальною

віссю обертання молотки виконані переважно у формі горизонтально-орієнтованих пластин, тож у них менш виражений цей опір. А в подрібнювачах із горизонтальним валом обертання молотки виконані переважно у формі лопаті, що сприяє підвищеному опору повітря. Ще однією перевагою прямокутних молотків подрібнювачів із вертикальною віссю обертання є збільшений ресурс їхньої роботи, адже вони мають дві робочі кромки, і під час затуплення однієї кромки молоток розвертається іншою стороною. Лопатеві молотки мають лише одну робочу кромку.

Кріплення робочих органів у подрібнювачах переважно шарнірне – для запобігання поломок. Тому ще однією умовою для подрібнення гілок є достатня маса молотка. Лопатева форма молотків дає змогу надати достатньої маси молоткам, порівняно, наприклад, з пластинчастими загнутими чи Y-подібними ножами, як у подрібнювачів рослинних залишків зернових культур. Також лопатевими молотками краще транспортувати подрібнену масу, якщо це передбачено технологією.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Удосконалення робочих органів подрібнювачів гілок висвітлено в різних наукових дослідженнях. Наприклад, у джерелі [1, с. 29] проведено детальний огляд машин та їхніх робочих органів для подрібнення рослинних залишків. У роботі [2, с. 11] наведено робочі органи машин для знищення деревної рослинності під час культуртехнічних робіт. А в роботі [3, с. 3] наведено машини та їхні робочі органи під час збирання енергетичних культур. У статті [4, с. 63] виконано порівняння роботи подрібнювачів із горизонтальною віссю обертання з двома різними робочими органами під час знищення насаджень ананасів. При цьому визначено, що потужність на ВВП трактора, залежно від швидкості обертання ротора та швидкості руху агрегату, для двохелементних пластинчастих загнутих ножів є меншою до 21%, ніж для трьохелементних ножів. Дослідженню опору повітря робочих органів мульчувача залежно від висоти встановлення над поверхнею поля також присвячена робота [5, с. 669]. У статті [6, с. 129] запропоновано нові робочі органи для подрібнення стеблових кормів.

Удосконалені робочі органи подрібнювачів також представлені і в патентах. Але конструкції цих робочих органів не завжди відповідають умовам роботи з гілками дерев і кущів: вони можуть працювати тільки з рослинними рештками [7], або мають жорстке кріплення робочих органів [8], або форма лез ножів не буде сприяти якісному перерізанню гілок [9].

Тому обґрунтування параметрів молотків подрібнювачів гілок із горизонтальною віссю обертання, які б мали зменшений опір повітря та збільшений ресурс роботи, є актуальними.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення та визначення конструктивних розмірів молотків горизонтально-роторних подрібнювачів гілок зі збільшеним ресурсом використання та зменшеним опором повітря, які забезпечать умови перерубування гілок за відсутності передачі ударних імпульсів на вісь підвісу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для досягнення поставленої мети пропонується молоток (рис. 1) з бойком 6 у вигляді прямокутника, бокові грані молотка 2, 5 прикріплені до тримача 3 молотка з противагою 4. Тримач, у свою чергу, шарнірно приєднується до обертового горизонтально-розміщеного вала. Бокові грані та бойок молотка виконані з суцільного металу – для надання йому достатньої ваги під час перерізування-перерубування гілок. Бойок є загостреним із двох робочих сторін 1. Це дасть змогу подовжити термін роботи молотка під час подрібнення гілок, адже під час зниження його гостроти, наприклад під час співударання з предметом підвищеної твердості (камінь, метал), досить буде лише повернути його на 180°, після чого роботу можна буде продовжити з використанням другої різальної кромки. Грані, які розміщені на площині обертання, молотка відсутні.

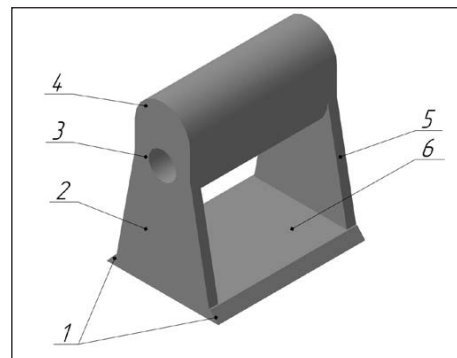


Рис. 1. Пропонована конструкція молотка подрібнювача гілок

Відомо, що форма молотків має вплив на силу лобового опору повітря через площу поперечного перерізу молотків  $S$  і коефіцієнт обтікання тіл  $C$ .

Силу лобового опору повітря для тіл обертання в загальному вигляді визначають за такою формулою:

$$F_a = C \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot R^2 \cdot \omega^2}{2}, \quad (1)$$

де  $C$  – коефіцієнт опору, який залежить від форми тіла;  $S$  – площа поперечного перерізу тіла,  $m^2$ ;  $\rho$  – щільність повітря,  $kg/m^3$ ;  $R$  – радіус обертання молотків,  $m$ ;  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $rad/s$ .

Площа поперечного перерізу тіл  $S$  має прямо пропорційний вплив на силу опору повітря, а коефіцієнт обтікання  $C$  – це безрозмірна величина, яка визначає реакцію повітря на рух тіла в ньому. Лопатеві молотки мають форму або пластини або напівциліндра і розміщені впоперек повітряного потоку. Вони мають коефіцієнт обтікання 1,2 та 2,3 відповідно [10, с. 72; 11, с. 3–17]. Згідно з формулою (1), щоб зменшити силу лобового опору, необхідно зменшити площу лобового опору та вибирати форму молотків із найменшим коефіцієнтом обтікання. Пропонована форма молотків передбачає зменшення площі лобового опору через відмову від елементів, які мають велику площу поперечного перерізу до напрямку руху повітря та зниження коефіцієнта обтікання; для пластин, з яких складається розроблений молоток і які розміщені вздовж потоку повітря, значення цього коефіцієнта становить 0,05. Це забезпечить зниження опору повітря під час руху молотків і значно зменшить витрати енергії на привід такого ротаційного робочого органа.

Для забезпечення підпального та безпідпального перерубування-перерізування гілок діаметром до 30 мм за швидкості руху від 32 м/с молоток повинен мати масу до 1,4 кг [12, с. 161]. При цьому він також повинен бути зрівноваженим на удар для уникнення передавання ударних імпульсів на підшипники осі підвісу ротора.

Умови зрівноваження молотка на удар такі [13, с. 145]: лінія ударного імпульсу повинна бути перпендикулярною до площини, яка містить центр мас молотка і вісь його шарніра, лінія дії ударного імпульсу повинна бути на відстані  $l_i$  (рис. 2) від осі обертання. Ця відстань визначається таким рівнянням:

$$l_i = \frac{J_{zz}}{M \cdot C}, \quad (2)$$

де  $J_{zz}$  – момент інерції молотка щодо осі підвісу,  $kg \cdot m^2$ ;  $C$  – відстань від центру ваги молотка до осі підвісу,  $m$ ;  $M$  – маса молотка,  $kg$ ;

$$M = V \cdot \rho, \quad (3)$$

де  $V$  – об’єм молотка,  $m^3$ ;  $\rho$  – питома маса матеріалу, з якого виготовлено молоток,  $kg/m^3$ .

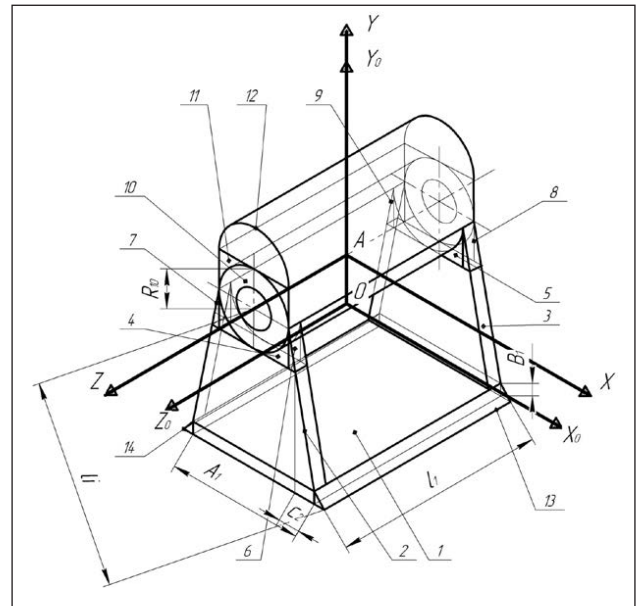


Рис. 2. Розрахункова схема молотка

Для визначення складників формули 2 скористаємось методикою, описаною у джерелі [14, с. 89].

Розіб’ємо молоток на прості елементи (рис. 2), для яких можна визначити об’єм, моменти інерції та центр маси: паралелепіпед 1; трапеції 2 і 3; елементи циліндра 4, 5, 11, 12; трикутники 6, 7, 8, 9, 13 і 14 та пустотілий циліндр 10.

За систему відліку візьмемо прямокутну систему координат  $AXYZ$ , початок якої розміщено посередині молотка на осі підвісу. Вісь  $XX$  направлена по осі симетрії тіла, а вісь  $ZZ$  збігається з віссю обертання молотка. У центрі ваги молотка розмістимо осі  $OZ_0Y_0X_0$  з центром  $O$ . У цьому випадку координатна площина  $XAY$  стає площиною симетрії, тому координати центра мас по осі  $YY$  рівні нулю, тобто  $z_0=0$ .

Для кожного з виділених елементів молотка необхідно визначити об’єм  $V_i$ , координати центрів мас щодо їхньої основи  $(x_0, y_0)_i$ , а також геометричні моменти інерції  $I_{(y_0Oz_0)I}$  та  $I_{(z_0Ox_0)I}$  щодо площин центральної системи  $(OX_0Y_0Z_0)_i$  кожного елемента. Осі цих елементів повинні бути паралельними або збігатися з координатними осями загальної вибраної системи координат  $AXYZ$ . Для полегшення розрахунків у проміжних формулах використовується так званий геометричний момент інерції, тобто замість маси тіла використовується об’єм. А в кінці він множиться на питому масу матеріалу виготовлення молотка відповідно до формули (3).

Об’єм молотка становить:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i, \quad (4)$$



де  $V_i$  – об’єми елементів молотка.

Момент інерції молотка щодо осі підвісу знаходиться за формулою:

$$J_{zz} = J_{z_0z_0} + M \cdot C^2, \quad (5)$$

де  $J_{z_0z_0}$  – момент інерції молотка щодо його центру ваги,  $C$  – відстань від центру ваги молотка до його осі підвісу, м;

$$C = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}, \quad (6)$$

де  $x_{0i}, y_{0i}$  – координати центра ваги молотка,  $M_i$  – маса  $i$ -го елемента, кг;

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot y_{0i}}{M}; x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot x_{0i}}{M}, \quad (7)$$

де  $x_{0i}$  та  $y_{0i}$  – координати центра ваги  $i$ -го елемента щодо площин загальної системи координат:

$$x_{0i} = l_{xi} + x'_{0i}, y_{0i} = l_{yi} + y'_{0i}, \quad (8)$$

де  $l_{xi}$  та  $l_{yi}$  – відстань між осями загальної системи координат і власних систем координат елементів;  $x'_{0i}$  та  $y'_{0i}$  – координати центрів ваги

елементів молотка щодо їхніх власних систем координат.

У нашому випадку  $C = |y_0|$ , оскільки молоток є симетричним щодо осі  $xx$ .

Визначимо момент інерції молотка щодо його центру ваги:

$$J_{z_0z_0} = J_{y_0z_0} + J_{z_0x_0}, \quad (9)$$

де  $J_{y_0z_0}$  та  $J_{z_0x_0}$  – моменти інерції молотка щодо центральних площин  $Y_0OZ_0$  та  $Z_0OX_0$ .

$$J_{y_0z_0} = \sum_{i=1}^n J(y_0z_0)_i + \sum_{i=1}^n M_i \cdot x_{0i}^2 - M \cdot x_0^2, \quad (10)$$

$$J_{z_0x_0} = \sum_{i=1}^n J(z_0x_0)_i + \sum_{i=1}^n M_i \cdot y_{0i}^2 - M \cdot y_0^2, \quad (11)$$

Формули для визначення об’ємів, координат центрів ваги щодо основ елементів, відстаней між осями загальної системи координат і власних систем координат елементів, а також моментів інерції щодо центральних площин елементів молотка відповідно до [14, с. 400] наведено в таблиці 1.

У формулах (табл. 1)  $R_i, A_i, B_i, l_i$  – це радіус, ширина, висота та довжина елементів відповідно,

Таблиця 1

Формули для визначення параметрів елементів молотка

№ елем.	$V_i =$	$y'_{0i} =$	$l_{yi} =$	$J_{(y_0z_0)_i} =$	$J_{(y_0x_0)_i} =$
1	$A_1 \cdot B_1 \cdot l_1$	$0,5 \cdot B_1$	$B_2 + R_{10}$	$0,08333 \cdot M_1 \cdot A_1^2$	$0,08333 \cdot M_1 \cdot B_1^2$
2, 3	$B_2 \cdot l_2 \cdot (A_2 + c_2)$	$\frac{1}{6} \cdot B_2 \cdot (3 - \frac{c_2}{A_2 - c_2})$	$(B_2 - y'_2) + R_{10}$	$\frac{1}{12} \cdot M_2 \times$ $\times ((A_2 + c_2)^2 + c_2^2)$	$\frac{1}{36} \cdot M_2 \cdot B_2^2 \times$ $\times \left( 3 - \frac{c_2^2}{(A_2 + c_2)^2} \right)$
4, 5	$0,42920 \cdot R_4^2 \cdot l_4$	$0,77663 \cdot R_4$	0	$0,63832 \cdot M_4 \cdot R_4^2$	$0,03516 \cdot M_4 \cdot R_4^2$
6, 7, 8, 9	$0,5 \cdot A_6 \cdot B_6 \cdot l_6$	$\frac{1}{3} \cdot B_6$	$B_6 - y'_6$	$0,05556 \cdot M_6 \cdot A_6^2$	$0,05556 \cdot M_6 \cdot B_6^2$
10	$\pi \cdot l_{10} \cdot (R_{10}^2 - r_{10}^2)$	$0,77663 \cdot R_{10}$	0	$\frac{1}{4} \cdot M_{10} \cdot (R_{10}^2 + r_{10}^2)$	$\frac{1}{4} \cdot M_{10} \cdot (R_{10}^2 + r_{10}^2)$
11	$0,42920 \cdot R_{11}^2 \cdot l_{11}$	$0,77663 \cdot R_{11}$	0	$0,63832 \cdot M_{11} \cdot R_{11}^2$	$0,03516 \cdot M_{11} \cdot R_{11}^2$
12	$1,57080 \cdot R_{12}^2 \cdot l_4$	$0,57559 \cdot R_{12}$	$R_{10} + R_{12}$	$\frac{1}{4} \cdot M_{12} \cdot R_{12}^2$	$0,06987 \cdot M_{12} \cdot R_{12}^2$
13, 14	$0,5 \cdot A_{13} \cdot B_{13} \cdot l_{13}$	$\frac{1}{3} \cdot B_{13}$	$R_{10} + B_2 + \frac{2}{3} B_1$	$0,05556 \cdot M_{13} \cdot A_{13}^2$	$0,05556 \cdot M_{13} \cdot B_{13}^2$

причому  $R_4=R_{10}=R_{11}=R_{12}=B_6$ ,  $r_{10}$  – радіус осі підвісу, приймаємо  $r_{10}=7$  мм,  $l_1=l_{10}=l_{11}=l_{12}=l_{13}=l_{14}$  – конструктивна ширина захвату молотка, знаходиться як [15, с. 101]:  $l_1 = d_{\max} + (30 - 50)$  мм ( $d_{\max}=30$  мм – максимальний діаметр гілок), ширину захвату молотка приймаємо  $l_1=80$  мм. Для забезпечення необхідної маси молотка товщину бойка  $B_1$  та товщину боковин  $l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9$  приймаємо рівними 10 мм. З технологічних міркувань приймаємо  $B_2=40$  мм,  $A_1=40$  мм. Інші розміри елементів молотка визначаються за такими формулами:

$$A_6 = \frac{R_{10} \cdot (0,5 \cdot A_1 - R_{10})}{B_2 + R_{10}}, \quad c_2 = 0,5 \cdot A_1 - R_{10} - A_6,$$

$$A_2 = A_1 + 2 \cdot c_2, \quad A_{13} = A_{14} = \frac{B_1}{\tan \alpha},$$

де  $c_2$  – елемент трапеції 2 (рис. 2);  $\alpha$  – кут загошення бойка молотка, приймаємо  $\alpha=30^\circ$  [12, с. 49].

Координати  $x_{oi}$  центра мас  $i$ -го елемента щодо площин загальної системи координат для елементів 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12 дорівнюють нулю, оскільки вони лежать у площині  $ZOY$  загальної системи координат, а для елементів 6, 7, 8, 9, 13 та 14 відстань від їхніх центрів мас до цієї площини визначаються так:

$$x_{06} = x_{08} = \frac{1}{3} \cdot A_6 + R_{10}, \quad x_{07} = x_{09} = -\left(\frac{1}{3} \cdot A_7 + R_{10}\right),$$

$$x_{013} = \frac{1}{3} \cdot A_{13} + \frac{1}{2} \cdot A_1, \quad x_{014} = -\left(\frac{1}{3} \cdot A_{14} + \frac{1}{2} \cdot A_1\right).$$

Також відповідно до схеми (рис. 2) відстань від осі шарніру до лінії ударного імпульсу буде відповідати:

$$l_i = \sqrt{(R_{10} + B_2 + B_1)^2 + (A_1 + A_{13})^2}. \quad (12)$$

Ще однією умовою для визначення геометричних параметрів молотка є його маса, яка визначається за формулою (3).

Отже, відповідно до заданих умов і за використання вже відомих значень розмірів молотка було розв'язано систему рівнянь із рівнянь 2, 3 та 12 щодо розміру  $R_{10}$ . Це дало можливість визначити невідомі розміри складників молотка, пов'язані з  $R_{10}$  ( $R_{10}=16,5$  мм). Отримані внаслідок розрахунків розміри молотка забезпечують необхідні відстань  $l_i$  та масу  $M$  ( $l_i=88$  мм,  $M=1,39$  кг).

**Висновки.** Відповідно до поставленої мети розроблено молоток для подрібнення гілок, який:

- має зменшений лобовий опір повітря завдяки зменшенню площі молотка в площині обертання та вибору елементів молотка зі зменшеним коефіцієнтом обтікання;
- має збільшений ресурс роботи завдяки додатковій робочій грані.

Обґрунтовані конструктивні параметри розробленого молотка забезпечують умови перерубування гілок і зрівноваження молотка на удар:

- отримані внаслідок розрахунків розміри молотка: робоча ширина – 80 мм, загальна висота – 99,5 мм, товщина бокових граней і бойка – 10 мм, зовнішній радіус тримача – 16,5 мм, висота противаги – 16,5 мм. При цьому його маса становитиме  $M=1,39$  кг, що забезпечить можливість подрібнення гілок діаметром до 30 мм за швидкості його руху від 30 м/с;

– відстань від лінії удару до осі підвісу молотка  $l_i=88$  мм забезпечить зрівноваження молотка на удар під час подрібнення гілок.

Застосування молотка запропонованої конструкції в машинах для подрібнення обрізаних гілок у міжряддях саду чи в машинах для знищення кущів дасть змогу подовжити строк служби робочих органів і зменшити загальні енерговитрати на процес.

#### Список літератури:

1. Говоров О.Ф. Машины для скошування і подрібнення рослин або їх решток і розподілення подрібнених частинок по поверхні ґрунту. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2010. Вип. 94. С. 29–48.
2. Windell K., Bradshaw S. Understory biomass reduction methods and equipment catalog. Missoula, MT : U.S Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center, 2000. 156 p.
3. Lechasseur G., Savoie P. Cutting bundling and chipping short rotation willow. *The Canadian society for engineering in agricultural, food, and biological systems*. 2005. 11 p.
4. Power demand of a flail mower during pineapple field demolition / J.S. Pérez de Corcho Fuentes et al. *Ciencia Investigacion Agraria*. 2009. No. 36 (1). P. 59–68.
5. Air flow conditions in workspace of mulcher / Ćedik J. et. al. *Agronomy Research*. 2018. No. 16 (3). P. 669–678.
6. Брагінец Н.В., Вертий А.А. Экспериментальные исследования процесса измельчения грубых и стельчатых кормов измельчителем с комбинированными ножами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. Вип. 45. Ч. II. С. 129–134.

7. Ніж різального апарата з горизонтальною віссю обертання для скошування та подрібнення рослин: пат. на корисну модель 77289 Україна: МПК А01D 34/42. № u 2012 08524; заявл. 10.07.2012 ; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.
8. Brush cutter: pat. US 6,764,035 B2: МПК В02С 18/16. № 10/159,045; Filed. Jun- 3, 2002; Prior Publication Data. US 2003/0222164 A1 Dec. 4, 2003.
9. Rotor for land clearing device: pat. US 5,642,765 A: МПК А01G 23/08. № 648,623; Filed. May- 16, 1996; Date of patent. Jul. 1, 1997.
10. Королев Е.В., Жамалов Р.Р. Аэродинамическое сопротивление плохо обтекаемых тел. *Вестник НГИЭИ*. 2011. № 1(2). Т. 2. С. 61–77.
11. Hoerner S.F. Fluid-dynamic Drag. Published by the author, 1965. 455 p.
12. Сарана В.В., Кравченко В.В., Войтик А.В. Машины для утилізації плодової деревини в інтенсивних садах та кущових ягідниках : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2015. 203 с.
13. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. Машины та обладнання для тваринництва : підручник. Київ : Кондор, 2016. 731 с.
14. Фаворин М.В. Моменты инерции тел : справочник. Москва : Машиностроение, 1970. 312 с.
15. Заїка Л.М. Теорія сільськогосподарських машин : навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. тех. Харків : Око, 2003. Т. 2. Ч. 1: Машины для заготівлі кормів. 360 с.

**Kravchenko V.V., Voitik A.V., Oliadnichuk R.V., Kovalchuk Y.O.**

### **HAMMER OF HORIZONTAL-ROTORY CHOPPER OF BRANCHES**

*There are the results of development and determination sizes the horizontal-rotary branch grinder's working body. The reducing of the power for air resisting with branch grinding, increasing of the work resource and a possibility to cut the 30 mm branches with 30 m/s work body's speed were the criterions of the choice by a work body's shape and it's the size's counties. Also, for the shredder drive shaft's longevity it needs the hammer balancing.*

*Analysis of previous researches shows that the swing joint hammers for the brunch grinding have a plate shape. These hummers have enough weight for the brunch cutting but they also have the disadvantage – only one working side for brunch grinding and increased requirements of the driving power for the overcome of the increased air resistance.*

*It is proposed the construction of working body, which is having two working sides for increasing his working resource. And the elements of this hummer have smaller the cross-sectional area relative to the direction of hummer's travel then plate hummers and less flow coefficients. Since these factors have a pro-proportional effect on the magnitude of the hammer frontal resistance, the overall air resistance of the designed working body will be reduced.*

*Using the conditions of equilibrium of the hammer for impact and the conditions of securing the cutting of branches, the article was calculated the basic dimensions of the hammer as a whole and its structural elements, namely: working width of 80 mm, total height of 99.5 mm, thickness of lateral faces and bump 10 mm, outer radius holder 16.5 mm, counterbalance height 16.5 mm, distance from the axis of the suspension of the hammer to the line of action of the impulse to the 88 mm dash. According to the calculated dimensions, the weight of the hammer will be 1.39 kg.*

**Key words:** *crushing of branches, hammer, equilibrium on impact, air resistance, moment of inertia of hammer.*

**Лапто І.М.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

**Добришкін Ю.М.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

**Геращенко М.О.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

**Приходько С.М.**

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ СТАН У ЗОНІ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОМБІНОВАНИМ ОСЬОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ**

*Актуальність вивчення теплофізичних процесів механічної обробки зумовлена тим, що теплота, яка виділилась під час роботи різання, значною мірою визначає навантаження на різальний інструмент, його стійкість, а також якість і точність розмірів оброблюваних поверхонь. Тому дослідження робочих процесів у зоні різання під час обробки отворів і розроблення на цій основі практичних рекомендацій щодо підвищення точності обробки отворів з урахуванням особливостей тепловиділення в зоні різання є важливим науково-практичним завданням у галузі обробки різанням.*

***Мета дослідження.** Для вирішення проблеми підвищення точності обробки отворів осьовим інструментом необхідно провести комплексні дослідження робочих процесів у зоні різання за чистової обробки отворів із метою створення нових способів оброблення, які дадуть змогу забезпечити підвищення точності профілю отвору.*

***Методи дослідження** базуються на методах чисельного моделювання, сучасній теорії різання, теплофізики. Експериментальні дослідження виконувались із використанням теорії статистичної обробки даних і сучасної виміральної апаратури.*

***Результати.** Розроблено алгоритм і чисельну математичну теплову модель поширення температурних полів у поперечному та повздовжньому перерізах осесиметричної деталі під час обробки отворів двоступінчастим осьовим інструментом з урахуванням особливостей тепловиділення в зоні різання.*

***Висновки.** В результаті проведених досліджень було розроблено алгоритм і чисельну математичну модель поширення температурних полів у перерізі осесиметричної деталі під час обробки отворів двоступінчастим осьовим інструментом.*

*Встановлено, що вплив тепловиділення на першому ступені на температуру в зоні різання другого ступеня має виражений нелінійний характер на початку і в кінці отвору, що може суттєво впливати на точність отворів.*

*Розроблена модель поширення температурних полів у поперечному перерізі деталі під час обробки отворів двоступінчастим осьовим інструментом є основою для створення комплексної моделі розвитку теплових процесів, в якій необхідно врахувати поширення теплоти в інструменті та вторинний перерозподіл теплоти між інструментом і деталлю.*

***Ключові слова:** отвір, комбінований інструмент, теплові потоки, точність обробки, зона різання.*

**Постановка проблеми.** Розвиток високих технологій сприяє зростанню вимог до точності механічної обробки різанням. Особливо важливим є завдання підвищення точності чистової обробки отворів осьовим інструментом, оскільки однією з основних причин обмеження режимів різання при цьому є негативний вплив теплових процесів

у зоні різання. Загально визнаним методом підвищення точності чистової обробки отворів осьовим інструментом є суміщення декількох операцій обробки в комбінованому осьовому інструменті. Однак при цьому неможливо уникнути взаємного впливу тепловиділення в зоні різання на температурний стан сусідніх ступенів, що призводить



до зниження точності обробки і, як наслідок, зниження ефективності суміщення операцій.

Вирішити цю проблему можливо шляхом управління параметрами робочих процесів і конструкцією комбінованого осьового інструмента, при цьому необхідно знати функціональні залежності між різними параметрами робочих процесів, геометрією осьового інструмента та температурним станом у зоні різання. Рішення цього завдання можливе шляхом розроблення комплексної математичної моделі обробки отворів комбінованим осьовим інструментом [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фундамент науки, яка займається вивченням теплових явищ у технологічних системах механічної обробки, закладений ученими А.Н. Резніковим, А.М. Даніеляном, С.С. Силіним, П.І. Ящерициним, О.М. Тихонцовим, А.В. Якимовим, А.В. Усовим. Було запропоновано аналітичні формули для визначення температур і температурних розподілів для різних видів механічної обробки за визначених умов. Серед робіт, присвячених дослідженню температурного стану під час обробки отворів, відомі роботи А.В. Баранова, І.А. Малишка, Г.І. Грановського, П.А. Юдковського, О.Г. Татьянченка. Ґрунтовні теоретичні та експериментальні дослідження теплових явищ під час різання виконано А.Н. Резніковим, Н.В. Талантовим, А.А. Рижкіним, А.М. Вульфом тощо. У роботах А.Н. Резнікова наведено класифікацію джерел і стоків теплоти, які утворюються внаслідок переходу в теплоту енергії деформації оброблюваного матеріалу, роботи тертя на контактних поверхнях різального інструмента; уперше було розглянуто питання негативного впливу високих температур на точність обробки отворів [2; 3]. Цей напрям дослідження було продовжено у роботах [4; 5]. Однак у цих роботах процес виникнення джерел тепла та розподілення потоків і стоків теплоти не враховує вторинного перерозподілу потоків теплоти від впливу процесу тертя ковзання по передній та задній поверхнях різального інструмента. Вирішення проблеми первинного розподілу та вторинного перерозподілу теплових потоків під час обробки отворів осьовим інструментом висвітлено в роботах [6–9].

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що більшість наукових праць цього напрямку присвячена дослідженню теплофізики процесу ортогонального різання інструментом типу плоского клину. Але на теоретичному матеріалі та методах дослідження, які викладено в цих роботах, можуть базуватися більш складні завдання, а

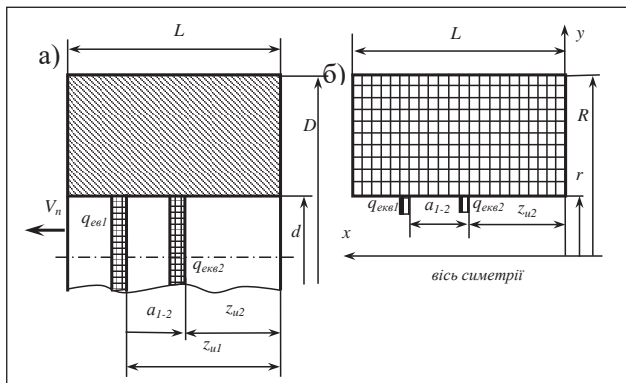
саме: механічна обробка отворів осьовим комбінованим інструментом.

**Постановка завдання.** Для вирішення проблеми підвищення точності обробки отворів осьовим комбінованим інструментом необхідно провести комплексні дослідження робочих процесів у зоні різання під час чистової обробки отворів із метою розроблення математичної моделі розвитку теплових процесів і виявлення на її основі особливостей впливу теплових потоків на температурний стан у зоні різання другого ступеня комбінованого осьового інструмента.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час обробки отворів комбінованим інструментом теплові джерела здійснюють обертальний рух щодо повздовжньої осі отвору й поступальний рух поверхнею отвору. Обертальний рух здійснюється зі швидкістю різання  $V$ , поступальний рух здійснюється зі швидкістю подачі  $V_n$  для осьових інструментів  $V \gg V_n$ . Тому за теплового розрахунку традиційною є заміна дискретних теплових рухомих джерел на кожному зубі кільцевим тепловим джерелом, що рухається зі швидкістю  $V_n$  вздовж осі отвору [10].

Особливістю теплофізичних досліджень комбінованого осьового інструмента є взаємний вплив теплових джерел на різних ступенях. Зазвичай в комбінованому інструменті наступні ступені забезпечують більш якісну обробку поверхні. Тому найбільший інтерес становить дослідження впливу теплового джерела від попередніх ступенів на температурний стан на наступних ступенях.

Для оцінки впливу сусіднього теплового джерела було проведено числові дослідження на основі методу кінцевих елементів температурного стану в повздовжньому перерізі деталі типу циліндричної втулки довжиною  $L$ , зовнішнім діаметром  $D$  і діаметром отвору  $d$  під час чистової обробки отвору комбінованим осьовим інструментом. У розрахункових кінцево-елементних моделях важливим є питання адекватності отриманих результатів внаслідок заміни суцільного масиву деталі дискретними кінцевими елементами й нелінійності теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу. Це дало змогу перейти від об'ємної моделі деталі до плоскої осесиметричної, що, у свою чергу, допомогло спростити розрахункову схему та підвищити точність розрахунків. Розрахункова схема теплового навантаження втулки двома кільцевими тепловими джерелами інтенсивністю  $q_{екв1}$  і  $q_{екв2}$ , які рухаються по поверхні отвору зі швидкістю подачі  $V_n$  на відстані  $a_{1,2}$  один від одного, наведена на рис. 1.

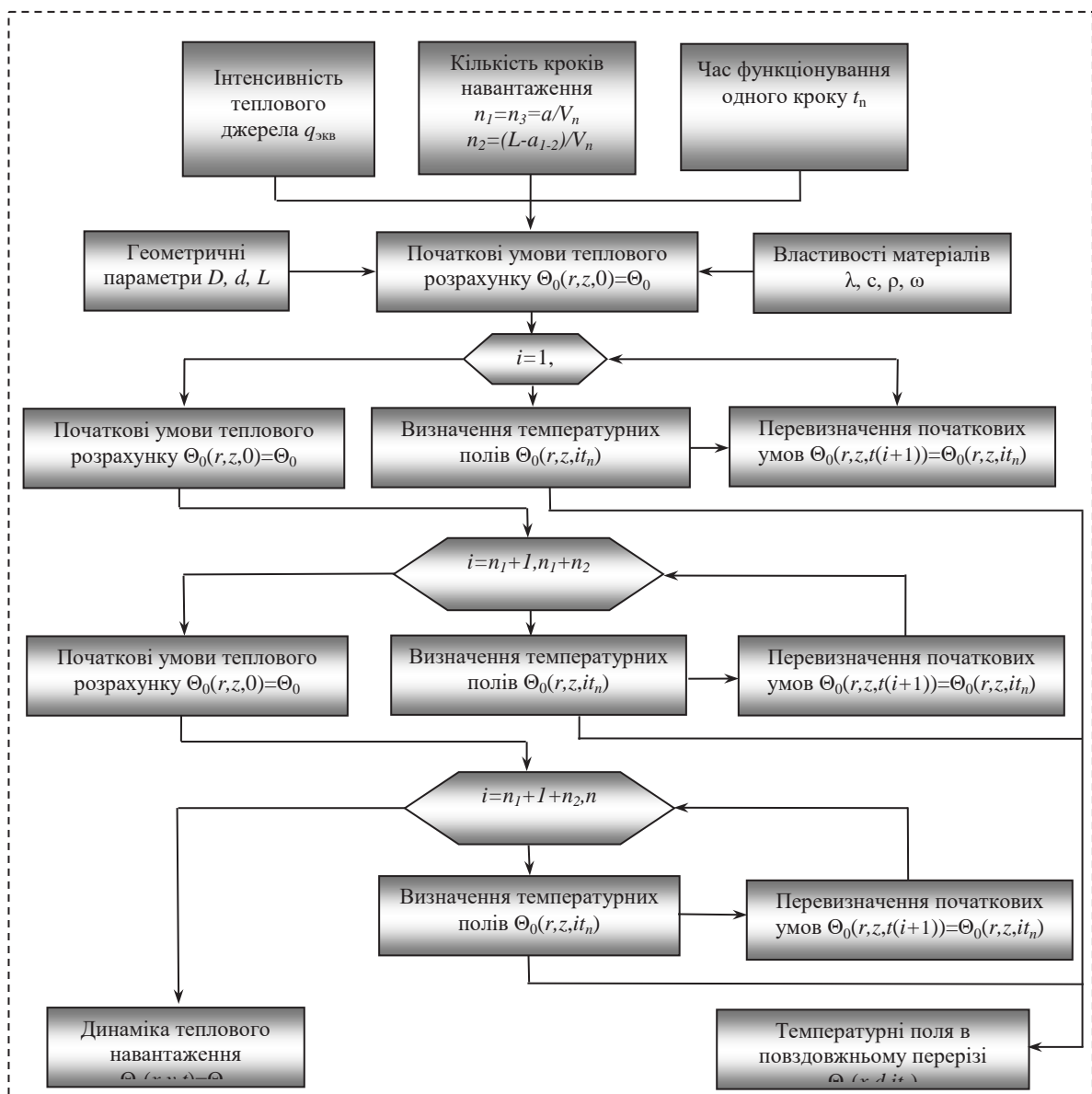


**Рис. 1.** Розрахункова схема теплового навантаження втулки під час обробки двоступінчастим осевим інструментом:  
 а) навантаження кільцевим тепловим джерелом;  
 б) плоска осесиметрична кінцево-елементна схема

Інтенсивність кільцевих теплових джерел  $q_{ekv1}$  і  $q_{ekv2}$  визначалась як  $q_{ekv} = \frac{Q_d \tan \phi}{\pi d t T}$ , де  $Q_d$  – загальна кількість теплоти, що поступає в деталь за час обробки отвору;  $T$  – загальний час обробки;  $t$  і  $\phi$  – глибина різання та головний кут у плані відповідно. Ширина кільцевих теплових джерел приймалася рівною  $l_{k1} = l_{k2} = t_2 / \tan \phi_2$ , де  $t_2$  і  $\phi_2$  – глибина різання та головний кут у плані для другого ступеня відповідно. Інтенсивність тепловиділення  $q_{ekv1}$  і  $q_{ekv2}$  була різною внаслідок різної геометрії різальної частини ступеня та глибини різання.

Блок-схема алгоритму дослідження температурних полів під час обробки двоступінчастим осевим інструментом наведена на рис. 2.

Встановлено [2], що під час визначення температури від дії двох одночасно діючих тепло-



**Рис. 2.** Блок-схема математичної моделі дослідження розподілу температурних полів у повздовжньому перерізі деталі від двох теплових джерел источника



вих джерел справедливий принцип суперпозиції. Отже, температурний стан у будь-який момент часу може бути визначений як сума температурних полів у цей час від дії двох теплових джерел:

$$\Theta = \Theta_1(r_1, z_1, t_1) + \Theta_2(r_2, z_2, t_2),$$

де  $\Theta_1(r_1, z_1, t)$ ,  $\Theta_2(r_2, z_2, t)$  – розподіл температур від першого та другого теплового джерела, при цьому  $r_1 = r_2 = r_u$ .

Зважаючи на те, що теплові джерела рознесені вздовж осі  $z$  на відстані  $a$ , що відповідає часу функціонування в заданому перерізі  $\Delta t = a/V_n$ , температуру в довільній точці в масштабі часу першого й другого теплового джерела  $t_1$  і  $t_2$  можна визначити як:

$$\Theta(r_u, z, t_1) = \Theta_1(r_u, z, t_1) + \Theta_2(r_u, z, t_1 - a / V_n),$$

$$\Theta(r_u, z, t_2) = \Theta_1(r_u, z, t_2 + a / V_n) + \Theta_2(r_u, z, t_2),$$

або:

$$\Theta(r_u, z, t_1) = \Theta_1(r_u, z, t_1) + \Delta\Theta_{1-2}(r_u, z, t_1),$$

$$\Theta(r_u, z, t_2) = \Delta\Theta_{2-1}(r_u, z, t_2) + \Theta_2(r_u, z, t_2),$$

де параметри:

$$\Delta\Theta_{1-2}(r_u, z, t_1) = \Theta_2(r_u, z, t_1 - a / V_n),$$

$$\Delta\Theta_{2-1}(r_u, z, t_2) = \Theta_1(r_u, z, t_2 + a / V_n)$$

враховують вплив сусіднього теплового джерела на температурне поле діючого теплового джерела [11].

Температура в зоні дії першого  $q_1$  та другого  $q_2$  теплового джерела в момент часу  $t_1$  і  $t_2$  відповідно буде дорівнювати:

$$\Theta(r_u, z_1, t_1) = \Theta_1(r_u, z_1, t_1) + \Delta\Theta_{1-2}(r_u, z_1, t_1),$$

$$\Theta(r_u, z_2, t_2) = \Delta\Theta_{2-1}(r_u, z_2, t_2) + \Theta_2(r_u, z_2, t_2).$$

З позицій точності обробки найбільший інтерес має характер зміни температури на контактній поверхні отвору  $\Theta(r_u, d / 2, t)$ .

Аналіз розрахунків показав, що приріст температури  $\Delta\Theta$  в зоні різання другого ступеня шляхом тепловиділення на першому ступені дуже істот-

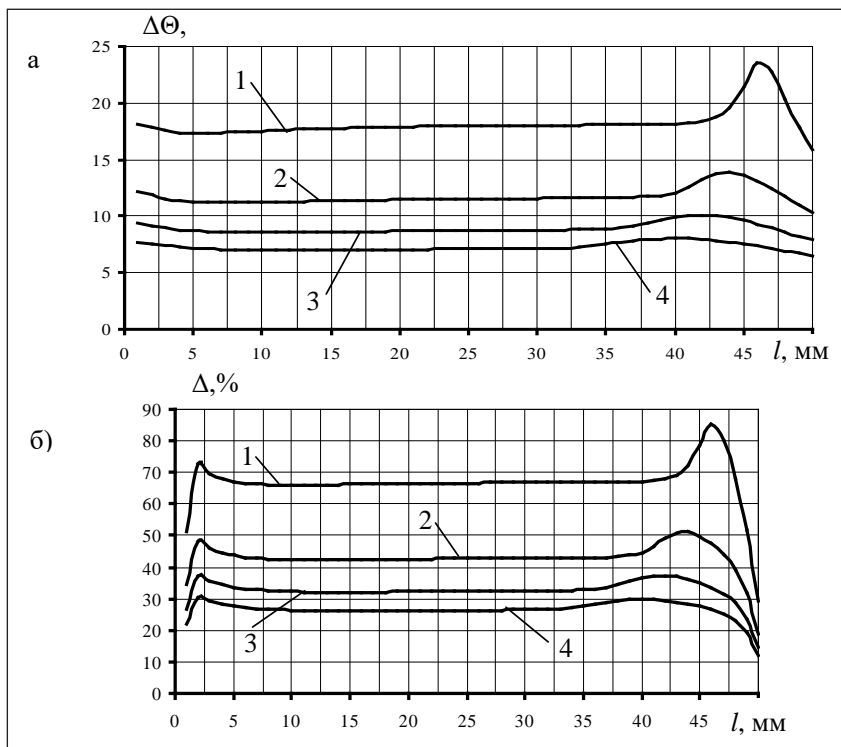


Рис. 3. Приріст температури  $\Delta\Theta$  (а) та його частка  $\Delta$  у загальній температурі (б) в зоні різання другого ступеня під час обробки двоступінчастою розверткою шляхом впливу першого ступеня: 1)  $a_{1-2}=5\text{мм}$ ; 2)  $a_{1-2}=10\text{мм}$ ; 3)  $a_{1-2}=15\text{мм}$ ; 4)  $a_{1-2}=20\text{мм}$

ний. При цьому як величина приросту, так і його частка в загальній температурі в зоні різання другого ступеня має виражений нелінійний характер на початку й в кінці отвору.

За результатами проведених розрахунків із використанням інтегральних переходів першого й третього типу на підставі методу конструювання була отримана модель формування теплового балансу комбінованого осьового інструмента у вигляді:

$$Q_u = \frac{3,37 \cdot q \cdot \sqrt{\pi} \cdot D^2 \cdot d^2 \cdot l}{4(D-d) \cdot V} \cdot e^{\left[ \frac{V(D-d)}{2\omega} \right]},$$

де  $Q_u$  – кількість теплоти, яка перейшла в інструмент, Дж;  $q$  – об'ємна щільність тепловиділення внутрішніх джерел, Вт/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с;  $V$  – швидкість різання, м/хв;  $D$  – найбільший діаметр інструмента, мм;  $d$  – найменший діаметр інструмента, мм;  $l$  – глибина отвору, мм.

Було встановлено, що за тепловим джерелом, що рухається, температура практично постійна, а перед ним температура зменшується за експоненціальним законом тим більше, чим більша швидкість.

На рис. 3 наведено діаграми зміни параметра  $\Delta\Theta_{2-1} = \Delta\Theta$ , які отримано на основі досліджень, проведених із використанням розробленої моделі для різних видів двоступінчастого інструмента, та частку  $\Delta$  цього параметра в сумарній температурі в зоні різання у міру просування другого теплового джерела вздовж оброблюваного отвору. Ана-

ліз діаграм приросту температури в зоні різання другого ступеня показує, що найбільшого значення параметри  $\Delta\Theta_{2-1}$  і  $\Delta$  досягають на виході з отвору. При цьому зони екстремумів  $\Delta\Theta_{2-1}$  і  $\Delta$  не збігаються, що можна пояснити крайовими ефектами та різким підвищенням температури у міру наближення теплових джерел до краю отвору.

Аналіз отриманих результатів показав, що приріст температури  $\Delta\Theta$  в зоні різання другого ступеня шляхом тепловиділення на першому ступені досить суттєвий (може досягати 85 %) і може бути співставлений із температурою в цій зоні від дії теплових джерел другого ступеня, що може суттєво впливати на точність обробки отвору на другому ступені.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень було розроблено алгоритм і чисельну математичну модель поширення температурних полів у перерізі осесиметричної деталі під час обробки отворів двоступінчастим осьовим інструментом.

Встановлено, що вплив тепловиділення на першому ступені на температуру в зоні різання другого ступеня має виражений нелінійний характер на початку і в кінці отвору, що може суттєво впливати на точність отворів.

Розроблена модель поширення температурних полів у поперечному перерізі деталі під час обробки отворів двоступінчастим осьовим інструментом є основою для створення комплексної моделі розвитку теплових процесів, в якій необхідно врахувати поширення теплоти в інструменті та вторинний перерозподіл теплоти між інструментом і деталлю.

#### Список літератури:

1. Татьяначенко А.Г., Лаппо И.Н. Взаимное влияние тепловых потоков на температурное состояние при обработке отверстий комбинированным осевым инструментом. *Наукові праці Донецького технічного університету. Серія : Машинобудування і машинознавство*. 2014. № 1 (11). С. 116–125.
2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. Москва : Машиностроение, 1981. 279 с.
3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. Москва : Машиностроение. 1990. 288 с.
4. Юдковский П.А., Крючков Н.К., Шевель А.П. Повышение качества спиральных сверл. Челябинск : Южно-уральское книжное издательство, 1970. 112 с.
5. Якимов А.В., Слободяник П.Т., Усов А.В. Теплофизика механической обработки. Киев ; Одесса : Лыбидь, 1991. 240 с.
6. Малышко И.А., Киселева И.В. Влияние параметров инструмента на производительность ГПС. *Надійність інструмента та оптимізація технологічних систем* : зб. наук. пр. 2008. Вип. 23. С. 74–77.
7. Малышко И.А., Татьяначенко А.Г. Температурные деформации детали при обработке отверстий. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения* : междунар. сб. науч. тр. 2001. Вып. 17. С. 45–51.
8. Малышко И.А. Основы теории проектирования осевых комбинированных инструментов : автореф. дисс. ... докт. техн. Наук : 05.03.01. Киев, 1997. 36 с.
9. Малышко И.А., Татьяначенко А.Г. Моделирование процесса формирования продольного профиля отверстия с учетом термоупругих деформаций инструмента и детали при неустановившемся теплообмене. *Високі технології в машинобудуванні* : зб. наук. пр. / НТУ «ХП». 2002. С. 211–216.

10. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Жигалко Н.И. Основы резания материалов и режущий инструмент. Минск : «Высшейш. школа», 1975. 528 с.

11. Татьянченко А.Г. Теоретические основы прогнозирования термоупругих деформаций осевого инструмента и детали и их влияние на точность обработки отверстий : автореф. дисс. ... докт. техн. наук : 05.03.01 Донецк, 2006. 36 с.

**Lappo I.N., Dobryshkin Yu.N., Herashchenko M.A., Prykhodko S.N.**

### **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF HEAT FLOWS ON THE TEMPERATURE CONDITION IN THE CUTTING AREA DURING THE OPENING OF HOLES WITH COMBINED AXIAL TOOLS**

*The relevance of studying the thermophysical processes of machining is due to the fact that the heat released during the cutting operation largely determines the load on the cutting tool, his firmness and also quality and accuracy of the sizes of the processed surfaces. Therefore, research of work processes in the cutting area during the hole treatment and the development of practical recommendations on this basis to improve the accuracy of the hole treatment, taking into account the features of heat dissipation in the cutting zone is an important scientific and practical task in the field of cutting.*

*Research methods are based on the methods of numerical simulation, modern theory of cutting, and thermophysics. Experimental studies were performed using the theory of statistical data processing and modern measuring equipment.*

*Results. An algorithm and a numerical mathematical thermal model for the distribution of temperature fields in the cross-section and longitudinal section of an axisymmetric detail were developed during the processing of the openings with a two-stage axial tool, taking into account the features of the heat dissipation in the cutting zone.*

*Conclusions. As a result of the researches, an algorithm and a numerical mathematical model of the propagation of temperature fields in the cross section of an axisymmetric part during the processing of openings with a two-step axial tool were developed.*

*It is established that the influence of heat release on the first stage on the temperature in the cutting zone of the second stage has a pronounced nonlinear character at the beginning and at the end of the hole, which can significantly affect the accuracy of the holes.*

*The developed model of temperature field propagation in the cross-section of a detail during machining of openings with a two-stage axial tool is the basis for creation of a complex model of development of thermal processes, in which it is necessary to consider the heat distribution in the tool and the secondary redistribution of heat between the tool and the detail.*

**Key words:** hole, combined tool, thermal streams, machining accuracy, cutting area.

**Ребров О.Ю.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗДВОЮВАННЯ ТРАКТОРНИХ ШИН

*Один з відомих способів зменшити негативний ефект ущільнення ґрунту – це використання здвоєних тракторних шин. Слід зазначити, що здвоєння шин використовується лише для зниження максимального тиску на ґрунт, а не для збільшення тяги трактора. Особливо актуальною є проблема обґрунтування рівня тиску в шинах під час використання в одинарному та здвоєному варіантах, оскільки в обох випадках шина повинна бути максимально безпечною для навколишнього середовища.*

*Впровадження якісного обробітку ґрунту колісним трактором, особливо навесні, з виконанням агроєкологічних вимог вимагає значного зниження максимального тиску ґрунту, що зумовлює використання здвоєних шин. Найпростіший спосіб досягти цього – здвоїти штатні шини, якими обладнаний трактор, щоб знизити тиск на ґрунт до прийняттого рівня. Але ефективність такого рішення сумнівна, оскільки в такому разі, коли трактор працює з одинарними шинами, рівень його ущільнюючого впливу на ґрунт повинен бути занадто високим, що неприпустимо. З іншого боку, якщо трактор з одинарними шинами має досить прийнятний рівень тиску на ґрунт в літньо-осінній період, то ефективність здвоєння штатних шин для задоволення жорстких агроєкологічних вимог навесні є сумнівною.*

*З огляду на це у статті розглядається питання аналізу ефективності здвоєння саме штатних шин для виконання вимог агроєкології та зниження максимального тиску на ґрунт до прийняттого рівня. Ефективність використання здвоєних шин визначалася з урахуванням вимог і норм дії ходових систем на ґрунт, а також ґрунтово-кліматичних умов України. Встановлено низьку ефективність здвоєння штатних шин, якими обладнаний трактор. Для здвоєння рекомендується використовувати інший комплект шин, які можуть експлуатуватися при зниженому внутрішньому тиску (0,4 бар), що забезпечить кращі показники максимального тиску на ґрунт. Такі шини повинні бути обрані для використання при мінімально допустимому внутрішньому тиску (0,4 бар). Сьогодні найкращі зразки тракторних шин можна використовувати на двох третинах території України без порушення агроєкологічних вимог, а у разі здвоєного застосування – на 86–87%, що свідчить про необхідність використання гусеничних тракторів або змінних гусеничних рушіїв під час весняних польових робіт.*

**Ключові слова:** колісний трактор, тракторна шина, здвоювання шин, максимальний тиск на ґрунт, допустимий тиск на ґрунт.

**Постановка проблеми.** Висока врожайність сільськогосподарських культур та ефективність сільськогосподарського виробництва можливі у разі зниження негативного впливу колісних ходових систем на ґрунт та жорсткого дотримання агротехнічних вимог щодо максимального тиску на ґрунт.

Норми дії ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки на ґрунт стали більш жорсткими з введенням Україною власного стандарту [1] (замість чинного у СРСР [2]).

Одним з відомих способів зниження негативного ущільнюючого впливу на ґрунт є використання здвоєних тракторних шин. Слід відзначити, що здвоювання шин використовується лише для зниження максимального тиску на ґрунт, а не для підвищення тягової ефективності трактора. Особливої уваги заслуговує питання обґрунтованого рівня тиску повітря в шині під час її використання в одинарному і здвоєному варіанті, оскільки в

обох випадках шина повинна бути максимально екологічно безпечною. З огляду на це аналіз ефективності використання шин, якими комплектується трактор, у здвоєному варіанті є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Позитивний досвід здвоювання тракторних шин і поліпшення стану ґрунту та зменшення його щільності описаний в роботі [3], де автори розглядають загальний стан ґрунтових ресурсів України. Під час аналізу роботи трактора на здвоєних шинах визначається його ефективність за параметрами опору коченню, буксуванню та мірою продуктивності [4]. Навесні для посівних агрегатів на базі колісних тракторів рекомендують застосовувати винятково здвоєні шини, бажано високоеластичні [5]. Так, за даними, що містяться у роботі [6], здвоювання шин 21,3R24 трактора серії Т-150 дало змогу знизити максимальний тиск на ґрунт на 20% (з 163,5 до 136,2 кПа). Впровадження здвоєних шин повинно розглядатися сукупно з



проблемами баластування колісних тракторів [7], забезпечення екологічності шин не тільки за максимальним тиском на ґрунт, але й допустимим буксуванням [8].

**Постановка завдання.** Реалізація колісним трактором якісного процесу обробітку ґрунту, особливо навесні, з виконанням агроекологічних вимог потребує суттєвого зниження максимального тиску на ґрунт, що передбачає застосування здвоєних шин. Найпростіший шлях досягнення цього – це здвоювання штатних шин, якими укомплектований трактор, для зниження тиску на ґрунт до прийнятного рівня. Але ефективність такого рішення є сумнівною, оскільки у такому разі під час експлуатації трактора з одинарними шинами рівень його ущільнюючого впливу на ґрунт має бути занадто високим, що є недопустимим. З іншого погляду, якщо трактор на одинарних шинах має досить прийнятний рівень тиску на ґрунт, скажімо, у літньо-осінній період, то ефективність здвоювання штатних шин для виконання жорсткіших агроекологічних вимог навесні є сумнівною. У статті розглядається питання аналізу ефективності здвоювання штатних тракторних шин з метою виконання агроекологічних вимог або зниження максимального тиску на ґрунт до прийнятного рівня.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз ефективності здвоювання шин проводився з використанням відомої математичної моделі [9–11], побудованої на універсальній навантажувальній характеристиці шин, що була підтверджена багаторазовими статичними випробуваннями.

Слід відзначити, що під час здвоювання шин допустиме радіальне навантаження на одну шину за відповідного тиску повітря знижується і становить 0,88 від допустимого навантаження для одинарної шини. У разі використання потроєних шин ця величина знижується до 0,82. Тиск повітря у всіх шинах однієї осі встановлюється однаковий (на відміну від більш ранніх рекомендацій, коли внутрішні шини повинні були мати внутрішній тиск більший на 20 кПа).

Приймемо припущення, що всі шини трактора мають радіальне навантаження, яке відповідає допустимому тиску повітря, хоча в експлуатації незалежно від компоновальної схеми шини мають бути навантажені на 85–100% від допустимих значень при правильно обраному внутрішньому тиску повітря. Це припущення дозволяє розглядати режими роботи шин на межі допустимих навантажень, тобто за лінійною характеристикою

відповідно до вимог стандарту [12] або даних виробника у вигляді таблиці «Внутрішній тиск – відповідне допустиме навантаження».

Оскільки контурна площа плями контакту шини з жорсткою опорною поверхнею і площа плями контакту з ґрунтом, що має відповідні фізико-механічні характеристики і гранулометричний склад, на режимах допустимих радіальних навантажень зберігаються постійними, а при менших навантаженнях знижуються, то у разі здвоєння площа плями контакту однієї шини буде меншою, ніж у одинарної. Це пояснюється тим, що здвоєна шина відповідно до прийнятого припущення має радіальне навантаження (допустиме) 0,88 від навантаження для одинарної шини. Зниження площі контакту шини практично збігається зі зниженням радіального навантаження і також становить близько 0,88.

Що стосується внутрішнього тиску повітря, то більшість світових виробників обмежує мінімально допустимий тиск при роботі одинарної шини зі значним крутним моментом на рівні 60–80 кПа ( $\approx 0,6\text{--}0,8$  кг/см<sup>2</sup>). Для здвоєних шин під час роботи зі значним крутним моментом значення мінімально допустимого тиску, як правило, становить 40–60 кПа ( $\approx 0,4\text{--}0,6$  кг/см<sup>2</sup>). Це суттєво поліпшує екологічність здвоєних шин, оскільки, за інформацією світових виробників шин, середній тиск на ґрунт можна оцінити як величину, що на 14–21 кПа (2–3 psi) вища, ніж внутрішній тиск повітря. Відповідно до стандарту [13] розрахунковий максимальний тиск на ґрунт тракторної шини в 1,5 вищий за середній тиск. Тобто зниження мінімально допустимого внутрішнього тиску в здвоєній шині на 20 кПа порівняно з одинарною дає змогу знизити максимальний тиск на ґрунт на величину, що є не меншою ніж 26–27 кПа, за умови роботи шин у обох випадках за мінімально допустимого тиску повітря.

Якщо задатися варіюванням радіального навантаження на одинарну шину в межах ( $Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$ ), тобто від максимально допустимого навантаження при мінімально допустимому тиску повітря  $p_{\text{ш.}\min}$  до максимально допустимого навантаження при максимально допустимому тиску  $p_{\text{ш.}\max}$ , то необхідний поточний тиск повітря можна визначити такою залежністю:

$$p_{\text{ш.о}} = (Q_{\text{ш}} - Q_{\min}) \cdot \left( \frac{p_{\text{ш.}\max} - p_{\text{ш.}\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + p_{\text{ш.}\min}, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{ш}}$  – поточне значення радіального навантаження на одинарну шину.

Для здвоєної шини поточне навантаження буде удвічі меншим, ніж у одинарної, тому необхідний тиск визначається такою залежністю:

$$p_{ш.з} = \left( \frac{Q_{ш}}{2 \cdot 0,88} - Q_{\min} \right) \cdot \left( \frac{p_{ш.\max} - p_{ш.\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + p_{ш.\min} \quad (2)$$

Якщо розрахований за формулою (2) тиск повітря менший за мінімально допустимий для здвоєних шин, то він вважається рівним мінімально допустимому.

Для оцінки ефективності здвоювання штатних тракторних шин скористаємось роботою [14], де запропоновано методику оцінки впливу на ґрунт ходових систем колісних тракторів згідно зі встановленим розподілом на території України допустимого тиску на ґрунт колісних тракторів, а також відповідно до вимог стандарту та особливостей ґрунто-кліматичних умов і фактичних середньобагаторічних параметрів вмісту вологи в ріллі в середньобагаторічні терміни проведення робіт під час підготовки ґрунту для посіву ранніх ярових культур навесні та під озиму пшеницю в літньо-осінній період.

Для вирішення поставленої задачі введемо коефіцієнт, що характеризує навантаження шини:

$$k_n = \frac{Q_{ш}}{Q_{д}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $Q_{д}$  – допустиме навантаження на шину при відповідному внутрішньому тиску повітря.

Для прикладу розглянемо шину 23,1R26 Rosava 153(A8), якою штатно комплектуються трактори лінійки ВАТ «Харківський тракторний завод».

Аналіз показує, що під час експлуатації одинарної шини 23,1R26 за максимально допустимого навантаження на лінії  $A_1B_1$  (рис. 1,  $k_n = 100\%$ ) максимальний тиск на ґрунт  $q_{\max}$  становить 140–212 кПа

при внутрішньому тиску повітря 0,6–1,6 бар. У разі здвоювання даної шини та експлуатації за максимально допустимого навантаження на лінії  $A_2B_2$  (рис. 1,  $k_n = 88\%$ ) максимальний тиск на ґрунт  $q_{\max}$  становить 138–208 кПа при внутрішньому тиску повітря 0,6–1,6 бар.

Слід відзначити, що здебільшого саме внутрішній тиск повітря в шині визначає максимальний тиск на ґрунт, а радіальне навантаження – меншою мірою. Але у разі збільшення навантаження необхідно підвищувати внутрішній тиск у шині, що призведе до підвищення тиску на ґрунт.

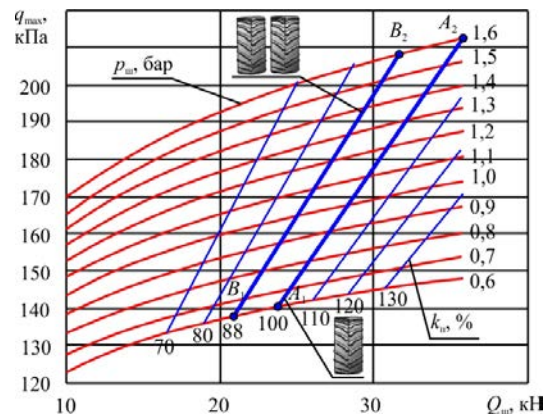


Рис. 1. Характеристика шини 23,1R26 Rosava 153(A8)

Якщо, наприклад, одинарна шина 23,1R26 Rosava 153(A8) експлуатується з радіальним навантаженням 24,5–29,5 кН (при масі трактора 9800 кг) з тиском повітря 1,1 бар, то максимальний тиск на ґрунт становить 170–175 кПа (рис. 1). У разі здвоювання радіальне навантаження буде становити 14,5–12,5 кН, внутрішній тиск можна буде знизити до 0,6 бар, що забезпечить тиск на ґрунт 128–132 кПа.

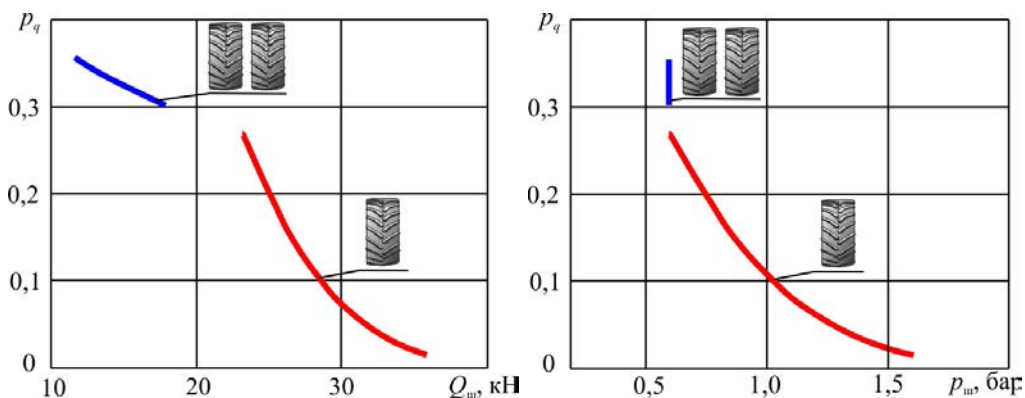


Рис. 2. Імовірність  $p_q$  виконання шиною 23,1R26 Rosava 153(A8) агроекологічних вимог на території України



Для аналізу екологічності й ефективності здвоювання шин була розрахована ймовірність ( $p_q$ ) виконання шиною агроекологічних вимог на території України [14] залежно від радіального навантаження і внутрішнього тиску для одинарної та здвоєної шини (рис. 2). Отримані дані свідчать про те, що одинарна шина 23,1R26 за зазначеного навантаження і внутрішнього тиску задовольняє агротехнічні вимоги з ймовірністю 0,07–0,08, тобто вона може експлуатуватися без порушення норм щодо максимального тиску на ґрунт на 7–8% території України, що неприпустимо.

У разі здвоювання за внутрішнього тиску 0,6 бар ймовірність  $p_q$  зростає до 0,325–0,345, тобто шина може експлуатуватися на третині території України, що набагато краще, але це не вирішує проблему екологічності. Якщо зменшити масу трактора з 9800 до 7600 кг, радіальне навантаження для одинарної шини становитиме 19–23 кН за внутрішнього тиску 0,6 бар, а ймовірність  $p_q$  зросте до 0,268. При здвоєнні та такому ж внутрішньому тиску ймовірність  $p_q$  зросте до 0,356. Отже, при масі трактора 7600 кг шина стає більш екологічно безпечною, але ефективність її здвоювання суттєво знижується. Приріст території, де вона може експлуатуватися, зростає на 8–9% проти 25–26% за маси трактора 9800 кг.

Розглянута шина не є екологічно безпечною, її використання повинно бути обмеженим відповідними ґрунтовими районами з високим значенням допустимого тиску в літньо-осінній період.

Оскільки технології виготовлення і конструкції сучасних тракторних шин постійно поліпшуються, рівень шкідливого впливу на ґрунт може бути значно меншим. Але ефективність здвоювання шин залежить від рівня зниження внутрішнього тиску, що є наслідком меншого радіального навантаження. У разі здвоювання штатних шин, якими комплектується трактор, досягається низька ефективність, якщо під час одинарного застосування шина може експлуатуватися з низьким внутрішнім тиском. Якщо одинарна штатна шина працює при високому внутрішньому тиску, тоді досягається висока ефективність здвоювання, хоча в такому разі одинарна шина практично не повинна експлуатуватися з екологічних міркувань.

Суттєвим резервом в підвищенні екологічності можуть бути шини, які передбачають нижчий вну-

трішній тиск (0,4 бар) саме для здвоєного застосування, хоча і в такому разі окреслені тенденції зберігаються.

Найкращі зразки тракторних сільськогосподарських шин сьогодні мають максимальний тиск на ґрунт 85 кПа при 0,6 бар та можуть експлуатуватися на двох третинах території України. У разі здвоєння максимальний тиск на ґрунт становитиме 60 кПа при 0,4 бар, що дає змогу застосовувати такі шини на 86–87% сільськогосподарських угідь без порушення агроекологічних вимог.

Проте очевидно, що колісні трактори навіть на здвоєних шинах не в змозі забезпечити екологічні норми (навесні) на більш як чверті території України. Вирішення цієї проблеми можливе у разі використання гусеничних тракторів або змінних гусеничних рушіїв.

**Висновки.** Здвоювання штатних шин, якими комплектується трактор, є малоефективним з погляду зниження ущільнюючого впливу на ґрунт, оскільки у разі правильного застосування одинарна шина працює з низьким внутрішнім тиском і не має резерву для зниження максимального тиску на ґрунт при здвоєванні. Якщо одинарна штатна шина працює при високому внутрішньому тиску, то досягається висока ефективність здвоювання, хоча в такому разі одинарна шина не повинна взагалі експлуатуватися з екологічних міркувань. Таким чином, та сама шина не може бути екологічно безпечною під час одинарного та здвоєного застосування. Для одинарного та здвоєного застосування повинні обґрунтовано обиратися різні шини.

Широкого вжитку повинні набути шини, які можуть експлуатуватися за нижчого внутрішнього тиску (0,4 бар) під час здвоєного застосування, що забезпечує кращі показники максимального тиску на ґрунт. Такі шини повинні обиратися саме для експлуатації за мінімально допустимого внутрішнього тиску (0,4 бар).

Найкращі зразки тракторних сільськогосподарських шин можуть експлуатуватися на двох третинах території України без порушення агроекологічних вимог, а при здвоєному застосуванні – на 86–87%, що свідчить про необхідність використання гусеничних тракторів або змінних гусеничних рушіїв під час проведення весняно-польових робіт.

#### Список літератури:

1. ДСТУ 4521:2006. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт. Київ, 2007. 5 с.
2. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Москва, 1987 5 с.

3. В.В. Медведев, Т.Н. Лактионова. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. Харьков : Изд. «13 типография», 2007. 395с.
4. Злобин В.И. Повышение эффективности использования колёсного трактора класса 1,4 за счёт постановки сдвоенных колёс в сельскохозяйственном производстве Амурской области : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01. Благовещенск. 2006. 23 с.
5. Орда А.Н., Гирейко Н.А., Слеш А.Б. Экологические аспекты формирования машинно-тракторных агрегатов. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2006. Вип. 1 (33). С. 240–245.
6. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. Москва : ВИМ, 1998. 368с.
7. Надикто В.Т. Проблеми баластування колісних тракторів. *Техніка і технології АПК*. 2013. № 2. С. 7–9.
8. Надикто В.Т. Визначення максимального буксування колісних рушіїв з урахуванням обмеження їх тиску на ґрунт. *Техніка і технології АПК*. 2014. № 7 (58). С. 34–38.
9. Бидерман В.Л., Гуслицер Р.Л., Захаров С.П., Ненахов Б.В, Селезнев И.И., Цукерберг С.М. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация). Москва : Госхимиздат, 1963. 384с.
10. Ксеневиц И.П. Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система – почва – урожай. Москва : Агропромиздат, 1985. 304 с.
11. Гуськов В.В. Тракторы: теория / под общ. ред. В.В. Гуськова. Москва : Машиностроение, 1988. 377 с.
12. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия. Москва, 2004. 25 с.
13. ДСТУ 4428:2005. Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт. Київ, 2006. 8 с.
14. Ребров О.Ю. Розподіл допустимого тиску на ґрунт ходових систем колісних тракторів за територією України. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія «Математичне моделювання в техніці та технологіях»*. 2018. № 27 (1303). С. 110–116.

#### **Rebров O.Yu. ANALYSIS OF TRACTOR DUAL TIRES EFFICIENCY**

*One of the known ways to reduce the negative sealing effect on the soil is to use dual tractor tires. It should be noted that tire doubling is used solely to reduce maximum soil pressure and not to increase tractor traction. Particularly noteworthy is the issue of a reasonable level of tire pressure when used in single and double variants, since in both cases the tire must be as environmentally safe as possible.*

*Implementation of a high-quality soil tillage with a wheeled tractor, especially in the spring, with the implementation of agro-environmental requirements, requires a significant reduction of the maximum soil pressure, which requires the use of dual tires. The easiest way to achieve this is to double the full-time tires that the tractor comes with to reduce soil pressure to an acceptable level. But the effectiveness of such a solution is doubtful, since in this case, when tractor operating with single tires, the level of its sealing effect on the soil must be too high, which is unacceptable. On the other hand, if a single tire tractor has a reasonably acceptable level of soil pressure in the summer-autumn period, then the effectiveness of doubling full-time tires to meet tougher agro-environmental requirements in the spring is doubtful.*

*In view of the above, this article addresses the issue of analyzing the efficiency of the doubling of full-time tractor tires in order to meet agro-environmental requirements or to reduce the maximum soil pressure to an acceptable level. The effectiveness of the use of dual tires was determined with taking into account the requirements of the standard of the running systems soil compaction norms, as well as the soil and climatic conditions of Ukraine. The low efficiency of the dual full-time tires with which the tractor is equipped is established. It is recommended to use a different set of tires for doubling. Tires that can be operated at a lower internal pressure (0.4 bar) with dual application should be widely used, providing better performance for maximum soil pressure. Such tires must be selected for use at a minimum permissible internal pressure of 0,4 bar. The best samples of tractor tires can be used in two thirds of the territory of Ukraine without violating the agro-environmental requirements, and in the case of dual application - by 86-87%, which indicates the need to use tracked tractors or conversion track systems for spring field work.*

**Key words:** *wheeled tractor, tractor tire, dual tires, maximum ground pressure, permissible ground pressure.*

## ЕНЕРГЕТИКА

УДК 504

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/05>**Кірсанова В.В.**

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

### ПРОБЛЕМА ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТУ: ДИЛЕМА СУЧАСНОСТІ

У статті розглянуто проблему використання біопалива для транспорту. Підсумовано, що, незважаючи на значне скорочення парку машин, сумарні енергетичні потужності забезпечують дизельному паливу одне з провідних місць як у структурі використовуваних в агропромисловому виробництві енергоносіїв (у рослинництві – до 80%), так і щодо кінцевого споживача країни загалом. Здійснено прогнозування витрат дизельного палива на найближчі 10 років. Узагальнено, що, за експертними оцінками, до 2030 року споживання дизельного палива в сільському господарстві має збільшитися в 4 рази. Резюмовано виснаженість світових нафтових родовищ. Здійснено припущення про раціональність використання біопалива з пальмової олії, ріпаку, зернових тощо. Визначено, що нагальність переходу людства на поновлювані палива зумовлена 3-ма факторами: відхиленням кліматичного фону, збільшенням попиту на енергію, хиткістю доступу до вичерпних ресурсів. Встановлено, що на противагу нафтовим, вугільним і газовим копалинам застосування палив, вироблених із відновлюваної сировини, не підвищує кількості двоокису вуглецю в атмосфері. З'ясовано, що кількість діоксиду вуглецю утворюється під час горіння біомаси та кількісно точно відповідає двоокису вуглецю, яку рослина (основа палива) засвоїла в процесі власного зростання. Визначено, що збереження балансу, за якого збір урожаю дорівнюватиме кількості вирощених рослин, дасть змогу підтримувати вміст двоокису вуглецю в атмосфері землі на одному рівні. Проаналізовано класифікації біопалива. Розтлумачено сутність і специфіку виробництва та використання біопалива першого, другого та третього покоління. Узагальнено, що біопалива діляться на первинні і вторинні. Первинні біопалива використовуються в необробленому вигляді, перш за все, для опалення, приготування їжі та електрики, переважно це паливна деревина. Вторинні біопалива, такі як біоетанол і біодизель, виробляються шляхом переробки біомаси та можуть бути використані на транспортних засобах, а також у різних промислових процесах. Вторинні біопалива можна розділити на три покоління: перше, друге і третє покоління біопалива – на основі різних параметрів, таких як тип технології обробки, тип вихідної сировини або їхній рівень розвитку.

**Ключові слова:** біопаливо, енергетична потужність, дизельне паливо, біоетанол, біодизель, нафта, вичерпні ресурси.

**Постановка проблеми.** Незважаючи на значне скорочення парку машин, наявні сумарні енергетичні потужності забезпечують дизельному паливу одне з провідних місць як у структурі використовуваних в агропромисловому виробництві енергоносіїв (у рослинництві – до 80%), так і щодо кінцевого споживача країни загалом (на АПК (агропромисловий комплекс) України припадає понад 25%). За експертними оцінками, до 2030 року споживання дизельного палива в сільському господарстві має збільшитися в 4 рази. Питомі витрати на придбання моторних палив у загальній собівартості продукції зросли за останні роки до 18–25%, а в деяких регіонах – до 30%, і

мають стійку тенденцію до зростання [3]. З урахуванням того, що дешева легка нафта підходить до свого виснаження, а розвідка з подальшою переробкою важкодоступних високосірчаних і високов'язких нафт вимагає великих капіталовкладень, прогнозується неминуче зростання цін на моторне паливо. Енергетичні та екологічні проблеми виробництва продукції рослинництва взаємопов'язані.

**Актуальність дослідження.** З посиленням вимог до захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів із відпрацьованими газами дизельного палива виникла серйозна проблема із забезпеченням якості моторного палива. Процес

знесірчення дизельних палив призвів до втрати низки споживчих властивостей. Для поліпшення змащувальних властивостей екологічно чистих дизельних палив необхідно додавати в них протизносні присадки. Сучасна потреба в протизносних присадках в Україні становить понад 1200 т/рік [4]. Досі на ринку присадок до палив панують зарубіжні фірми. Тому розширення асортименту присадок вітчизняного виробництва, що дають змогу поліпшити якість дизельних палив, належить до найбільш важливих завдань імпортозаміщення.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Отже, сьогодні є актуальною багатогранна проблема задоволення зростаючої потреби сільського господарства в якісному і екологічно чистому органічному паливі. Одним із головних напрямів вирішення цієї проблеми, як підкреслено в «Енергетичній стратегії України на період до 2030 року», є «використання поновлюваних джерел енергії з рослинної біомаси». Водночас бурхливе зростання виробництва і споживання біодизельного палива з рослинних масел харчового призначення в багатьох країнах світу призвело до порушення балансу в структурі агропромислового виробництва, породжуючи проблеми соціально-етичного та екологічного плану.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** Хоча проблема використання біопалива з відновних ресурсів нині досить актуальна, відсутні, однак, комплексні наукові розвідки, де висвітлювалися б можливості використання різних ресурсів. Подальший шлях розвитку біопалива, за прогнозами експертів, пов'язаний з використанням біомаси ріпаку, пальмової олії, крохмалю, мікроводоростей, які як енергетична сировина за своїми характеристиками перевершують інші сировинні біоресурси. Однак широкому впровадженню в практику біопалива перешкоджає недостатня вивченість цілеспрямованого управління продуктивністю і хімічним складом фітомаси ріпаку, крохмалю, мікроводоростей біопаливного призначення.

**Новизна статті полягає в констатації факту, згідно з яким біопаливо може стати фактично невичерпним джерелом енергії. Методологічне або загальнонаукове значення** полягає в узагальненні енергетичного потенціалу відновних ресурсів (ріпаку, пальмової олії, крохмалю, мікроводоростей) як сировини для виробництва біопалива для транспорту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нагальність переходу на поновлювані палива

зумовлена 3-ма факторами: відхиленням кліматичного фону, збільшенням попиту на енергію, хиткістю доступу до скінченних ресурсів. На противагу нафтовим, вугільним і газовим копалинам застосування палив, вироблених із відновлюваної сировини (здебільшого – біомаси), не підвищує кількості двоокису вуглецю в атмосфері. Кількість діоксиду вуглецю утворюється під час горіння біомаси та кількісно точно відповідає двоокису вуглецю, яку рослина (основа палива) засвоїла в процесі власного зростання. Збереження балансу, за якого збір урожаю дорівнюватиме кількості вирощених рослин, дасть змогу підтримувати вміст двоокису вуглецю в атмосфері землі на одному рівні [3].

Біопалива, як правило, діляться на первинне і вторинне. Первинні біопалива використовуються в необробленому вигляді, перш за все, для опалення, приготування їжі та електрики, переважно це паливна деревина. Вторинні біопалива, такі як біоетанол і біодизель, виробляються шляхом переробки біомаси та можуть бути використані на транспортних засобах, а також у різних промислових процесах. Вторинні біопалива можна розділити на три покоління: перше, друге і третє покоління біопалива – на основі різних параметрів, таких як тип технології обробки, тип вихідної сировини або їхній рівень розвитку [3].

Перше покоління біопалива виготовляється з будь-якої сільськогосподарської сировини (цукру, крохмалю, рослинного масла і тваринного жиру) за допомогою застосування належних технологій (близьких до природних біологічних і термохімічних процесів, такі як бродіння). До цього виду палива належать біоетанол і біодизель. Умовна ефективність виробництва енергії з біомаси біопалива першого покоління становить приблизно 50%.

Основними джерелами сировини є насіння або зерна. Наприклад, насіння соняшника пресують для отримання рослинного масла, яке потім може бути використано в біодизелі. З пшениці отримують крохмаль, після його зброджування – біоетанол. Однак такі джерела сировини займають місце в харчовому ланцюжку людей і тварин, а тому людство росте і вимагає все більше їжі. Тож використання їх для виробництва біопалива зменшить кількість доступних продуктів харчування і збільшить їхню вартість, що неприпустимо на тлі сьогоднішнього голоду в багатьох країнах світу.

Також багато видів біопалива першого покоління залежать від субсидій і не можуть змагатися за ціною з існуючими викопними видами палива (наприклад, нафтою). Деякі з них надають лише



невелике скорочення викидів парникових газів. Якщо брати до уваги викиди від виробництва і транспортування, оцінка життєвого циклу біопалив часто перевершує таку у традиційних викопних видів палива. Основний недолік виробництва біопалива першого покоління – необхідність використання якісних орних земель, різноманітної важкої сільськогосподарської техніки, а також добрив і пестицидів [5].

Біопаливо другого покоління – це паливо, отримане різними методами піролізу біомаси, або інші палива, відмінні від біометанолу, біоетанолу, біодизелю. Виробляється воно з нехарчової сировини (відпрацьовані жири і рослинні масла, біомаса дерев і рослин). Швидкий піроліз дає змогу перетворити біомасу в рідину, яку легше і дешевше транспортувати, зберігати і використовувати. З рідини можна зробити автомобільне паливо або паливо для електростанцій. Умовна ефективність виробництва енергії з біомаси біопалива другого покоління становить приблизно 50%. Технологічно виробництво біопалива другого покоління являє собою процес отримання палива за допомогою переробки целюлози та лігніну, що містяться в деревній або волокнистій біомасі. Сорти біопалива, які виробляються в наші дні, вважають доречними до першого покоління. Зараз вони виробляються з ферментованої рослинної сировини (біоетанол) і різноманітних рослинних масел (біодизельне паливо). Паливо другого покоління буде проводитися за технологією скраплення газів (gas-to-liquids, GTL) Фішера-Тропша (Fischer-Tropsch).

Технологія включає в себе кілька стадій. Перша з них полягає в спеціальній обробці біомаси та отриманні з неї газоподібних продуктів. Далі ці гази проходять очистку, переробляються в однорідну суміш монооксиду вуглецю і водню, яка, у свою чергу, переробляється в рідке паливо. Цей процес був розроблений у двадцятих роках минулого століття, проте цілком придатний для використання й зараз, адже піддається стандартизації хімічно однорідного палива. Отже, продукти обробки рослинної сировини розкладаються до простих компонентів, які потім можна синтезувати у високоякісне, позбавлене домішок паливо.

Сировиною для подібного виробництва може бути будь-яка біомаса, включно з відходами деревообробного виробництва і залишками їжі. Цей процес поки що використовує не дуже велике число компаній, і пройде ще чимало часу, не менше десяти років, поки паливо почне вироблятися в промислових масштабах. Тільки після цього може розкритися справжній потенціал біопалива, без

побічних ефектів у вигляді завдання ним шкоди двигунам.

Рослини – джерела сировини другого покоління: водорості – прості живі організми, пристосовані до зростання і розмноження в забрудненій або солоній воді (містять до двохсот разів більше олії, ніж джерела першого покоління, такі як соєві боби); ріпак (рослина) – росте в ротації з пшеницею та іншими зерновими культурами; *Jatropha curcas*, або ятрофа – росте в посушливих ґрунтах, із вмістом олії від 27 до 40% залежно від виду.

Перевага біопалива другого покоління: сировину, необхідну для виробництва (рослини), можна вирощувати на менш упорядкованих землях, для їх виробництва потрібно мінімум техніки, добрив і пестицидів. Головний недолік виробництва біопалива другого покоління – склад сировини та витрати. Лігноцелюлоза – складний полімерний вуглевод, що вимагає більшого числа хімічних перетворень і, відповідно, енергії для отримання з нього рідких палив. З лігноцелюлози рослин отримують біоетанол. Виробництво біопалива другого покоління зараз є дуже капіталомістким процесом, тому що поки відповідні технології досить дорогі [7]. Розвиток і вдосконалення техніки і технології екстрагування плодоовочевої сировини – актуальні і важливі завдання переробної промисловості як із погляду організації раціонального і збалансованого харчування, так і з погляду зменшення втрат під час переробки сировини (зокрема, вторинного), що містить, крім вуглеводів, амінокислоти, біологічно активні мінеральні речовини, ефірні масла та інші цінні для споживання продукти.

Біопаливо третього покоління – паливо, отримане з водоростей. Перспективність цього напряму розвитку біопаливної галузі пов'язана зі специфікою складу водоростей. За характеристиками, які можуть зацікавити фахівців біопаливної галузі, вони значно перевершують рослини, місцем існування для яких є суша, в штамі водоростей вміст жирів становить від 75 до 85% сухої ваги.

Водорості розглядають як найбільш перспективну сировину для виробництва палива з поновлюваних джерел. Це пов'язано, перш за все, зі швидким розмноженням водоростей, що дає високий приріст біомаси. З одного технологічного майданчика для культивування біопаливних водоростей можна збирати до 40 врожаїв на рік, а близько 80% органічної речовини, що створюється щодня на Землі, припадає саме на водорості.

Крім вирощування водоростей, у відкритих ставках є технології вирощування водоростей у малих біореакторах, розташованих поблизу

електростанцій. Під час розміщення технологічних майданчиків нижче скиду тепла ТЕЦ покривається до 77% потреб у теплі, необхідному для вирощування водоростей. Більшість біопалива третього покоління планується отримувати шляхом перетворення органічної речовини в паливо. Цікаво, що водорості залежно від їхнього виду можуть виробляти різні хімічні компоненти біопалива: етиловий спирт – для бензинових двигунів, рослинне масло – для виготовлення біодизеля, навіть «Біонафту», яку можна перетворити в кілька видів пального. Це дає підстави говорити про багатий енергетичний потенціал водоростей, і сьогодні вчені наполегливо працюють, щоб створити енергоємні водні рослини і рентабельні технології виробництва рідкого палива з них [1; 2 та ін.]. Спільними зусиллями двох компаній, Dow Chemical і Algenol Biofuels, був побудований дослідний біозавод, на якому під впливом сонячного світла йде перетворення вуглекислого газу, що міститься в атмосфері, в етиловий спирт, який можна використовувати як біопаливо або як сировину для отримання пластиків [4]. Це перетворення відбувається в біореакторах, заповнених одним із видів морських водоростей.

Перший, експериментальний, біозавод побудований у Флориді і містить усього 40 біореакторів. Компанії планують побудувати великий завод у штаті Техас, який буде складатися з 3100 біореакторів, займаючи площу 24 акра (97 125 кв. м). Ефективність такої технології підтверджується тим фактом, що кожен біореактор може за рік зробити більше 1000 галонів (3785 літрів) етилового спирту, при цьому ціна цього біопалива залишається надзвичайно низькою – менше одного долара за галон (4,5 літрів).

У цей час розроблення способів вирощування мікрowodоростей і конструювання різних типів апаратів до вивчення цього питання вдаються багато корпорацій, починаючи від світових гігантів в енергетичній галузі, таких як Chevron, Shell, і закінчуючи корпораціями De Beers, Nestle, для яких енергетичний бізнес не є профільним, а також споживачі палива – компанії Boeing, Chrysler, NextDiesel та інші. Нині активно ведуться роботи, спрямовані на зниження собівартості одержуваної біомаси мікрowodоростей шляхом використання для виро-

щування відкритих природних водойм, водоймищ очисних споруд, попутних газів електростанцій, застосування комбінованих способів використання відкритих і закритих систем для вирощування [9].

За оцінками, які наводять аналітики агентства «Cleandex», 200 тисяч га ставків можуть виробляти паливо, достатнє для річного споживання 5% автомобілів США [10]. При цьому 200 тисяч га – це небагато, для США це всього 0,02% земельного фонду. За даними експериментів встановлено, що з 1 акра (4 047 кв. м) водоростей можна зробити в 30 разів більше енергії, ніж з акра наземних рослин, таких як соя. За розрахунками фахівців Boeing, якби весь флот усіх авіаліній світу використовував тільки біопаливо, отримане з морських водоростей, знадобилося б 322 млрд літрів олії. З 1 га можна отримувати 6 500 літрів на рік [11]. Можна розрахувати, що для вирощування цих водоростей потрібна площа 50 млн га – це також невелика роль у житті людства.

На тлі зростаючих цін на мінеральне паливо інвестори проявляють усе більше інтересу до розведення водоростей. Проте біопаливо, вироблене з водоростей, має й свої недоліки: для вирощування водоростей необхідна велика площа; водорості люблять високу температуру, для їх виробництва добре підходить клімат пустель. При цьому саме вирощування водоростей має мати позитивний екологічний ефект: вони, як і інші рослини, в процесі фотосинтезу поглинають вуглець, очищаючи повітря і знижуючи парниковий ефект.

**Висновки.** Світ вступає в еру біоекономіки, тобто економіки, заснованої на біотехнологіях, що використовують відновлювальну сировину для виробництва енергії та матеріалів. Багато країн уже впровадили свої технології, деякі – тільки виходять на цей ринок із новими розробками. Але сказати можна одне: за рослинним біопаливом майбутнє. Запаси нафти, газу і вугілля не нескінченні і практично не поновлювані. Тому виробляти паливо доведеться з усього, що «трапиться». **Перспективи використання результатів дослідження** полягають у дослідженні можливостей використання біопалива другого покоління, зокрема використання екстрагованого рослинного масла з мікрowodоростей.

#### Список літератури:

1. Абдулагатов И.М., Алхасов А.Б., Догеев Г.Д., Тумалаев Н.Р., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б., Алиев А.М., Салихова А.С. Микроводоросли и их технологические применения в энергетике и защите окружающей среды. *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13. № 1. С. 166–183.
2. Абдулагатов И.М., Бадавов Г.Б., Алиев А.М. Технология коммерческого производства микроводорослей в качестве сырья для биотоплива, белкововитаминных кормов и ценных биоактивных соедине-



ний с использованием возобновляемой энергии на территории Республики Дагестан: бизнес-план инвестиционного проекта. *Материалы объединенного семинара NIST (Боулдер, США) и Института проблем геотермии ДНЦ РАН (Махачкала, Южная Россия)*. 2011. С. 5–157.

3. Аналитический отчет. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России за период 2000–2012 годов. ОАО «Корпорация развития», 2013. 43 с.

4. Варфоломеев С.Д., Моисеев И.И., Мясоедов Б.Ф. Энергоносители из возобновляемого получения сырья. Химические аспекты. *Вестник РАН*. 2009. Т. 79. № 7. С. 595–602.

5. Кольцова Е.С., Иванникова Е.М., Систер В.Г., Ямчук А.И., Цедилин А.Н. Современное использование альтернативных топлив для автотранспорта. *Технические науки: проблемы и перспективы* : материалы III Междунар. науч. конф., г. Санкт-Петербург, июль 2015 г. Санкт-Петербург : Свое издательство, 2015. С. 88–91. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/126/8288/> (дата обращения: 23.06.2019).

6. Назаренко Л.В. Биотопливо: история и классификация его видов. Актуальные проблемы естествознания. *Вестник МГПУ*. 2012. № 2 (10). С. 16–32.

7. Моисеев И.И., Платэ Н.А., Варфоломеев С.Д. Альтернативные источники органических топлив. *Вестник РАН*. 2006. Т. 76. № 5. С. 427–437.

8. Фортов В.В., Макаров Л.А., Митрова Т.А. Глобальная энергетическая безопасность: проблемы и пути решения. *Вестник РАН*. 2007. Т. 77. № 2. С. 99–114.

9. Ganesan K., Kumar K.S., Rao P.V.S. Comparative assessment of antioxidant activity in three edible species of green seaweed, *Enteromorpha* from Okha, Northwest coast of India. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2011. Vol. 12. No. 1. P. 73–78.

10. Groom M.J., Gray E.M., Townsend P.A. Biofuels and biodiversity: Principles for creating better policies for biofuel production. *Conservation Biology*. 2008. Vol. 12. P. 34–42.

11. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*. 2007. Vol. 25. P. 294–306.

#### **Kirsanova V.V. THE PROBLEM OF USING BIOFUELS FOR TRANSPORT: THE DILEMMA OF THE MODERNITY**

*The article considers the problem of using biofuels for transport. It is summed up that despite a significant reduction in the fleet of vehicles, the total energy capacities provide diesel to one of the leading places in the structure of energy carriers used in the agricultural and industrial production (up to 80% in crop production) as well as regarding the end consumer in the country as a whole. The prediction of diesel fuel costs for the next 10 years has been carried out. It has been summarized that according to expert estimates, by 2030 diesel consumption in agriculture should increase by 4 times. The exhaustion of world oil deposits has been summarized. It has been made an assumption of the rationality of the use of biofuels made of palm oil, rapeseed, cereals, etc. It has been determined that the urgency of the transition of mankind to renewable fuels is due to three factors: the deviation of the climatic background, the increase in demand for energy, and the precariousness of access to the exhaustive resources. It has been established that in contrast to oil, coal and gas fossils, the use of fuels produced of renewable raw materials does not increase the amount of carbon dioxide in the atmosphere. It has been revealed that the amount of carbon dioxide, formed during combustion of biomass, quantitatively accurately corresponds to carbon dioxide, which plant (the basis of fuel) imbibed during its own growth. It has been determined that preserving the balance, at which harvesting will be equal to the number of cultivated plants, shall allow maintaining the content of carbon dioxide in the atmosphere of the earth on the same level. Biofuel classification has also been analyzed. The essence and specifics of the production and use of the first, second and third generation biofuels have been explained. It is summed up that biofuels are divided into primary unprocessed and secondary processed ones. Primary unprocessed biofuels are used in their crude condition, first of all for heating, cooking and electricity, mainly, this is fuelwood. Secondary processed biofuels such as bioethanol and biodiesel are produced by converting biomass and can be used by vehicles as well as in different industrial processes. Secondary processed biofuels can be divided into three generations: the first, second and third generation of biofuels based on various parameters, such as the type of processing technology, the type of raw feedstock or by the level of their development.*

**Key words:** biofuels, energy capacity, diesel fuel, bioethanol, biodiesel, oil, exhaustive resources.

**Кочмарський В.З.**

Національний університет водного господарства і природокористування

**Гаєвський В.Р.**

Національний університет водного господарства і природокористування

**Куба В.В.**

Національний університет водного господарства і природокористування

**Соляк Л.В.**

Національний університет водного господарства і природокористування

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ІНГІБІТОРІВ НА ВІДКЛАДЕННЯ У ВОДНИХ ТЕПЛОНОСІЯХ

Утворення твердого карбонату кальцію описується реакцією депротонізації гідрокарбонатного іона в полі іона кальцію. Внаслідок цього для прогнозування кальцієвих відкладень коректно застосовувати карбонатний індекс (CI), критичне значення якого для малокоцентрованих вод щодо виділення  $\text{CaCO}_3$  дається виразом  $CI_{cr}(H^+, t) = L_{\text{CaCO}_3}(t) \cdot (H^+) / K_2(t)$ , де  $(H^+)$  – активна концентрація іонів водню,  $K_2$  – константа дисоціації другого порядку вугільної кислоти,  $t$  – температура. Використовуючи поняття карбонатного індексу сформульовано рівняння для швидкості зміни концентрації іонів  $\text{Ca}^{2+}$  (кінетичне рівняння для  $\text{Ca}^{2+}$ ), яке адекватно описує дослідні дані щодо виділення твердого  $\text{CaCO}_3$  з модельного розчину. Досліджувалась дія фосфонатних інгібіторів на швидкість виділення  $\text{CaCO}_3$ . Встановлено, що такі інгібітори змінюють кінетичну константу в кінетичному рівнянні, але не змінюють його вигляду. Дія інгібіторів ґрунтується на блокуванні зон росту зародків. Концентрація інгібіторів, яка гальмує ріст зародків, залежить не лише від умов на їхній поверхні, але і від дифузійного переносу інгібітора до зародка, тобто від кінематичних властивостей і температури середовища. Сила інгібітора пропорційна до площі поверхні зародка, що контролюється молекулою інгібітора, тому інгібітори з більшими розмірами та масою, що мають більше функціональних груп, за інших рівних обставин більш ефективні. Інгібітори за їхньою силою (ефективністю) можна розмістити в такий ряд:

$$АФК < ОЕДФК < НТФК < ПМК < ПАК ,$$

де АФ – амінофосфонова, ОЕДФ – оксиетилідендифосфонова, НТФ – нітрлотриметилфосфонова, ПМ – полімелікова, ПА – поліакрилова кислоти.

Мольна концентрація інгібітора, потрібна для гальмування відкладень, пропорційна до логарифма індексу насичення. Додавання інгібітора збільшує індекс насичення, що, у свою чергу, вимагає збільшення концентрації інгібітора. Отже, повністю зупинити відкладення інгібіторами неможливо. Інгібітори лише гальмують швидкість відкладень до прийнятної величини, наприклад, для часу між двома планово-попереджувальними ремонтами.

**Ключові слова:** реакція депротонізації, карбонатний індекс, кінетичне рівняння, сила інгібітора, ефективна концентрація інгібітора.

**Постановка проблеми.** Майже у всіх тепло-технічних системах, де теплоносієм є сира або частково пом'якшена вода, виникають проблеми, пов'язані з відкладеннями чи корозією. У таких випадках поверхні теплообміну покриваються шаром речовини з коефіцієнтом теплопровідності, меншим, ніж у конструкційного матеріалу теплообмінника [1; 2]. Наприклад, коефіцієнт теплопровідності міді  $\lambda_m = 395 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , котлової сталі Ст. 20,  $\lambda_{ст} = 54.3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , а коефіцієнт

теплопровідності карбонатних відкладень,  $\lambda_v = 1.3 - 2.5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , **тобто у тридцять разів менший, ніж у Ст.-20.** Можна показати [3; 4], що коефіцієнт теплопровідності стінки теплообмінника (далі – ТО) товщиною 1.5 мм, яка покрита шаром відкладень товщиною 1мм з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda \approx 2.5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , зменшується приблизно у 10 разів порівняно з чистою.

Проте це **не єдина проблема**, пов'язана з відкладеннями. Зниження теплопровідності стінок

трубних систем у котлах через відкладення веде до їх перегріву з вогневої сторони, де температура може зрости до 900÷1500°C, через що екранні труби деформуються і тиском котлової води розриваються. Крім того, під відкладеннями виникає піттингова корозія, що характерно для парогенераторів АЕС [5], – усе це може спричинити аварії з важкими наслідками. Відкладення також збільшують гідравлічний опір системи та витрату енергії на переміщення теплоносія, що теж аварійно небезпечно. Причиною відкладень у теплообмінниках є виділення в об’ємі води та на граничних поверхнях солей твердості CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaSiO<sub>2</sub>, CaHPO<sub>4</sub> і за високих температур – корозія обладнання з утворенням залізоокисних сполук типу Fe(OH)<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз умов виділення твердих сполук CaCO<sub>3</sub>, протидія відкладенням комплексонами типу оксиетилідендифосфонові (ОЕДФК) CH<sub>3</sub>СОН(РО(ОН)<sub>2</sub>)<sub>2</sub> та нітрлотриметилфосфонові (НТФК) N(H<sub>2</sub>СРО(ОН)<sub>2</sub>)<sub>3</sub> кислот.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вибір інгібіторів зумовлений успішним їх застосуванням у великій енергетиці під час видобутку нафти та газу, металургії та в інших галузях і перспективою їх використання в комунальному господарстві [2; 4].

CaCO<sub>3</sub>, який унаслідок малої розчинності є найпоширенішим утворювачем відкладень у водах з рН < 10, формується переважно за схемою [6]:



за умови, що вміст карбонатів, зокрема активність гідрокарбонатних іонів (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), перевищує активну концентрацію насичення (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)<sub>s</sub>,

$$(\text{HCO}_3^-) > (\text{HCO}_3^-)_s = \frac{L_{\text{CaCO}_3}}{K_2} \cdot \frac{(\text{H}^+)}{(\text{Ca}^{2+})}, \quad (2)$$

де L<sub>CaCO<sub>3</sub></sub> – добуток розчинності CaCO<sub>3</sub>, визначений безпосередньо для досліджуваної водної системи; (...) – активності іонів із врахуванням відповідних іонних комплексів; K<sub>2</sub> – термодинамічна константа рівноваги дисоціації вугільної кислоти другого ступеня.

Механізм (1) відповідає *депротонізації бікарбонатів у полі іонів кальцію*.

З рівняння (1) випливає, що для помірковано лужних середовищ швидкість утворення CaCO<sub>3</sub> залежить від комплексу, який називають *карбонатним індексом*:

$$\text{CI} = (\text{Ca}^{2+}) \cdot (\text{HCO}_3^-). \quad (3)$$

Комбінуючи (2) та (3), знаходимо, що **критичний щодо утворення CaCO<sub>3</sub> карбонатний індекс** дається виразом:

$$\text{CI}(\text{H}^+, t)_{cr} = \frac{L_{\text{CaCO}_3}(t)}{K_2(t)} \cdot (\text{H}^+) \quad (4)$$

і для слабосолоних вод залежить лише від активності водневих іонів та температури.

Зауважимо, що в концентрованих водних системах добуток розчинності є функцією від їхнього складу.

На рис. 1 зображено лінії сталих значень log(CI<sub>cr</sub>) які стосуються *слабосолоних гідрокарбонатних вод*.

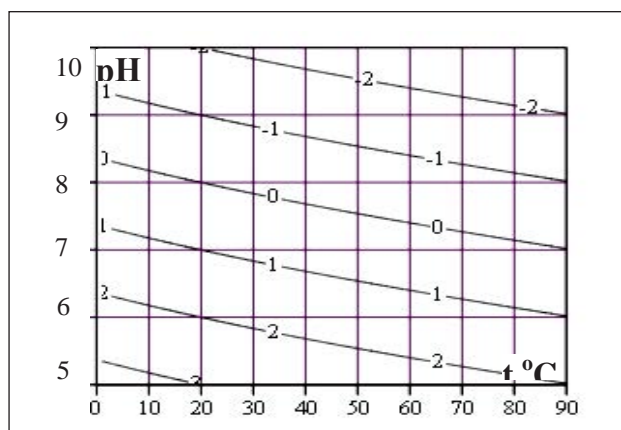


Рис. 1. Лінії – сталі значення lg(CI), (мМ/дм<sup>3</sup>)<sup>2</sup>, залежно від рН та температури води.

Бачимо, що величина критичного індексу з ростом температури і рН зменшується. Тобто підвищення температури та лужності сприяє утворенню твердого CaCO<sub>3</sub>. Наприклад, з діаграми рис. 1 випливає, що зона стабільності води з CI = 20 (мМ/дм<sup>3</sup>)<sup>2</sup> (log(20) = 1.3) знаходиться у межах:

$$5.7 < \text{pH} < 7.0, \quad 0^\circ\text{C} < t < 90^\circ\text{C},$$

тобто практично у всьому діапазоні температур (0÷90)°C такі води за рН > 7 здатні до виділення твердого CaCO<sub>3</sub>. Підтвердженням того, що утворення CaCO<sub>3</sub> відбувається за механізмом (1) і що за рівнянням (3) карбонатний індекс є адекватною координатою реакції утворення CaCO<sub>3</sub>, є результати експериментів із виділення CaCO<sub>3</sub> із системи «Ca(OH)<sub>2</sub> + НОН + СО<sub>2</sub>» в умовах дегазації СО<sub>2</sub> продувкою повітрям.

**Початкові параметри** насиченої СО<sub>2</sub> системи: рН = 6.11; рСО<sub>3</sub> = 6.14; р(Ca<sup>2+</sup>) = 3.09; [СО<sub>2</sub>] = 2.16 мМ/дм<sup>3</sup>; CI = 40.8, CI<sub>cr</sub> = 85(мМ/дм<sup>3</sup>)<sup>2</sup>.

Кінетичне рівняння для  $\text{Ca}^{2+}$ , яке ми використали для інтерпретації дослідів із виділення твердого  $\text{CaCO}_3$ , виражається через карбонатний індекс і має такий вигляд:

$$\frac{d(\text{Ca}^{2+})}{dt} = K \cdot S_3(t) \cdot [CI_{cr} - CI(t)], \quad (5)$$

де  $(\text{Ca}^{2+})$  – активна концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $t$  – поточний час;  $K$  – кінетична стала;  $S_3$  – поверхня зародків твердого  $\text{CaCO}_3$ , за гомогенного формування зародків рівна сукупній поверхні зародків, на яких виділяється тверда фаза кальцію; інші позначення подані у (3) та (4).

Дослідні і розраховані за (6) величини порівнюються на рис. 2. З рис. 2 бачимо задовільне узгодження на ділянках  $50 < i < 110$  та  $i > 250$ . На ділянці  $110 < i < 250$  присутні інші супутні процеси, які рівнянням (5) не відображаються. Виділення  $\text{CaCO}_3$  на рис. 2 починається, коли  $CI_{cr} = 15.2 \text{ (мМ/дм}^3)^2$ , що відповідає виміру з номером  $i = 40$ , після якого  $CI_{cr}(H, t) < CI(t)$ .

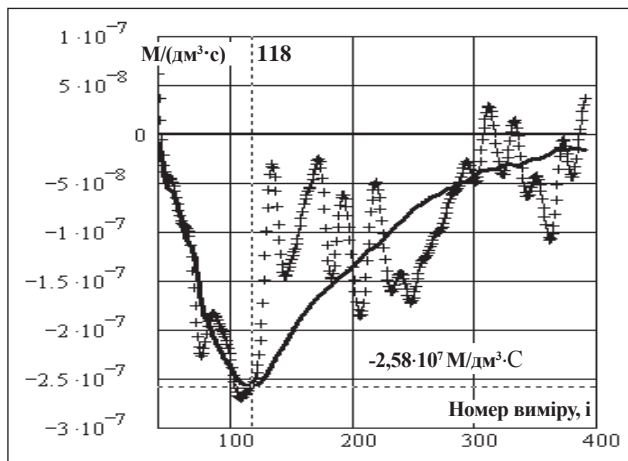


Рис. 2. Швидкості витрати іонів кальцію  $d(\text{Ca}^{2+})/dt$ . Суцільна – крива розрахунок за (5), ламана – дослідні дані. Горизонтальна штрихова лінія – мінімум кінетичної кривої, що відповідає номеру виміру  $i_m=118$ ,  $t_m=132$  хв від початку дослідів. Одиниці вимірювання на вертикальній осі,  $\text{M}/(\text{дм}^3 \cdot \text{с})$ .

Як показали дослідження [6], фосфонатні інгібітори зменшують витрату іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , впливаючи на величину кінетичної сталої  $K$  і на поверхню  $S_3$ , але **не змінюють вигляду закону** (5).

Механізм дії фосфонатних комплексонів як інгібіторів відкладень досліджувався багатьма авторами, див. [2]. Він має такі основні канали:

- блокування багатовалентних катіонів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2,3+}$  та ін.) через утворення міцних комплексів із ними; цю здатність кількісно характери-

зують **числом координації** (хелатуванням) – рівним числу катіонів, що є у сфері дії комплексу;

- блокування зон росту **зародків** на їхній поверхні, що гальмує ріст і витрату іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ; що вимірюється залишковою концентрацією цих іонів;

- диспергуюча здатність фосфонатних комплексонів: сорбуючись на поверхні зародків іони комплексонів формують їхній поверхневий заряд, стабілізуючи так їхню дисперсію; ця здатність контролюється кінетикою розсіювання світла на дисперсії, у яку додано інгібітори.

**Концентрації фосфонатів**, необхідні для ефективного гальмування росту відкладень, розміщені переважно в межах  $(1 \div 40) \text{ г/м}^3$ , що для ОЕДФК становить  $(5 \div 200) \text{ мМ/м}^3$ , а для НТФК –  $(2.5 \div 85) \text{ мМ/м}^3$  [6, 7]. Концентрації  $\text{Ca}^{2+}$  приблизно в тисячу раз більші  $(1.0 \div 45) \text{ М/м}^3$ , тому не можна говорити про стехіометричне комплексування, хоча і це можливе за високих концентрацій інгібітора.

Логічне пояснення субстехіометричної дії інгібіторів у межах дифузійної теорії зроблене в [7]. Приймавши, що одна молекула інгібітора блокує на зародку поверхню  $\Delta S_i$ , для мольної концентрації інгібітора, здатної гальмувати ріст зародків, отримуємо такий вираз [7]:

$$C_{\mu, i} = \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{D_{s\mu}}{D_i} \right)^{1.5} \cdot \frac{C_{s\mu} \cdot R_g \cdot T}{(2\sigma_3 + \sigma_{3п} - \sigma_{пр}) \cdot N_A \cdot \Delta S_i} \cdot \ln(SI), \quad (6)$$

де  $C_{s\mu}$  – мольна концентрація ( $\text{М/м}^3$ ) компонента відкладень, концентрація якого у розчині найменша (іони кальцію, гідрокарбонату чи карбонату);  $R_g$  – газова стала;  $N_A$  – число Авогадро;  $\sigma_3$ ,  $\sigma_{3п}$ ,  $\sigma_{пр}$  – поверхневі енергії зародків на межі «зародок – поверхня» та «поверхня – розчин»;  $D_{s\mu}$ ,  $D_i$  – коефіцієнти дифузії відповідного компонента відкладень та інгібітора;  $SI$  – індекс насичення, який визначається таким виразом:

$$SI = \frac{CI}{CI_{cr}}. \quad (7)$$

З нього випливає, що концентрація інгібітора, яка гальмує ріст зародків, залежить не лише від умов на поверхні зародків, але і від дифузійного переносу інгібітора до зародка, тобто від кінематичних властивостей середовища. І, найцікавіше, ця концентрація пропорційна до **логарифма індексу насичення та температури** розчину.

Крім того, інгібітори, гальмуючи ріст зародків, створюють умови для утворення їхньої великої



кількості малого розміру, що зумовлює підтримання в розчині більшого перенасичення. Будучи біполярними, вони абсорбуються поверхнею зародків і завдяки електростатичному відштовхуванню стабілізують дисперсію зародків.

Величину  $\Delta S_i$  в (6) можна вважати «силою інгібітора». В [7] визначили величини  $\Delta S_i$  для: амінофосфонової (АМ),  $M_\mu = 97$ ,  $\Delta S_i = 1.2 \cdot 10^{-17} \text{ м}^2$ ; полімелікової (ПМ),  $M_\mu = 800$ ,  $\Delta S_i = 7.4 \cdot 10^{-17} \text{ м}^2$  та поліакрилової (ПА),  $M_\mu = 5000$ ,  $\Delta S_i = 1.8 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2$  кислот.

Порівнюючи  $\Delta S_i$ , бачимо, що *полімерні молекули можуть бути ефективнішими інгібіторами порівняно з молекулами фосфонатів*.

Наша оцінка  $\Delta S_i$  для НТФК за виразом (6) за  $t = 20^\circ\text{C}$  дає величину  $\Delta S_i(\text{НТФ}) = 2,8 \cdot 10^{-17} \text{ м}^2$ , а для ОЕДФК –  $\Delta S_i(\text{ОЕДФ}) = 2,1 \cdot 10^{-17} \text{ м}^2$  (8)

За величиною  $\Delta S_i$  інгібітори можуть бути ранговані таким рядом:

$$\text{АФК} < \text{ОЕДФК} < \text{НТФК} < \text{ПМК} < \text{ПАК}. \quad (9)$$

Зауважимо, що з (6) випливає, що в оборотних системах для довільного початкового  $SI_0$  всупереч загальній практиці *відсутня концентрація інгібітора*, за якої досягається повна зупинка росту відкладень, оскільки додавання інгібітора в оборотну воду автоматично збільшує  $SI$  і вимагає наступного збільшення його концентрації. Отже, інгібітори відкладень не можуть повністю припинити їх утворення та ріст, навіть за високих концентрацій. Проте, застосовуючи інгібітори, можемо контролювати швидкість росту відкладень на прийнятному для виробництва рівні, наприклад, на електростанціях впродовж періоду між двома планово-попереджувальними ремонтами.

**Висновки.** Відкладення, що виникають на технологічних поверхнях оборотних систем охолодження електростанцій і промислових підприємств внаслідок їхньої низької теплопровідності, призводять до зменшення коефіцієнта теплопередачі теплообмінних апаратів і пов'язаних із цим втрат. Крім того, вони збільшують гідравлічний опір і провокують процеси корозії та знижують надійність систем.

Основним складником відкладень є карбонат кальцію. Утворення кальцієвих відкладень пояснюється реакцією депротонізації гідрокарбонатного іона в полі іона кальцію та низькою розчинністю  $\text{CaCO}_3$ . Внаслідок цього для прогнозування відкладень коректно застосовувати *карбонатний індекс*. Він також дає змогу отримати кінетичне рівняння для швидкості виділення твердого  $\text{CaCO}_3$ .

Ефективним засобом зменшення інтенсивності карбонатних відкладень є інгібітори. Мольна концентрація інгібітора, потрібна для гальмування відкладень, залежить від логарифма індексу насичення. Проте додавання інгібітора його збільшує, що, у свою чергу, вимагає збільшення концентрації інгібітора. Отже, повністю зупинити відкладення так неможливо. Інгібітори лише гальмують швидкість росту відкладень, даючи змогу підтримувати їх ріст на прийнятному рівні.

Ефективність інгібіторів зручно описувати їхньою силою. Сила інгібітора пропорціональна до площі поверхні зародка, яка контролюється молекулою інгібітора. Внаслідок цього інгібітори, молекули яких мають більші розміри і масу, є, відповідно, з більшою кількістю активних груп за інших рівних обставин ефективніші (приклад: ОЕДФК, що має дві функціональні групи та НТФК, яка має їх три).

#### Список літератури:

1. Кочмарский В.З., Поспелов Д.Н. Состояние проблемы противонакипной обработки воды в СССР. Киев : Знание, 1986. 20 с.
2. Дриккер Б.Н. Предотвращение минеральных отложений и коррозии в системах водного хозяйства с использованием фосфорсодержащих комплексонов : докт. дисс. Москва : МХТИ им. Д. Менделеева, 1991. 459 с.
3. Кочмарский В.З., Кочмарский О.В. Відкладення в оборотних системах ТЕС. Теплова енергетика. Нові виклики часу / наук. ред. П.Й. Омеляновський, Й.С. Мисак. Львів : Укр. технол., 2009. 660 с. ISBN 978-966-345-194-7.
4. Гаєвський В.Р., Кочмарський В.З. Підвищення ефективності оборотних систем охолодження мінімізацією кальцій-карбонатних відкладень. Рівне : Видавн. НУВГП, 2018. 154 с. ISBN 978-966-327-38309.
5. Карзов Г.П. Проблемы и перспективы применения конструкционных материалов для горизонтальных парогенераторов. Мат. Раб. Совещ. ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, 2011. 10 с.
6. Гаєвський В.Р. Кристалізація  $\text{CaCO}_3$  з гідрокарбонатних розчинів. *Вісник РДТУ*. Рівне, 2000. Вип. 3 (5). Ч. I. С. 233–242.
7. Pritchard A.M. Deposition of hardness salts. *Fouling Science and Technology* / L.F. Melo et. al. (eds.). Kluwer Academic Publishers, 1988. P. 261–273.



**Kochmarskii V.Z., Gajevskiy V.R., Kuba V.V., Soliak L.V. MODELING THE IMPACT OF INHIBITORS ON DEPOSITION IN WATER HEAT – TRANSFER AGENTS**

*The formation of solid calcium carbonate is described by the deprotonation reaction of the hydrocarbonate ion in the calcium ion field. Consequently, to predict calcium deposits, it is correct to use a carbonate index (CI), the critical value of which for low-concentrated waters with respect to CaCO<sub>3</sub> formation is given by the expression  $CI_{cr}(H^+, t) = L_{CaCO_3}(t) \cdot (H^+) / K_2(t)$ , (H<sup>+</sup>) – active concentration of hydrogen ions, K<sub>2</sub> is the second-order dissociation constant of carbonic acid, t-temperature. Using the concept of carbonate index the equation for the rate of change Ca<sup>2+</sup> ions concentration (kinetic equation for Ca<sup>2+</sup>) has been formulated which adequately describes the experimental data on the formation of solid CaCO<sub>3</sub> from the model solution. The impact of phosphonate inhibitors on the rate of CaCO<sub>3</sub> formation has been investigated. Such inhibitors have been found to alter the kinetic constant in the kinetic equation but do not change its form. The influence of the inhibitors is based on blocking the growth zones of the CaCO<sub>3</sub> nuclei. The concentration of inhibitors that inhibit the growth of nuclei depends not only on the conditions on their surface, but also on the diffusion transfer of the inhibitor to the nucleus, i.e. the kinematic properties and temperature of the solution. The strength of the inhibitor is proportional to the surface area of the nucleus, which is controlled by the molecule of the inhibitor, so inhibitors with a larger size and mass having more functional groups under other equal circumstances are more effective. Inhibitors by their strength (effectiveness) can be placed in a row:*

$$AF < OEDF < NTF < PM < PA,$$

*where AF is aminophosphonic, OEDF is oxyethylidenediphosphonic, NTF is nitrilotrimethylphosphonic, PM is polymelic, PA is polyacrylic acids.*

*The molar concentration of inhibitor required for inhibition of deposits is proportional to the logarithm of the saturation index. Adding an inhibitor increases the, saturation index which in turn requires an increase in the inhibitor concentration. Therefore, it is not possible to completely stop the deposition by inhibitors. Inhibitors only slow down the rate of deposition to an acceptable value, for example, for the time between two scheduled preventive repairs.*

**Key words:** *deprotonation reaction, carbonate index, kinetic equation, inhibitor strength, effective inhibitor concentration.*

УДК 631.22:631.95]:574  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/07>

**Лаврищев О.О.**  
ННЦ «ІМЕСГ»

**Новосилецький Ю.Л.**  
Житомирський агротехнічний коледж

**Русецька Н.М.**  
Житомирський агротехнічний коледж

## ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПОВІТРЯНИМИ ВИКИДАМИ З ТВАРИНИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

У статті надано інформацію про сучасний стан розвитку тваринницької галузі в Україні та актуалізовано необхідність впровадження засобів очищення повітря у тваринницьких приміщеннях. Подано дані з експорту продукції тваринництва та птахівництва, що зростають і, відповідно, спонукають до активного будівництва нових або переоблаштування старих будівель. Також наведено величини показників різних забруднюючих факторів, що утворюються під час протікання технологічних процесів у тваринницьких комплексах. Стисло розглянуто переваги та недоліки трьох типів фільтрів. Наведено нормативні граничні показники для забруднюючих речовин у тваринницьких приміщеннях для забезпечення нормативного складу повітряного середовища під час утримання птахів і тварин. Запропоновано шлях зменшення витрат енергії на нагрівання припливного. Наведено схеми встановлення обладнання в різній комплектації залежно від поставленої мети. Вказано санітарні норми для тваринницьких комплексів і фермерських господарств, що утримують птахів або будь-які види тварин та залежно від об'ємів виробництва належать до трьох класів. Залежно від того, до якого класу належить виробництво, під санітарну зону відокремлюються придатні до сільськогосподарської діяльності землі і під час впровадження електротехнічного комплексу з вологим електрофільтром у його складі ці площі можуть ефективно використовуватись за будь-яким призначенням. Тож застосування електротехнічного комплексу очищення повітря з вологим електрофільтром приводить до значного зменшення кількості небезпечних речовин і бактерій у повітрі, яке викидається назовні з фермерських приміщень, що покращує екологічне становище навколишнього середовища та надає змогу ефективно використовувати великі площі земель, які відводились під санітарну зону (не використовувались). Це призводить до збільшення прибутків від виробництва. А також у холодну пору року значно зменшуються видатки на підігрівання повітря, яке надходить, що також відчутно впливає на зменшення грошових витрат.

**Ключові слова:** екологія, очищення повітря, фільтр, вологий електрофільтр, осушувач повітря.

**Постановка проблеми.** Аналіз функціонування сільськогосподарської галузі України в останні роки показує активне нарощування виробництва продукції птахівництва та певне зменшення обсягів виробництва тваринництва [1]. Враховуючи активну підтримку Урядом країни сільського господарства [2] та значне збільшення експорту всіх видів продукції тваринництва, а саме – живих тварин (на 60%), м'яса та субпродуктів (46%), молокопродуктів (22%), пташиних яєць (22%), жирів і масел тваринного походження (140%) [3], можливо спрогнозувати активне будівництво або реконструкцію малих і середніх комплексів із вирощування

тварин і птахів. На теренах держави збереглась велика кількість будівель радянської доби сільськогосподарського призначення, які придатні для переоблаштування під сучасні фермерські комплекси. Проблемою переоблаштованих приміщень і навіть тих, які збудовані за новітніми технологіями, є велика кількість викидів шкідливих газів і бактеріального забруднення в навколишнє середовище. За наближеними даними [4], за холодний період року з одного телятника на 10 тисяч поголів'я в повітря викидається 103 млрд мікробів, 23 кг аміаку та інше. Навколо свинарських комплексів і пташників залежно від пори року до того ж поширюються

специфічні запахи: зимою – на 0,5 км, а літом – до 5 км [5,6]. Саме тому актуальним є впровадження в системи, що створюють мікроклімат у сільськогосподарських приміщеннях, систем фільтрації викидного повітря, які забезпечать відповідність викидного повітря нормативним вимогам рівня Європейських країн та, відповідно, значно покращать екологічний стан прилеглих територій фермерських господарств.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематикою очищення викидного повітря промислових приміщень сільськогосподарських виробництв займається ціла низка вчених різних країн: В.М. Яропуд, О.М. Дубін, О.В. Василенко, Є.Г. Слаутенко, Ю.В. Герасимчук, О.Ф. Довбненко, К.В. Кукурудзяк, Л.І. Лейбович та інші.

**Постановка завдання.** Огляд типів фільтрів, що існують, з вказівкою на їхні переваги і недоліки у роботі, а також розгляд схем встановлення комплексу обладнання в різних варіантах включення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Переважна більшість розробок з очищення повітря спрямована на застосування спеціальних апаратів – фільтрів, які розрізняються за типом створення контактуючої поверхні між робочою рідиною (хімічним реагентом) і викидним повітрям (Рис. 1).

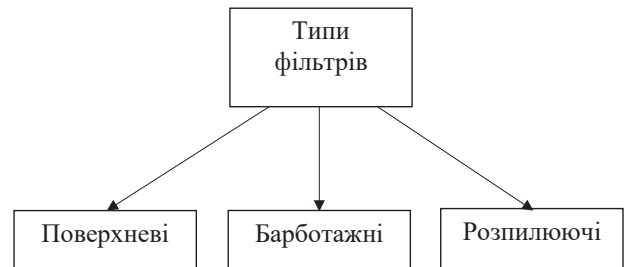


Рис. 1. Розподіл фільтрів за типом створення контактуючої поверхні

Принцип роботи агрегатів першого типу полягає в контактуванні плівки робочої рідини, яка стікає (або розтікається) по поверхні, та забрудненого повітря. Другий тип агрегатів збільшує поверхню

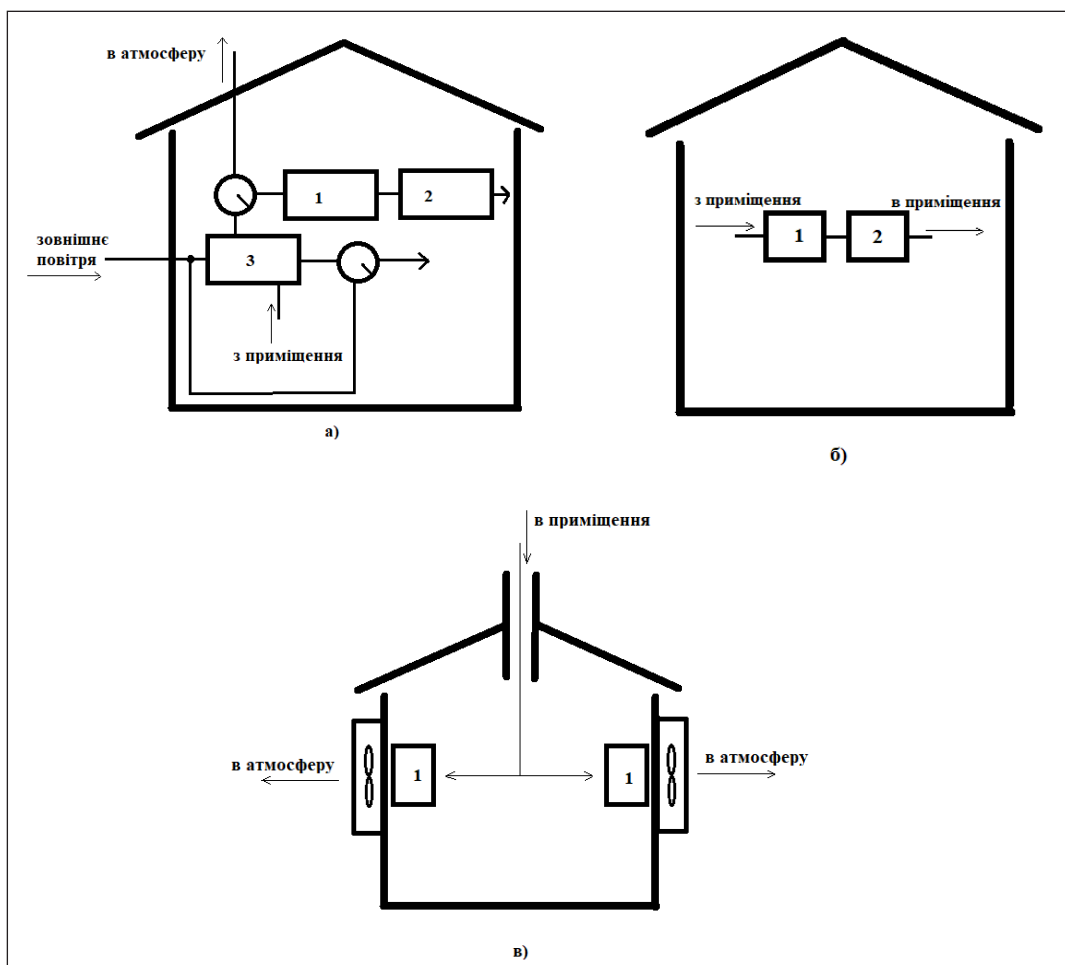


Рис. 2. Варіанти встановлення обладнання в тваринницьких приміщеннях: 1 – вологий електрофільтр, 2 – осушувач повітря, 3 – рекуперативний теплоутилізатор

контакту між викидним повітрям і робочою рідиною через продування викидного повітря крізь шар робочої рідини з утворенням пухирців, але такий тип очищення надзвичайно енерговитратний. У третьому типі агрегатів контакт між робочою рідиною та забрудненим повітрям відбувається через розпилення робочої рідини безпосередньо в потоці повітря. В таких агрегатах якість очищення значно залежить від дисперсності робочої рідини, що розпилюється.

Не залежно від типу фільтра, що планується використовувати в тваринницькому приміщенні, йому необхідно відбирати з викидного повітря такі складники: діоксид вуглецю, аміак, сірководень. У разі забезпечення ефективної очистки до встановлених меж: діоксид вуглецю – 4,94 г/м<sup>3</sup>, аміак – 0,02 г/м<sup>3</sup>, сірководень – 0,01 г/м<sup>3</sup> [7], є можливість спрямувати очищене повітря в приміщення вторинно, оскільки вміст кисню в ньому ще достатній для нормального дихання. Це особливо важливо в холодну пору року, оскільки повітря вже має необхідну та зручну для утримання тварин температуру і не витрачається енергія на нагрів холодного припливного повітря. На рис. 2 представлено варіанти встановлення вологого електрофільтра поверхневого типу.

На рис. 2 позиція (а) представлено електротехнічний комплекс, який забезпечує нагрів припливного повітря ззовні через рекуператор теплоти, а також очищувач та осушувач викидного повітря. Використання такого комплексу дає змогу в холодні періоди економити значні кошти на підігріванні припливного повітря, оскільки викидне повітря після очищення та осушення використовується ще раз. Крім повного циклу, є можливість використовувати окремо суміщені вологий електрофільтр та осушувач повітря у тваринницькому приміщенні

без примусової вентиляції та нагріву повітря (Рис. 2, позиція б), а також використовувати вологий електрофільтр виключно для очищення викидного повітря без осушення (Рис. 2, позиція в) у разі, коли мова йде тільки про дотримання норм екологічної безпеки територій, що оточують тваринницьке приміщення.

Відповідно до Санітарних норм і правил об'єкти тваринництва [8] залежно від кількості поголів'я можуть бути віднесені до 1 (свинарники, комплекси ВРХ та крупні пташники), 2 (середні за розмірами свинарники та комплекси ВРХ до 2000 голів) або 3 (комплекси ВРХ до 1200 голів) класу. Для кожного класу встановлено нормовану санітарну зону: 1 клас – 1000 м, 2 клас – 500 м, 3 клас – 300 м. Враховуючи габаритні розміри (протяжність і ширину) будівель тваринницьких комплексів, ми отримуємо величезні втрати площ земель, придатних для використання, але не використовуваних через те, що вони перебувають у зоні надзвичайно забрудненого повітря. Саме тому всі три варіанти використання вологого електрофільтра (Рис. 2) пропонуються для забезпечення дотримання вимог до викидного повітря щодо вмісту забруднюючих речовин (пари аміаку, сірководню, пилу, діоксид вуглецю, мікроорганізмів).

**Висновки.** Активне впровадження вологих електрофільтрів у систему повітрообміну тваринницьких приміщень дасть змогу значно зменшити викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище, що приведе до збільшення площ земель, що придатні до використання навколо модернізованих приміщень, або дасть змогу більш щільно спланувати забудівлю нових приміщень, а також допоможе фермерським підприємствам проходити екологічну сертифікацію за сучасними вимогами ЄС.

#### Список літератури:

1. Кравчук Н.І., Тарасович Л.В., Яремова М.І. Сучасний стан тваринництва та його місце в розвитку сільської економіки. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/06/103-1.pdf> (останнє звернення: 17.09.2019).
2. Програма підтримки сільського господарства від Уряду. URL: <http://dotacii.minagro.gov.ua/ua/grants> (останнє звернення: 14.09.2019).
3. Інформація Державної служби з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів за 2017 рік. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2282059-eksport-majze-vsih-kategorij-produkcii-tvarinnictva-zris-derzsposivsluzba.html> (останнє звернення: 18.09.2019).
4. Зоогиенические нормативы для животноводческих объектов : справочник / Г.К. Волков, В.М. Репин, В.И. Большаков и др. ; под ред. Г.К. Волкова. Москва : Агропромиздат, 1986. 303 с.
5. Торников Ф.Г. Зоогиена в промышленном свиноводстве. Ленинград : Колос, 1980. 229 с.
6. Ветеринарно-санитарные требования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации животноводческих помещений. Москва : ВО «Агропромиздат», 1988.
7. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства : учебник для вузов. 4-е изд. Санкт-Петербург : Политехника, 2010. 428 с.
8. Санітарно-захисна зона сільськогосподарського підприємства. URL: <http://epi.org.ua/human-posts/sanitarno-zahysna-zona-silskogospodarskogo-pidpryemstva/> (останнє звернення: 24.09.2019).

**Lavrishchev O.O., Novosyletskiy Y.L., Rusetska N.M. WAYS TO REDUCE ECOLOGICAL ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AIR EMISSIONS FROM ANIMAL HOUSES**

*The article deals with the information about modern animal husbandry in Ukraine and updating the need to introduce means of air purification in livestock houses. It is submitted information on livestock and poultry export since the growth of these agricultural sectors stimulates construction of new farmhouses or renovation of old ones. It is also given various indicators of pollution arising due to technological processes in livestock breeding complex housing. It is briefly reviewed advantages and disadvantages of three types of filters. It is examined standard emission limit values for supplying normative chemical composition of air for animal and poultry breeding in livestock houses. It is suggested the way of reducing energy consumption for incoming air heating. It is presented some installation configurations of various complete sets of the equipment in accordance with the purpose. It is specified sanitary regulations and standards for livestock breeding complex housing and poultry farms, which are among three categories according to the volume of production. Depending on the category of production, agricultural lands are given for sanitary zone and they can be used effectively for any farm purpose when a complex of electric equipment containing wet filter is installed. Thus, using electrical complex of air pollution control equipment with wet precipitator leads to a significant reduce the amount of dangerous substances and bacteria in the air flowing out from farm houses and it improves the ecological situation of natural environment and gives an opportunity to use a great amount of agricultural lands from sanitary zones. It increases income from production. Besides, it permits reducing expenditure for air heating in a cold season so helps to save costs.*

**Key words:** *ecology, air purification, filter, damp electric filter, air dryer.*



# ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 661.566.097.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/08>

**Авіна С.І.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Привалова Г.С.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Коновалова А.А.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Пензева І.М.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## КОБАЛЬТ-ХРОМ ОКСИДНИЙ КАТАЛІЗАТОР НА СИЛКАТНОМУ НОСІЇ ОКИСНЕННЯ АМОНІАКУ ДО НІТРОГЕН (II) ОКСИДУ

*У статті представлені основні результати досліджень щодо впливу складу та розміру зерен каталізатора на вихід нітроген (II) оксиду у реакції окиснення амоніаку киснем повітря. Окиснення амоніаку до нітрогену (II) оксиду належить до найбільш важливих та складних процесів, який перебігає лише в присутності селективного каталізатора. Висока собівартість та постійно зростаючий дефіцит металів платинової групи спонукає до дослідження щодо повної або часткової їх заміни на неплатиновий каталізатор на основі оксидів різних металічних елементів, розробки технологічних умов експлуатації та апаратурного оформлення процесу окиснення амоніаку на них.*

*Незважаючи на велику кількість проведених досліджень в області розробки та впровадження неплатинових каталізаторів, проблема пошуку контакту альтернативного платині залишається актуальною. Враховуючи те, що каталітичний процес протікає безпосередньо на межі поділу фаз, найбільший інтерес на сьогоднішній день викликають каталізатори на носіях. За умови використання в процесі саме нанесених каталізаторів вміст активних компонентів значно знижується, що сприяє економічній доцільності впровадження неплатинових каталізаторів. Використання носія також забезпечує термічну стабілізацію та запобігає спіканню каталізатора.*

*Необхідно зазначити, що існує вірогідність взаємодії компонентів активної маси з оксидами, які входять до складу носія. Така взаємодія можлива за умови місцевих перегрівів або тривалої експлуатації. Запропоновано рівняння залежності вмісту активних компонентів в нанесеному каталізаторі від концентрації активних компонентів в просочувальному розчині. Представлені дані впливу діаметра зерна каталізатора на вихід цільового продукту. Виявлено, що ступінь перетворення амоніаку до нітроген (II) оксиду зростає зі зменшенням розміру зерна каталізатора. Встановлено, що оптимальне значення кількості нанесеної активної маси має бути не більше 16%. Отримані результати досліджень можна використовувати на сучасних хімічних підприємствах для оптимізації процесу окиснення амоніаку до нітроген (II) оксиду.*

**Ключові слова:** амоніак, нітратна кислота, нітроген (II) оксид, каталізатор, носій.

**Постановка проблеми.** Сучасна нітратна промисловість є важливим виробництвом галузі хімічного виробництва. Вона розвивається на базі новітніх досягнень науки і техніки. Нітратна кислота є одним із найважливіших продуктів для виробництва мінеральних добрив, різноманітних

вибухових речовин, нітросполук для потреб органічного синтезу та інших речовин [1–3].

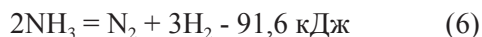
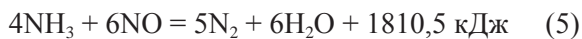
На теперішній час практично єдиним промисловим способом отримання нітратної кислоти є контактне окиснення амоніаку киснем повітря з наступним поглинанням отриманих оксидів

нітрогену водою. Окиснення амоніаку до нітрогену (II) оксиду належить до найбільш важливих та складних процесів, який перебігає лише в присутності селективного каталізатора [4].

У загальному вигляді основні реакції, які можуть перебігати в контактному апараті, описуються наступними рівняннями:



Окрім реакцій (1) – (3), залежно від умов окиснення амоніаку можуть перебігати реакції, які призводять до утворення нітрогену:



У процесі каталітичного окиснення амоніаку до нітроген (II) оксиду використовують каталізаторні сітки на основі металів платинової групи (МПП), а саме платини, паладію, родію [5–6].

Висока собівартість та постійно зростаючий дефіцит МПП спонукає до дослідження щодо повної або часткової їх заміни на неплатиновий каталізатор на основі оксидів різних металічних елементів, розробки технологічних умов експлуатації та апаратурного оформлення процесу окиснення амоніаку на них.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз втрат платиноїдів показав, що останні сітки за напрямком руху газової суміші працюють неефективно та через це їх можна замінити на оксидний каталізатор [7]. Цей факт пояснюється меншим нагрівом перших у порівнянні з іншими, а також накопиченням на цих сітках домішок, які потрапляють у контактний апарат із газовою сумішшю.

У результаті заміни частини сіток на блочний стільникової структури стабілізується процес окиснення та одночасно знижується інтенсивність механічного руйнування платиноїдного каталізатора, а отже його втрати [8]. Вказані каталізатори активно розробляються [9–10], а також пропонуються математичні моделі окиснення на них [11].

Однак впровадження таких систем лише частково вирішує проблему заміни платиноїдного каталізатора та дає стимул щодо пошуку неплатинового каталізатора на основі оксидів різних металічних елементів.

За даними авторів [12] активність змінюється у ряді:  $\text{Co}_3\text{O}_4 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Cr}_2\text{O}_3 > \text{Mn}_2\text{O}_3 > \text{NiO} > \text{CuO} > \text{V}_2\text{O}_5 > \text{TiO}_2 > \text{Sc}_2\text{O}_3$ , у той час як селективність змінюється  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > \text{Mn}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Co}_3\text{O}_4$ .

Авторами [13] запропоновано каталізатор на основі кобальт (II, III), хром (III) та цирконій (IV) оксидів, який дозволяє забезпечити селективність за нітроген (II) оксидом до 97,5%, а також знизити вихід нітроген (I) оксиду в 4,5 рази.

Розроблено оксидний каталізатор на основі ферум (III) та алюміній оксидів з додавання  $\text{V}_2\text{O}_5$  для підвищення термостабільності та міцності контакту за умови збереження високої селективності [14].

Авторами [15] досліджено механізм адсорбції реагентів при окисненні амоніаку на ферум-цирконієвих оксидних каталізаторах та встановлено, що найбільш ефективним є контакт з масовою часткою  $\text{ZrO}_2$  15-20%.

Незважаючи на велику кількість проведених досліджень в області розробки та впровадження неплатинових каталізаторів, проблема пошуку контакту альтернативного платині залишається актуальною.

Враховуючи те, що каталітичний процес протікає безпосередньо на межі поділу фаз, найбільший інтерес на сьогоднішній день викликають каталізатори на носіях.

Запропоновано оксидні каталізатори процесу селективного окиснення амоніаку до нітроген (II) оксид, в якому використовують кобальт (II, III) – хром (III) оксидну активну масу та в якості носія пемзу [16] або  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  та  $\text{TiO}_2$  [17–18].

За умови використання в процесі саме нанесених каталізаторів вміст активних компонентів значно знижується, що сприяє економічній доцільності впровадження неплатинових каталізаторів. Використання носія також забезпечує термічну стабілізацію та запобігає спіканню каталізатора.

Необхідно зазначити, що існує вірогідність взаємодії компонентів активної маси з оксидами, які входять до складу носія. Така взаємодія можлива за умови місцевих перегрівів або тривалої експлуатації, за якої відбувається термічне розкладання  $\text{Co}_3\text{O}_4$  до кобальт (II) оксиду, який може в процесі експлуатації реагувати з оксидами алюмінію та силіцію з утворенням кобальт (II) алюмінату та силікату [19].

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягала у встановленні впливу складу та розміру зерен нанесеного неплатинового каталізатора на вихід нітроген (II) оксиду.

Для досягнення цієї мети було поставлено наступне завдання: встановити залежність впливу кількості нанесених активних компонентів на вихід нітроген (II) оксиду; вивчити вплив розміру зерна каталізатора на вихід основного продукту.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

В якості носія використовували промисловий силікагель КСКГ. Склад та параметри пористої структури носія відповідали вимогам стандарту [20]. Фізико-хімічні характеристики силікагелю марки КСКГ наведені в табл. 1.

Таблиця 1

#### Фізико-хімічні характеристики силікагелю марки КСКГ

Показник	Значення
Діаметр часток, мкм	250-630
Вологоємність % за відносної вологості 100%	70
Масова частка втрат за умови сушки, % не більш	5
Сумарний об'єм пор, см <sup>3</sup> /г	1,2
Діаметр пор, нм	12
Механічна міцність, %	86
Наσιпна щільність, г/см <sup>3</sup>	0,42

В якості прекурсору активного компонента каталізатора використовували кобальт (II) нітрат гексагідрат та хром (VI) оксид.

Для приготування просочувального розчину готували суміш водних розчинів кобальт (II) нітрату гексагідрату та хром (VI) оксиду з урахуванням співвідношення та необхідної кількості нанесених компонентів. Масове співвідношення активних компонентів в перерахунку на Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> та Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дорівнювало 3:1.

Концентрацію активних компонентів в просочувальному розчині варіювали в інтервалі 5-40 мас. %. Просочення проводили на водяній бані БВ-20 MICROmed з магнітною з мішалкою 313 К протягом 30 хвилин. Отриманий каталізатор просушували за температури 378–388 К протягом 2 годин, з наступним прожарюванням за температури 1073 К протягом двох годин. Фракційний склад визначили методом сухого ситового аналізу з використанням сит СЛП- 200.

Встановлено, що залежність вмісту активних компонентів в каталізаторі від концентрації активних компонентів в просочувальному розчині (рис. 1) відповідає рівнянню з коефіцієнтом кореляції 0,997:

$$C_{\text{акт.комп. в каталізаторі}} = 0,47 \cdot C_{\text{акт.комп. в розчині}} + 2,2, \quad (7)$$

де  $C_{\text{акт.комп. в каталізаторі}}$  – вміст активних компонентів в каталізаторі, % за масою;  $C_{\text{акт.комп. в розчині}}$  – масова частка активних компонентів в просочувальному розчині, %;

Вказане рівняння справедливо в інтервалі концентрацій нанесених активних компонентів у каталізаторі 4–24%.

Визначення активності зразків каталізаторів проводили проточним методом на укрупненій лабораторній установці, яка дозволяє моделювати промислові умови під атмосферним тиском. Вміст амоніаку в АПС складав 9,5% об. Лінійну швидкість АПС підтримували на рівні 1,1 м/с. Висота шару каталізатора складала 40 мм.

З підвищенням вмісту активних компонентів в каталізаторі ступень конверсії нітроген (II) оксиду зростає (рис. 2) та досягає максимуму при їх кількості близько 16%. Подальше підвищення вмісту активної маси в нанесеному каталізаторі призводить до зниження мольного виходу нітроген (II) оксиду. Зазначене зменшення очевидно пов'язане зі зниженням дисперсності активного компоненту.

На рис. 3 приведена залежність виходу нітроген (II) оксиду від розміру зерна каталізатора. Різке підвищення виходу нітроген (II) оксиду зі зменшенням діаметру зерна до 1,5 мм пов'язане зі зниженням лінійних розмірів простору між зернами, яке призводить до зростання турбулентності потоку газу.

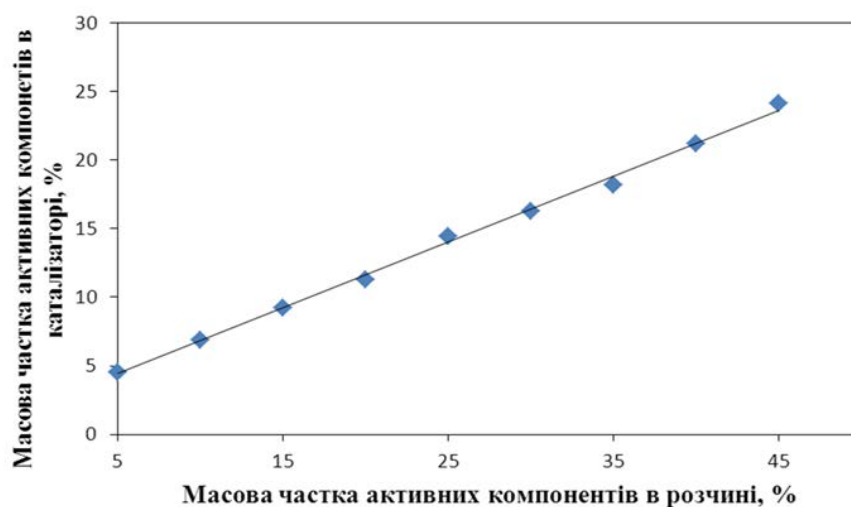


Рис. 1. Залежність вмісту активних компонентів в каталізаторі від концентрації просочувального розчину

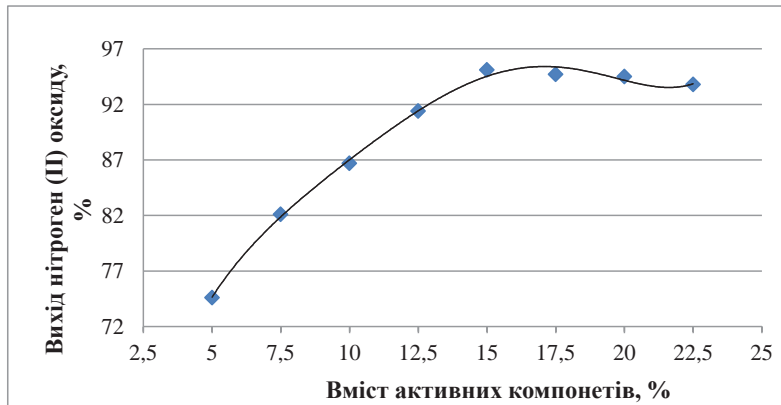


Рис. 2. Залежність ступеня конверсії нітроген (II) оксиду від кількості нанесених активних компонентів

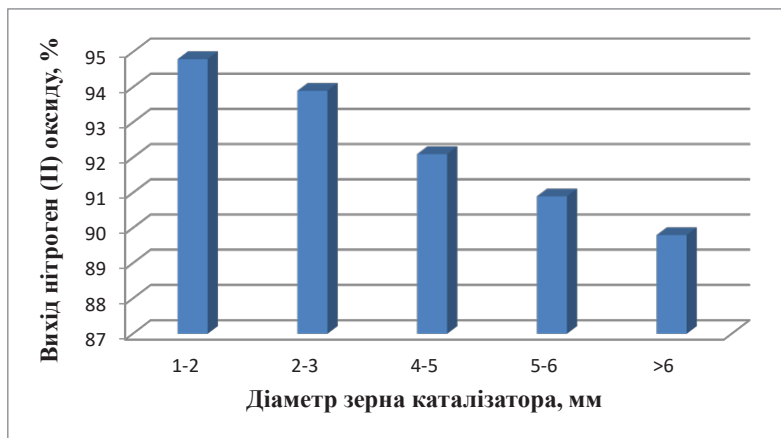


Рис. 3. Залежність виходу нітроген (II) оксиду від діаметру зерна каталізатора

Внаслідок цього знижується вплив побічної реакції взаємодії амоніаку з нітроген (II) оксидом з утворенням азоту та вихід нітроген (II) оксиду підвищується. Зі зменшенням діаметру зерна також спостерігається різкий зріст аеродинамічного опору, що не дозволяє реалізувати отримані переваги.

**Висновки.** Таким чином, у результаті проведених досліджень було запропоновано рівняння залежності вмісту активних компонентів в каталізаторі від концентрації активних компонентів в просочувальному розчині. Проведені дослідження впливу складу нанесеного каталізатора на вихід нітроген (II) оксиду вказують на підвищення ступеня перетворення за умови зростання кількості активних компонентів до 16% від маси каталізатора, подальше підвищення призводить до зменшення виходу через зниження дисперсності каталізатора.

Встановлено, що зменшення розміру зерна каталізатора призводить до підвищення виходу нітроген (II) оксиду, але необхідно враховувати значне зростання аеродинамічного опору шару за умови використання каталізатора з діаметром зерна менше 1,5 мм.

#### Список літератури:

1. Назаров Д.С. Виробничо-експортний розвиток вітчизняної хімічної та пов'язаних з нею галузей промисловості в умовах членства України в СОТ. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Економіка*. 2014. № 19, Вип. 2 (1). С. 133–138.
2. Залізнюк В.П. Європейський ринок мінеральних добрив та позиція України на цьому ринку. *Маркетинг інновацій і інновацій у маркетингу: збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Суми, 24-25 вересня 2015 р.). Суми, 2015. С. 71–74.
3. Гринь Г.І., Кузнецов П.В., Казаков В.В. Історичні етапи зародження та розвитку технології нітратної кислоти контактним методом окиснення аміаку. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: *Історія науки і техніки*. 2008. № 53. С. 33–40.
4. Янковский Н.А., Демиденко И.М. Производство слабой азотной кислоты. Горловка, 2006. 138 с.
5. Савенков А.С., Авіна С.І. Реакція окиснення аміаку. Втрата платиноїдного каталізатора. *Хімічна промисловість України*. 2010. № 5. С. 7–10.
6. Окисление аммиака на тканых и вязаных платиноидных сетках / Ванчурин В.И., Головня Е.В., Ященко А.В. и др. *Катализ в промышленности*. 2011. № 6. С. 28–33.
7. Технология связанного азота / В.И. Атрощенко, А.М. Алексеев, А.П. Засорин [и др.]. К.: Вища шк. Головное изд-во. 1985, 327 с.
8. Разработка и применение двухступенчатой системы окисления аммиака в производстве азотной кислоты с использованием сотовых оксидных катализаторов / В.А. Садыков, Е.А. Бруштейн, Л.А. Исупова и др. *Химическая промышленность*. 1997. № 12. С. 33–38.
9. Катализатор окисления аммиака: пат. 2117528 Россия, № 97103800/04; заявл. 12.03.1997; опубл. 20.08.1998.



10. Блочный катализатор сотовой структуры селективного окисления аммиака до оксида азота: пат. 2207904 Россия № 2002113795/04; заявл. 27.05.2002, опубл. 10.07.2003.
11. Моделирование окисления аммиака на оксидном блочном катализаторе / В.С. Бесков В.С., Е.А. Бруштейн, В.И. Ванчурин [и др.] *Катализ в промышленности*. 2010. № 3. С. 45–48.
12. Катализатори в технології неорганічних речовин : монографія / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О.Я. ЛОБОЙКО, А.М. БУТЕНКО [та ін.]; за ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО, О.Я. ЛОБОЙКО; Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». Х. : Підручник НТУ «ХПІ», 2013. 219 с.
13. Катализатор для другого ступеня окиснення аміаку: пат. 87611 Україна. № 200800210 ; заявл. 04.01.2008 ; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.
14. Катализатор для окиснення аміаку: пат. 50996 Україна № 2001117708, заявл. 12.11.2001 ; опубл. 15.11.2002, Бюл. № 11.
15. Близнюк О.М. Савенков А.С., Огурцов О.М. Fe-Zr-O катализатори. Кінетичне дослідження взаємодії з реакційним середовищем високотемпературного окиснення аміаку. *Хімічна промисловість України*. 2010. № 5. С. 3–6.
16. Спосіб приготування модифікованого оксидного катализатора процесу селективного окиснення амоніаку до нітроген (II) оксиду: пат. 79474 Україна № 201211798, заявл. 12.10.2012 ; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8.
17. Привалова Г.С., Авина С.И., Лобойко А.Я., Бутенко А.Н. Исследования Co-Cr катализаторов нанесенного типа, полученных с применением керамических носителей. *Хімічні проблеми сьогодення : збірник тез доповідей I Міжнародної (XI Української) наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених, (м. Вінниця, 24-25 вересня 2015 р.)*. Вінниця, 2019. С. 262.
18. Спосіб приготування нанесеного катализатора: пат. 114243 Україна № 201606201; заявл. 07.06.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5/2017.
29. Вдосконалення технології нанесеного неплатинового катализатора окиснення амоніаку до нітроген (II) оксиду. А.М. Бутенко, Г.С. Привалова, О.Я. Лобойко, С.І. Авина, О.В. Кобзев. *The scientific heritage*. Budapest, Hungary. 2017. № 13. Vol. 1. P. 59–63.
20. ГОСТ 3956-76 Силикагель технический. Технические условия. М., 1976. 13 с.

#### **Avina S.I., Pryvalova G.S., Konovalova A.A., Penzeva I.M. COBALT-CHROMIUM OXIDE CATALYST ON SILICATE CARRIER OF AMMONIA OXIDATION TO NITROGEN DIOXIDE**

*In the article major results of researches of influence of the composition and size of the grain of the catalyst to yield of nitrogen dioxide in ammonia oxidation reaction with air oxygen are presented. Currently, practically the only industrial method of producing nitric acid is the contact oxidation of ammonia with oxygen, followed by the absorption of the obtained nitrogen oxides with water. Oxidation of ammonia to nitrogen (II) oxide is one of the most important and complex processes, which occurs only in the presence of a selective catalyst.*

*The high cost and ever-increasing deficiency of platinum products prompts research into the complete or partial replacement of the non-platinum catalyst on the basis of oxides of various metallic elements, the development of technological conditions of operation and equipment for the process of ammonia oxidation on them. Despite extensive research on the development and implementation of non-platinum catalysts, the problem of finding alternative platinum contact remains relevant. Due to the fact that the catalytic process proceeds directly at the interface, catalysts on the media are now of the greatest interest. When used in the process of deposited catalysts, the content of active components is significantly reduced, which contributes to the economic feasibility of introducing non-platinum catalysts.*

*The use of a carrier also provides thermal stabilization and prevents the catalyst from sintering. As a result of the conducted researches the equation of dependence of the content of active components in the catalyst on the concentration of the active components in the impregnating solution was proposed. Conducted studies of the effect of the composition of the deposited catalyst on the output of nitrogen (II) oxide indicate an increase in the degree of conversion with the increase in the number of active components to 16% by weight of the catalyst, further increase leads to a decrease in yield due to the decrease in the dispersion of the catalyst. It was found that reducing the size of the catalyst grain leads to an increase in the yield of nitrogen (II) oxide, but it is necessary to take into account the significant increase in the aerodynamic resistance of the layer when using a catalyst with a grain diameter of less than 1,5 mm.*

*The equation of dependence of the content of active components in applied catalyst from concentration of active components in treating solution is offered.*

**Key words:** ammonia, nitric acid, nitrogen dioxide, catalyst, carrier.

**Анікєєва П.С.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Пилипенко О.І.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## ВПЛИВ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОЛІЗУ НА ДИНАМІКУ ОКИСЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti6Al4V У РОЗЧИНАХ ФОСФАТНОЇ КИСЛОТИ

*Представлені результати дослідження особливостей утворення оксидних плівок на сплаві Ti6Al4V у розчинах фосфатної кислоти. Формувальні залежності сплаву дозволили встановити, що утворення оксидних плівок при електрохімічному окисленні поверхні анода у розчинах  $H_3PO_4$  визначається величиною густини струму  $j_a$ . За  $j_a < 0,5 \text{ A}\cdot\text{дм}^{-2}$  задана напруга на комірці не досягається і суцільна оксидна плівка не утворюється; при використанні більших  $j_a$  на поверхні сплаву утворюються тонкі плівки, які за своєю природою відносяться до інтерференційно-забарвлених. Лінійна форма формувальних залежностей, отриманих за  $j_a = 1-5 \text{ A}\cdot\text{дм}^{-2}$ , вказує на утворення щільних малопористих плівок, які забезпечують пасивність сплаву у розчині електроліту. Тривалість електролізу, яка відповідає часу формування оксидної плівки максимальної для даних умов товщини, визначається величиною кінцевої напруги на комірці  $U$  і не залежить від густини струму, концентрації і природи електроліту.*

*Встановлена відповідність напруги кольору і товщині плівки в діапазоні  $U = 10-100 \text{ В}$ . Залежності тривалості формування плівки від анодної густини струму в діапазоні  $j_a = 1-5 \text{ A}\cdot\text{дм}^{-2}$  мають лінійний характер. При зниженні  $j_a$  до значень, менших за  $1 \text{ A}\cdot\text{дм}^{-2}$ , лінійність не спостерігається. Результати пояснюються тим, що формування оксиду у гальваностатичному режимі проходить в умовах наявності постійного градієнта потенціалу в оксидній плівці, який обумовлює пропорційне зростання максимальної товщини оксиду внаслідок збільшення кількості електрики і відповідного зростання маси окисленого металу.*

*Отримані дані пропонується використовувати при розробці ресурсозберігаючої технології електрохімічного окислення титанового сплаву Ti6Al4V з метою одержання плівок з ізолюючими властивостями для підвищення хімічної стійкості сплаву при використанні у розчинах електролітів*

**Ключові слова:** анодна поляризація, електрохімічне окислення, оксидна плівка, формувальна залежність, градієнт потенціалу, ресурсозберігаюча технологія, хімічна стійкість.

**Постановка проблеми.** Висока хімічна стійкість, доступність та технологічність титану і титанових сплавів обумовлюють широке використання матеріалів цього класу у різноманітних областях сучасної техніки. Особливістю чистого титану є пластичність і недостатня міцність при роботі в умовах механічного навантаження. У промисловості більше використання мають титанові сплави, оскільки легування цього металу іншими елементами дозволяє одержати матеріали з необхідними властивостями. До широко використовуваних титанових сплавів відноситься сплав марки Ti6Al4V (BT6), який має високу питому міцність, добре обробляється різанням і свердлінням. Цей сплав використовують для виготовлення відповідальних деталей, важливою вимогою до яких є забезпечення необхідної корозійної стійкості в умовах експлуатації.

Корозійна стійкість титанових сплавів може знижуватись при збільшенні числа легуючих елементів [1, 2]. Для її підвищення поверхню сплавів модифікують шляхом формування оксидних покриттів. Окисдування дає змогу одержати плівки, товщина яких у сотні разів більша природних, що має забезпечити більш глибоку пасивацію і відповідно підвищити хімічну стійкість сплаву. Оксидні плівки на титані одержують декількома методами: термічним або плазмовим окисленням [3, 4], гідролітично-електрохімічним осадженням [5], дифузійним насиченням [6], електрохімічним окисленням [7–12]. Останній метод окисдування, який іноді називають анодуванням, є найбільш розповсюдженим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Електрохімічне окисдування титану є темою значної кількості робіт [13–22]. Застосування

електрохімії дає можливість отримувати однорідні плівки з широким спектром властивостей. Наприклад, в роботах [13–15] досліджене оксидування титану в кислих розчинах для виявлення взаємозв'язку між режимом процесу і забарвленням плівок.

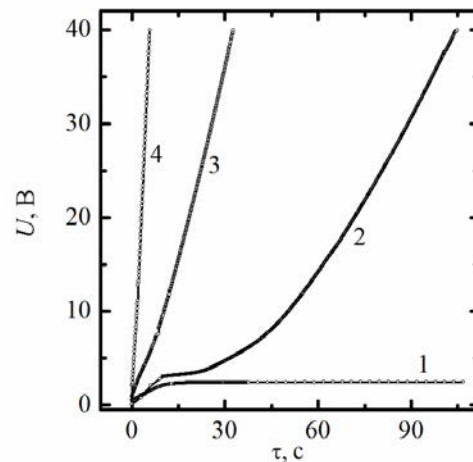
Стаття [16] присвячена встановленню впливу умов електролізу у сульфатному електроліті на структуру плівки. Показано, що забарвлення оксидного шару визначається товщиною та структурою оксиду [17]. Анодне окислення титану в суміші тартратної, оксалатної і сульфатної кислот для поверхневої модифікації запропоновано використовувати в [18]. У [19] проведено аналіз впливу напруги на забарвлення титанових зразків, оброблених в цитратно-карбонатному електроліті. Поверхнева модифікація титану шляхом оксидування в сульфатному електроліті досліджена в [20]. Дослідженню структури плівок  $\text{TiO}_2$ , отриманих в цитратно-сульфатному електроліті, присвячена робота [21].

Незважаючи на велику кількість експериментальних даних з електрохімічного окислення, наявні результати не містять інформації щодо впливу умов оксидування на товщину плівки і тривалість її формування у гальваностатичному режимі, яка є основним показником процесу. Тому проведення досліджень в даному напрямку є передумовою для розробки контрольованого способу отримання оксидних плівок із заданими властивостями.

**Постановка завдання.** Мета роботи – дослідження динаміки окислення сплаву  $\text{Ti6Al4V}$  у розчинах фосфатної кислоти для встановлення впливу режиму електролізу на формування оксидних плівок.

Виклад основного матеріалу дослідження. **Методика.** Дослідження проводили, використовуючи зразки у вигляді пластин зі сплаву розмірами  $70 \times 20 \times 5$  мм. Зразки шліфували наждачним кругом, знежирювали водною суспензією  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і травили у суміші  $\text{HNO}_3 + \text{HF}$  (3:1). Між операціями зразки промивали водопровідною і дистильованою водою. Оксидування проводили у гальваностатичному режимі, задаючи за допомогою джерела Б5-50 кінцеву напругу на комірці (10–100 В з кроком 10 В). Напругу на комірці вимірювали мультиметром Keithley-2000. Електроліз проводили у скляному хімічному стакані об'ємом 250 мл, який для виключення нагрівання струмом розміщували у кристалізаторі, заповненому водою. Допоміжним електродом служив свинець. Кислоти, використані для проведення дослідження, відповідали реактивам кваліфікації «ч.».

**Результати досліджень.** Динаміку окислення поверхні сплаву досліджували шляхом реєстрації залежностей напруги на електрохімічній комірці під час протікання електролізу (рис. 1). Як видно з рисунку, форма залежності обумовлюється анодною густиною струму  $j_a$ . За  $j_a$  в діапазоні  $0,2\text{--}0,5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$  формувальні залежності нелінійні і часто не відтворюються. За  $j_a = 0,2 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$  задане значення напруги не досягається. Це обумовлене тим, що формування плівки складається з двох конкуруючих процесів – електрохімічного утворення плівки та конкуруючого процесу хімічного розчинення плівки у електроліті. Перший процес обумовлює збільшення товщини плівки, що приводить до зростання електричного опору електрода і відповідного збільшення падіння напруги на комірці. Поява горизонтального плато на залежності  $I$  (рис. 1) вказує на те, що процес проходить у стаціонарному режимі, коли швидкості формування і розчинення плівки однакові. Окислення за  $j_a = 0,5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$  характеризується появою на формувальній залежності плато, що вірогідно свідчить про наявність гальмування процесу заповнення поверхні сплаву шаром оксиду.



**Рис. 1.** Формувальні залежності, одержані на сплаві  $\text{Ti6Al4V}$  в умовах анодної поляризації у розчинах фосфатної кислоти.  $j_a, \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ : 0,2(1); 0,5(2); 1(3); 0,75(4); 2(5); 5(6).  $U = 40 \text{ В}$ ;  $c_A = 100 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$

При окисленні сплаву за  $j_a$  в діапазоні  $1\text{--}5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$  формуються тонкі плівки з діелектричними властивостями, на що вказує лінійна залежність між напругою і тривалістю електролізу. Плівки, одержані в цих умовах, майже не мають пор, що відповідає великому значенню електричного опору і гарним захисним властивостям. Товщина і колір плівки, сформованої у гальваностатичному

режимі, визначається кінцевим значенням напруги на комірці. Відповідність формуючої напруги в діапазоні 10–100 В кольору і товщині плівки, розрахованої на у припущенні, що вона складається з діоксиду титану, наведена у табл. 1.

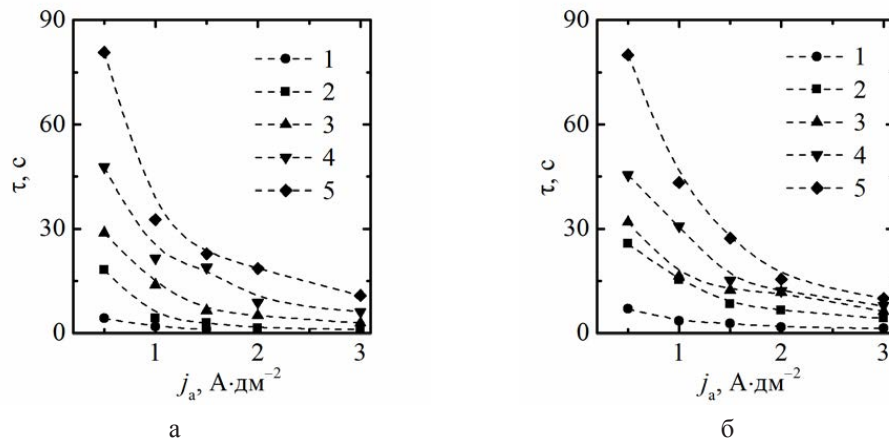
Таблиця 1

**Відповідність напруги товщині і кольору оксидної плівки на сплаві Ti6Al4V**

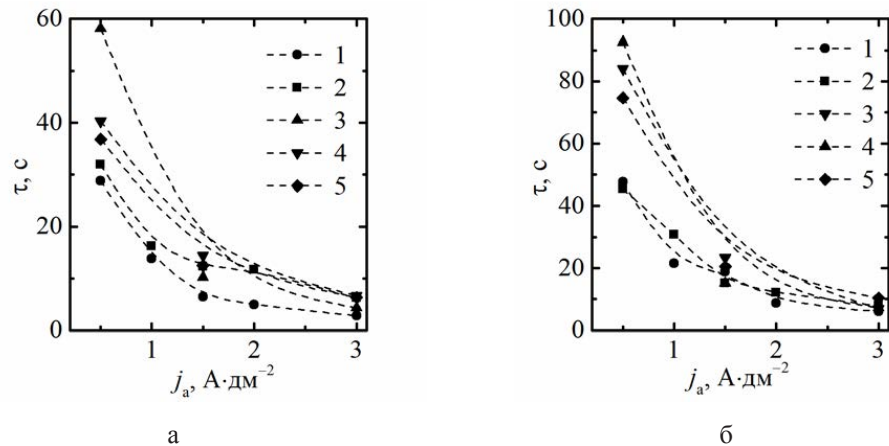
Напруга $U$ , В	Товщина плівки, мкм	Колір плівки
10	0,018	коричневий
20	0,034	синій
30	0,064	блакитний
40	0,072	світло-зелений
50	0,090	жовтий
60	0,104	золотавий
70	0,119	малиновий
80	0,151	темно-бірюзовий
90	0,178	світло-бірюзовий
100	0,215	зелений

Одержані залежності тривалості електролізу, які відповідають часу досягнення граничної для даних умов процесу товщини плівки, від густини струму мають характерну форму (рис. 2), яка зберігається для всього ряду кривих, одержаних на зразках, окисдованих у однакових умовах (криві 1–10). Як видно з рисунку, час, необхідний для досягнення граничної товщини оксиду, насамперед залежить від густини струму та істотно знижується при її зростанні. При послідовному підвищенні значення формуючої напруги спостерігається збільшення тривалості електролізу (криві від 1 до 10).

Експерименти, проведені в умовах зміни концентрації електроліту, показали, що підвищення вмісту фосфатної кислоти  $c_A$  у розчині викликає зменшення часу, необхідного для формування оксиду максимальної товщини (рис. 3). Така залежність спостерігається при зменшенні концентрації  $H_3PO_4$  до 10%. При подальшому зниженні  $c_A$  ця залежність не спостерігається.



**Рис. 2.** Залежність тривалості формування оксидної плівки від густини струму у 85 % (а) і 42,5 % (б) розчинах фосфатної кислоти.  $U$ , В: 10(1); 30(2), 50(3), 70(4), 90(5)



**Рис. 3.** Залежність тривалості формування оксидної плівки від густини струму.  $c_A$ , %: 85(1), 42,5(2), 21(3), 10(4), 5(5). а –  $U = 50$  В, б –  $U = 70$  В



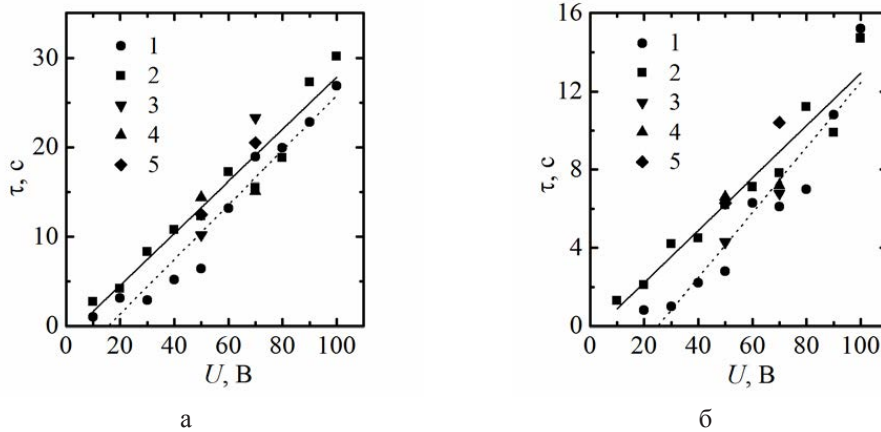


Рис. 4. Залежність тривалості формування оксидної плівки від формуючої напруги.  $c_A$ , %: 85(1), 42,5(2), 21(3), 10(4), 5(5).  $j_a$ , А·дм<sup>-2</sup>: 1,5(а); 3(б)

Залежність тривалості формування оксидної плівки від формуючої напруги  $U$  для ряду однакових густин струму також має лінійний характер (рис. 4). Зростання величини кінцевої напруги на комірці обумовлює зростання тривалості формування оксидної плівки при електрохімічному окисненні сплаву, причому характер залежностей є незмінним для всіх досліджених розчинів фосфатної кислоти. Зміна концентрації фосфатної кислоти у розчині в межах 5–85% не впливає на зміну тривалості росту плівки, тобто гранична товщина плівки залежить насамперед від величини кінцевої напруги на комірці.

Анодне окислення титану описується рівнянням  $Ti - 4e + 2H_2O \rightarrow TiO_2 + 4H^+$ , яке є результатом складного процесу, однією зі стадій якого є іонізація титану з утворенням іонів  $Ti^{4+}$ . Під дією градієнта електричного поля ці іони мігрують крізь решітку оксиду. Зона, в якій відбувається зустріч іонів  $Ti^{4+}$  і кисню, точно не встановлена. Припускають, що утворення нового шару оксиду відбувається на зовнішній поверхні електрода. Дане твердження підтверджується тим, що при анодному окисленні оксидні плівки не завжди відповідають стехіометричному складу; звичайно вони збагачені киснем з боку контакту електрода з електролітом.

Рушійною силою процесу анодування є наявність значної напруженості електричного поля в плівці при анодному окисненні. Збільшення товщини плівки припиняється при досягненні градієнта потенціалу, який не може забезпечити переміщення іонів через оксид. При окисненні металу в гальваностатичному режимі для підтримки

заданої густини струму необхідна постійна напруженість поля за товщиною плівки. Якщо оксид утворюється при  $j_a = \text{const}$ , напруга на плівці має лінійно збільшуватися, тобто буде спостерігатися лінійне рівняння типу  $x = ay$ , де  $x$  – товщина плівки,  $y$  – напруга,  $a$  – коефіцієнт пропорційності (постійна росту плівки). Величина  $a$  для титану змінюється в межах  $1,9\text{--}6,0$  нм·В<sup>-1</sup>. Ця умова дотримується при окисдуванні сплаву (рис. 1) з лінійним ходом залежностей  $\tau = f(U)$ . Лінійність рівняння пояснює незалежність величини граничної товщини плівки від густини струму електролізу і концентрації електроліту. Дійсно, товщина плівки визначається лише заданою напругою. При збільшенні товщини плівки відбувається поступове зниження градієнта потенціалу і її формування припиняється при досягненні деякого критичного значення  $\Delta U$ , який не може забезпечити руху іонів в решітці оксиду.

**Висновки.** Досліджений процес електрохімічного окислення сплаву Ti6Al4V у розчинах фосфатної кислоти. Показано, що визначальний вплив на вид формувальної залежності має значення анодної густини струму. За  $j_a > 0,5$  А·дм<sup>-2</sup> залежності лінійні, що вказує на формування малопористих плівок. Гранична товщина плівки визначається величиною кінцевої напруги на комірці і не залежить від інших параметрів електролізу. Результати пояснюються тим, що формування плівки відбувається в умовах наявності градієнта потенціалу, величина якого для титану є сталою величиною. Збільшення кінцевого значення напруги приводить до пропорційного збільшення максимальної товщини оксиду.

**Список літератури:**

1. Adya N., Alam M., Ravindranath T., Mubeen A., Saluja B. Corrosion in titanium dental implants: literature review. *J. Indian Prosthodont. Soc.* 2005. Vol. 5. P. 126–131.
2. Mohammed M.T., Khan Z.A., Siddiquee A.N. Surface modifications of titanium materials for developing corrosion in human body environment: a review. *Proc. Mat. Sci.* 2014. P. 1610–1618.
3. John A.A., Jaganathan S.K., Supriyanto E., Manikandan A. Surface modification of titanium and its alloys for the enhancement of osseointegration in orthopaedics. *Curr. Sci.* 2016. Vol. 111. P. 1003–1015.
4. Diefenbeck M., Mückley T., Schrader C., Schmidt J., Zankovych S., Bossert J., Jandt K. D., Faucon M., Finger U. The effect of plasma chemical oxidation of titanium alloy on bone-implant contact in rats. *Biomaterials.* 2011. Vol. 32. P. 8041–8047.
5. Park E.J., Song Y.H., Hwang M.J., Song H.J., Park Y.J. Surface characterization and osteoconductivity evaluation of micro/nano surface formed on titanium using anodic oxidation combined with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> etching and hydrothermal treatment. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2015. Vol. 15. P. 6133–6136.
6. Lubas M., Sitarz M., Jasinski J.J., Jelen P., Klita L., Podsiad P., Jasinski J. Fabrication and characterization of oxygen-diffused titanium using spectroscopy method. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2014. Vol. 133. P. 883–886.
7. Sul Y.T., Johansson C.B., Jeong Y., Albrektsson T. The electrochemical oxide growth behaviour on titanium in acid and alkaline electrolytes. *Med. Eng. Phys.* 2001. Vol. 23. P. 329–346.
8. Sul E.T., Byon E., Wennerberg A. Surface characteristics of electrochemically oxidized implants and acid-etched implants: surface chemistry, morphology, pore configurations, oxide thickness, crystal structure, and roughness. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* 2008. Vol. 23. P. 631–640.
9. Fojt J. Ti–6Al–4V alloy surface modification for medical applicatons. *Appl. Surf. Sci.* 2012. Vol. 262. P. 63–167.
10. Veiga C., Davim J.P., Loureiro A.J.R. Properties and applications of titanium alloys: a brief review. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2012. Vol. 32. P. 133–148.
11. Pilipenko A., Pancheva H., Deineka V., Vorozhbiyan R., Chyrkina M. Formation of oxide films on VT6 alloy in the conditions of anodical polarization in solutions H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018, Vol. 3. P. 33–38.
12. Ivashchenko M., Smirnova O., Kyselova S., Avina S., Sincheskul A., Pilipenko A. Establishing the patterns in the formation of films on the alloy Ti6Al4V in carbonic acid solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. Vol. 5. P. 21–26.
13. Yan Z.M., Guo T.W., Pan H.B., Yu J.J. Influence of electrolyzing voltage on chromatics of anodizes titanium dentures. *Mater. Trans.* 2002. Vol. 43. P. 3142–3145.
14. Diamanti M.V., Del Curto B., Masconale V., Passaro C., Pedefferri M.P. Anodic coloring of titanium and its alloy for jewels production. *Color Res. Appl.* 2012. Vol. 37. P. 384–390.
15. Gaul E. Coloring titanium and related metals by electrochemical oxidation. *J. Chem. Edu.* 1993. Vol. 70. P. 176–179.
16. Shibata T., Zhu Y.C. The effect of film formation conditions on the structure and composition of anodic oxide films on titanium. *Corrosion Sci.* 1995. Vol. 37. P. 253–270.
17. Diamanti M.V., Del Curto B., Pedefferri M.P. Interference colors of thin oxide layers on titanium. *Color Res. Appl.* 2007. Vol. 33. P. 221–228.
18. Lu J., Wei G., Yu Y., Zhao X., Dai Y. Enhanced corrosion resistance of TA2 titanium via anodic oxidation in mixed acid system. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2017. Vol. 12. P. 2763–2776.
19. Napoli G., Paura M., Vela T., Di Schino A. Coloring titanium alloys by anodic oxidation. *Metallurgija.* 2018. Vol. 57. P. 111–113.
20. Hamouda I.M., El-wassefy N.A., Marzook H.A., El-deen A.N., Habib A., El-awady G.Y. Micro-photographic analysis of titanium anodization to assess bio-activation. *Eur. J. Biotech. Biosci.* 2014. Vol. 1. P. 17–26.
21. Choudhary R.K., Sarkar P., Biswas A., Mishra P., Abraham G.J., Sastry P.U., Kain V. Structure, morphology and optical properties of TiO<sub>2</sub> films formed by anodizing in a mixed solution of citric acid and sulfamic acid. *J. Mater. Eng. Perf.* 2017. Vol. 26. P. 4001–4010.

**Anikeeva P.S., Pilipenko O.I. THE INFLUENCE OF THE ELECTROLYSIS MODE ON THE OXIDATION DURATION OF THE SURFACE OF TITANIUM ALLOY Ti6Al4V IN SOLUTIONS OF PHOSPHORIC ACID**

*The investigation data of the peculiarities of the formation of oxide films on the Ti6Al4V alloy in the solutions of phosphoric acid have been given. The forming dependences of an alloy allowed us to establish that the formation of oxide films during the electrochemical oxidation of the anode surface in phosphoric*

acid solutions is defined by the used current density  $j_a$ . At  $j_a < 0.5 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$  the preset voltage is not achieved on the cell and the continuous oxide film is not formed. The use of high  $j_a$  values results in the formation of thin interferentially tinted films.

The linear shape of forming dependences obtained at  $j_a = 1\text{--}5 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$  is indicative of the formation of dense films of a low porosity. The duration of electrolysis that corresponds to the formation time of the oxide film with a maximum thickness for the given conditions is defined by the value of terminal voltage on the cell  $U$  and it is not dependent on the current density, the electrolyte nature and its concentration. The correspondence of the voltage to the film color and its thickness was established in the range of  $U = 10\text{--}100 \text{ V}$ . The dependence of the duration of the film growth on the anode current density in the range of  $j_a = 1\text{--}5 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$  has a linear character. With the decrease in  $j_a < 1 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$  the linearity is not observed. The obtained results are explained by the fact that the formation of oxide in the galvanostatic mode occurs in the conditions of the availability of a constant potential gradient in the oxide film that conditions a proportional growth of oxide of a maximum thickness due to an increase in the amount of electric light and an appropriate increase in the oxidized metal mass.

We suggest using the obtained data for the development of the resource-saving technology of electrochemical oxidation of the titanium alloy Ti6Al4V in order to obtain the films with good insulating properties to improve the chemical resistance of alloy for the operation in electrolyte solutions.

**Key words:** anode polarization, electrochemical oxidation, oxide film, forming dependence, potential gradient, resource-saving technology, chemical resistance.

**Белянська О.Р.**

Дніпровський державний технічний університет

**Біленко Т.Є.**

Дніпровський державний технічний університет

**Колісник Я.О.**

Дніпровський державний технічний університет

**Красніков К.С.**

Дніпровський державний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРОБКИ КАЛЬЦІЄВМІСНИХ ВІДХОДІВ У ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНИХ ДОБРІВ

*У кожному розвиненому цивілізованому суспільстві кількість відходів стає недостатньо контролюваною, що сприяє забрудненню навколишнього середовища, отруєнню води та швидкому поширенню інфекційних захворювань. Утилізація та переробка допомагає зменшити кількість відходів та забезпечує постачання дорогоцінної вторинної сировини в промисловість.*

*Однією з проблем наукового інтересу є раціональне поводження з відходами, включаючи збирання відходів, компостування, споживання, зменшення кількості відходів. У статті представлена нова методика утилізації промислових відходів, яка була створена під час дослідження впливу добавок, що містять кальцій, на вміст метану у отриманому об'ємі біогазу.*

*Досліджено ефект додавання кальцієвмісного шламу ТЕС та розчину кальцієвої селітри в концентраціях 4, 6, 8, 10, 12, 14% у метановому резервуарі з розчином побутових відходів та міських стічних вод. Представлена кінетика накопичення біогазу після додавання мулу з різною концентрацією. Порівнюючи отримані експериментальні і математичні залежності, видно що існує між ними суттєва різниця при додаванні оптимальної концентрації осаду, спостерігається позитивний ефект при експериментальному випробуванні.*

*Визначено якість за концентраціями 25 хімічних елементів отриманих добрив після додавання кальцієвмісного шламу до біореактора. На основі експериментальних даних була розроблена технологія отримання комплексних добрив з використанням регулюючої добавки кальцієвмісного шламу. Представлена лабораторна установка для переробки промислових відходів у комплексне добриво. Крім того, представлена повна технологічна схема переробки кальцієвмісних шлаків та харчових відходів у комплексне добриво.*

**Ключові слова:** *комплексні добрива, кальцієвмісний шлам ТЕС та розчин кальцієвої селітри, харчові відходи, стічні води.*

**Постановка проблеми.** Відходи – одна з найбільших екологічних проблем сучасності. На жаль, лише нещодавно вони зайняли гідне місце на державному рівні у групі питань, які необхідно терміново вирішувати. Відходи стають серйозною проблемою кожного цивілізованого суспільства, оскільки вони недостатньо контролюються, сприяють забрудненню навколишнього середовища, отруєнню вод та розвитку інфекційних хвороб. Утилізація та переробка дозволяє зменшити кількість сміття, а також забезпечити постачання у промисловість дорогоцінної сировини [1, 2].

Серед питань, що становлять інтерес науковців, є раціональне управління відходами, зокрема

збір відходів, компостування, споживання, способи скорочення відходів. У роботі наукових досліджень вибрано пріоритетний напрям відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» – раціональне природокористування. Одним з фахових перспективних напрямків є дослідження, що спрямовані на створення енергозберігаючих технологій переробки та утилізації промислово-побутових відходів з отриманням комплексних добрив, біогазу.

Біогазова технологія дає змогу разом із розв'язанням екологічної проблеми отримувати високоефективні комплексні добрива та енергію у вигляді біогазу. Відомі технології одержання



біогазу з промислово-побутових відходів в наш час використовуються частково. Підприємства Дніпропетровщини все частіше замислюються про альтернативні джерела енергії. ПАТ «Миронівський хлібопродукт» почало будівництво біогазової станції на базі птахофабрики ЗАТ «Оріль-Лідер», а корпорація «Агро-Овен» – на базі свиноферми в с. Оленівка. На біогазових установках ці підприємства отримують теплоу і електричну енергію для власних потреб. До того ж, невирішеним залишається питання утилізації і переробки кальцієвмісних шламів, що роками зберігається на заводах мінеральних добрив, теплоелектростанціях [3, 4]. Такі шлами можуть бути використані в якості добавки до органічного субстрату, створюючи при цьому комплексні високоякісні добрива. Серед значних вагомих переваг використання біогазових технологій є «шкідливий фактор» вмісту в субстраті важких металів, що перешкоджає використанню отриманого добрива в сільському господарстві. Тому в роботі поставлена мета дослідження впливу добавки кальцієвмісних шламів у суміш харчових відходів на якість отриманого добрива.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Покоління біогазових установок росте, як ніколи раніше. Значна кількість сучасних екологічних проблем виникає через локальне нагромадження органічних відходів. Такі відходи мають підлягати утилізації. Рідкий гній із гноєсховищ, рідка консервована біомаса кормових культур зі сховища та інша попередньо зволожена і подрібнена біомаса надходять до вагодозувального пристрою, де змішуються і подаються до підігрівача субстрату [5].

Енергія, що звільняється внаслідок анаеробного процесу, не втрачається як тепло при компостуванні, внаслідок життєдіяльності метанових бактерій вона перетворюється в молекули метану [6].

Використовують чотири методи термічного знешкодження та утилізації твердих побутових відходів: шарове спалювання непідготовлених твердих побутових відходів у топках сміттєспалювальних котлів; шарове або камерне спалювання підготовлених твердих побутових відходів у топках енергетичних котлів; низькотемпературний піроліз твердих побутових відходів з їх підготовкою або без неї; високотемпературний піроліз твердих побутових відходів з їх підготовкою або без неї. Кожний з них певною мірою зменшує об'єм перероблених відходів: від 2% при високотемпературному піролізі до 30% при шаровому спалюванні непідготовлених відходів [7].

Захоронення твердих побутових відходів використовується як міра їх утилізації в наступних випадках: високої токсичності матеріалів; негорючості компонентів відходів та неможливості їх переробки в будівельні матеріали; залишки горючих компонентів відходів [8].

Технологія керованої аеробної ферментації технічно і економічно абсолютно доступна для широкого впровадження в сільських господарствах усіх форм власності. Отримані за даною технологією продукти переробки дешевої місцевої сировини у високоефективні біоорганічні добрива є альтернативою мінеральним добривам для більшості господарств. Застосування продуктів біоферментації дозволяє більш успішно вирішити одну з сучасних найболючіших проблем сільського господарства – відновлення гумусу орного шару українських чорноземів [9].

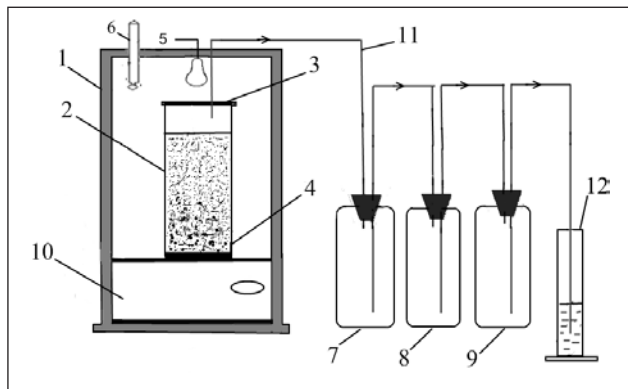
Як зазначають автори роботи [10] проблему виробництва і використання якісних органічних добрив варто сприймати як необхідність створення комплексу таких технологічних прийомів і процесів, що забезпечували б перетворення відходів тваринництва та птахівництва на високоефективні добрива зі сприятливими агрохімічними та санітарно-гігієнічними властивостями.

**Постановка завдання.** Мета роботи – розробити нову енергоекологічну технологію переробки і утилізації кальцієвмісних шламів з отриманням комплексного добрива на основі промислово-побутових відходів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження впливу кальцієвмісних відходів на процес одержання добрива було проведено 2 серії експериментальних досліджень анаеробного метанового бродіння при мезофільному температурному режимі при додаванні почергово у зброджувальну суміш кальцієвмісного шламу ТЕС ПАО «ДніпроАзот» і РКС ПАО «Хімдивізіон» у концентраціях 4, 6, 8, 10, 12, 14% на суху речовину.

На рисунку 1 представлена лабораторна установка переробки промислово-побутових відходів у комплексне добриво, що містить біореактор (метантенк), що підігрівався нагрівачем з терморегулятором для мезофільної температури 34°C, ємності для збору біогазу, циліндра для виміру виділеного біогазу, магнітна мішалка.

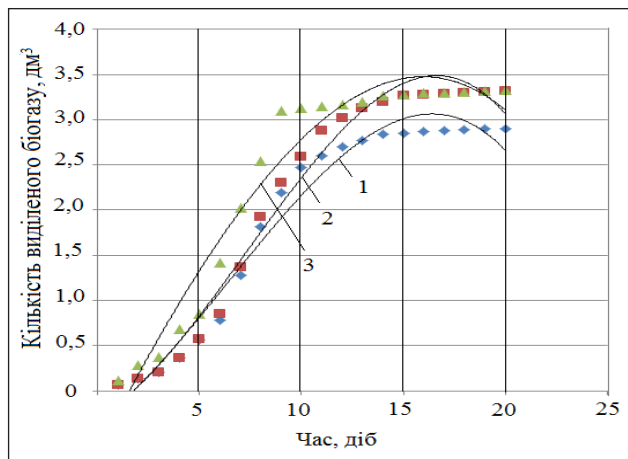
Результати теоретичного розрахунку виходу біогазу в мезофільному режимі:  $V_{gro}$  – швидкість росту мікроорганізмів 0,32 сут<sup>-1</sup>;  $B_{pr.out}$  граничний вихід біогазу дм<sup>3</sup>/кг 1,3 – 1,7; вміст органічної речовини  $C_{org}$  10,3%; вихід біогазу с 1 м<sup>3</sup> біореактора В, дм<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup> 0,8 – 1,96.



**Рис. 1.** Лабораторна установка переробки промислово-побутових відходів у комплексне добриво: 1 – герметичний теплоізолюючий ковпак; 2 – метантенк; 3 – кришка герметична; 4 – нагрівач з терморегулятором; 5 – освітлення; 6 – термометр; 7, 8, 9 – герметичні склянки для збору біогазу; 10 – електромагнітна мішалка; 11 – трубки відводу газу; 12 – циліндр для вимірювання об’єму води

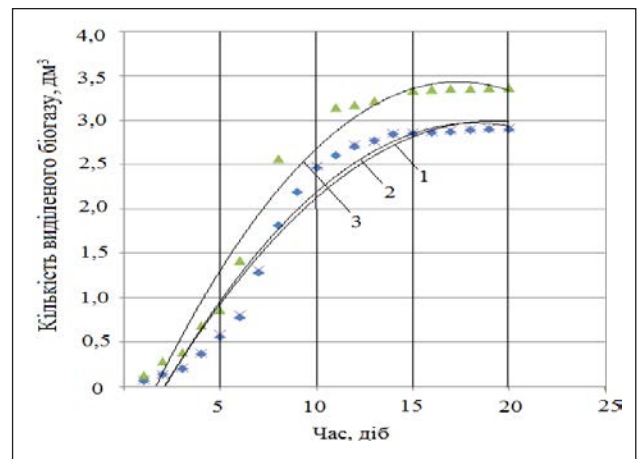
Досліджено вплив добавки кальцієвмісного шламу ТЕС у кількості 4, 6, 8, 10, 12, 14% (рисунок 2) в метантенк з розчином харчових побутових відходів і міської стічної води. Відомо, що чим ефективніше проходить процес метанового бродіння, тим більша кількість виділеного біогазу. Тому, саме за кінетикою виділення біогазу вели дослідження процесу метанування.

Визначено, що додавання шламу менше ніж 4% економічно не вигідно, тому як витрати на збір, транспортування і дозування шламу будуть перевищувати економічний ефект від скорочення тривалості процесу метанування. Згідно усереднених значень кінетики накопичення біогазу при додаванні 4 і 6% шламу ТЕС різниця складає всього 0,02 дм<sup>3</sup> з кілограма сухої загрузки. Додавання 10% кальцієвмісного шламу ТЕС сприяє інтенсифікації виходу біогазу і вже на 15 добу загальна



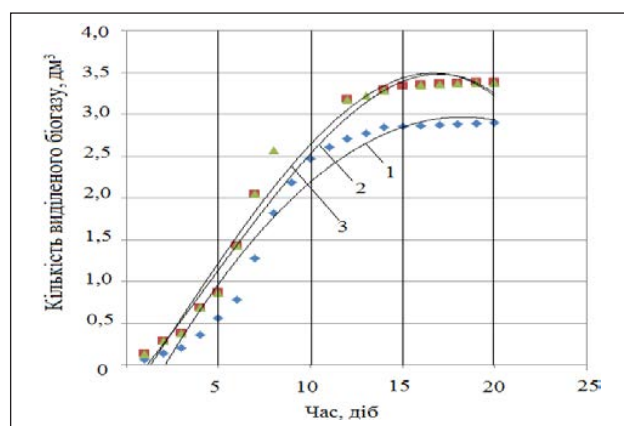
а)

2 – зброджувальна суміш з 4% шламу ТЕС;  
3 – зброджувальна суміш з 6% шламу ТЕС



б)

2 – зброджувальна суміш з 8% шламу ТЕС;  
3 – зброджувальна суміш з 10% шламу ТЕС



в)

2 – зброджувальна суміш з 12% шламу ТЕС;  
3 – зброджувальна суміш з 14% шламу ТЕС

**Рис. 2.** Кінетика накопичення біогазу при додаванні 4 і 6% (а), 8 і 10% (б), 12 і 14% (в) шламу ТЕС порівняно з контрольною сумішшю без добавок: 1 – Контрольна суміш без додавання шламу

кількість отриманого біогазу на 0,7 дм<sup>3</sup> більше з 1 кг сухої загрузки, ніж з контрольної загрузки без додавання шламу.

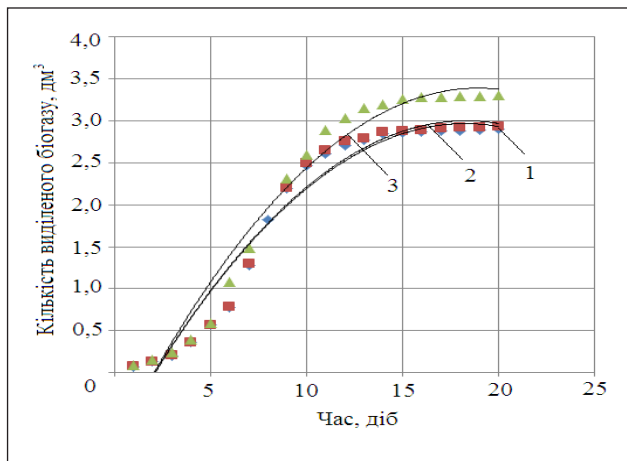
При збільшенні концентрації кальцієвмісного шламу ТЕС з 8 до 14% не спостерігається суттєвого зростання швидкості виділення біогазу, що говорить про створення гранично несприятливого середовища з підвищеним показником рН. За даних концентрацій рН зріс з 7,2 до 9,2. Отже, найбільш безпечними концентраціями кальцієвмісного шламу ТЕС є 6–10% на суху речовину від загального завантаження.

Також досліджено вплив добавки кальцієвмісного шламу РКС у концентрації 4, 6, 8, 10, 12, 14% в метантенк із розчином харчових побутових відходів і міської стічної води (рисунк 3).

Додавання 4% шламу РКС майже не змінює кінетику виділення біогазу. Поліноміальна крива, що

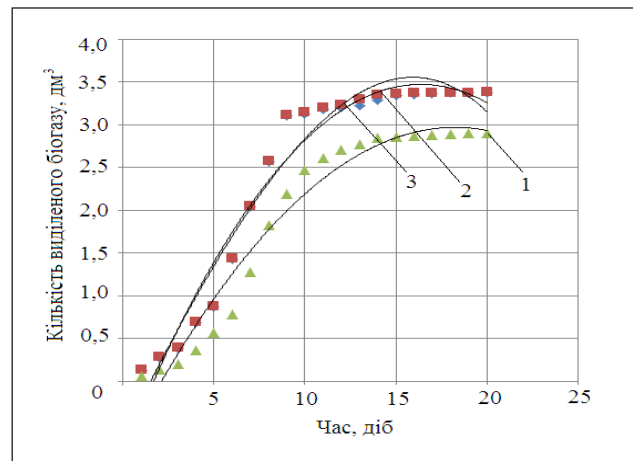
описує процес метанового бродіння суміші відходів з додаванням 4% шламу РКС майже співпадає з кривою, що описує процес метанового бродіння суміші із контрольним завантаженням без додавання кальцієвмісного шламу. При збільшенні концентрації шламу РКС до 6% на суху речовину на 15 добу загальна кількість отриманого біогазу зростає з 2,75 до 3,3 дм<sup>3</sup>. Додавка у метантенк, що працює на відходах харчової промисловості, кальцієвмісного шламу РКС концентраціями 8 і 10% допомагає підвищити швидкість процесу метанування і отримати з 1 кг сухої суміші 3,35–3,45 дм<sup>3</sup> біогазу за 15 діб. Загальний об'єм отриманого біогазу на 15 добу при додаванні 14% шламу РКС становить 1,9 дм<sup>3</sup> з 1 кг сухої суміші, в той час як загальний об'єм отриманого біогазу з контрольної проби становить 2,75 дм<sup>3</sup>.

Отже, найбільш сприятливе середовище для ефективного метанового бродіння харчових



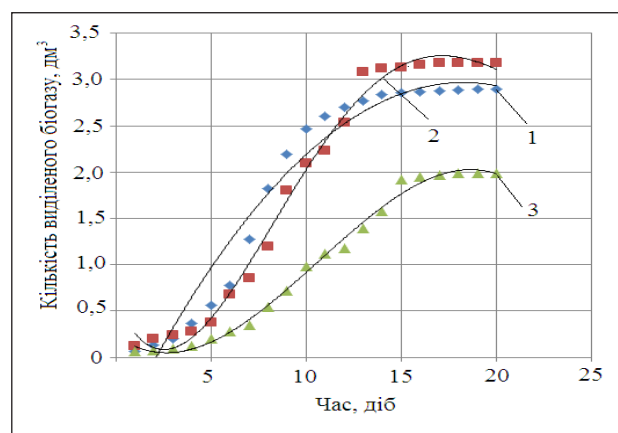
а)

2 – зброджувальна суміш з 4% шламу РКС;  
3 – зброджувальна суміш з 6% шламу РКС



б)

2 – зброджувальна суміш з 8% шламу РКС;  
3 – зброджувальна суміш з 10% шламу РКС



в)

2 – зброджувальна суміш з 12% шламу РКС;  
3 – зброджувальна суміш з 14% шламу РКС

Рис. 3. Кінетика накопичення біогазу при додаванні 4 і 6% (а), 8 і 10% (б), 12 і 14% (в) шламу РКС порівняно з контрольною сумішшю без добавок: 1 – Контрольна суміш без додавання шламу

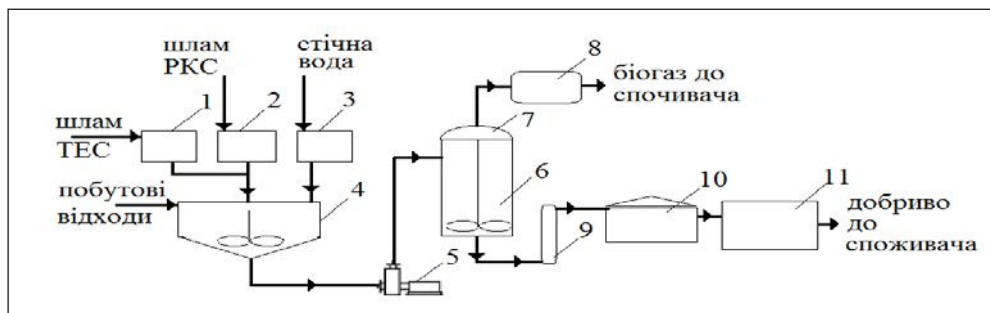


Рис. 4. Технологічна схема переробки кальцієвмісних шламів і харчових побутових відходів в комплексне добриво: 1, 2 – бункери зберігання кальцієвмісних шламів; 3 – збірник стічної води; 4 – змішувач; 5 – дробарка фрезерна; 6 – метантенк мезофільного бродіння; 7 – газгольдер; 8 – відділення очистки біогазу; 9 – елеватор; 10 – ділянка дозування і фасування комплексних добрив; 11 – склад готових добрив

Таблиця 1

Якість отриманих добрив при додаванні в біореактор кальцієвмісних шламів ТЕС і РКС (у %)

№п/п	Найменування мікроелемента	Концентрація мікроелемента, %					
		Концентрація шламу ТЕС			Концентрація шламу РКС		
		6	8	10	8	10	6
1	Si	8,837	9,117	8,852	0,007	0,035	0,041
2	P	0,065	0,023	0,022	2,016	1,064	1,017
3	S	0,002	0,021	0,018	0,016	0,043	0,015
4	Cl	0,078	0,075	0,081	0,103	0,114	0,077
5	K	2,112	3,901	2,805	19,902	14,072	12,580
6	Ca	35,873	36,572	36,617	45,230	52,980	28,908
7	Ti	2,647	2,022	2,953	0,021	0,022	0,022
8	Cr	0,036	0,012	0,016	0,031	0,016	0,023
9	Mn	0,229	0,123	0,135	0,058	0,017	0,160
10	Fe	12,253	4,238	4,169	0,233	0,372	0,243
11	Ni	0,02	0,014	0,016	0,02	0,02	0,024
12	Cu	0,015	0,007	0,007	0,017	0,006	0,007
13	Zn	0,041	0,017	0,015	0,026	0,027	0,019
14	Br	0,009	0,006	0,006	0,009	0,003	0,005
15	Rb	0,073	0,004	0,003	0,010	0,002	0,003
16	Sr	0,120	0,013	0,013	0,015	0,005	0,010
17	Ag	0,303	0,025	0,018	0,034	0,012	0,019
18	Cd	0,104	0,027	0,016	0,039	0,013	0,018
19	Re	0,009	0,001	0,008	0,004	0,001	0,002
20	N	30,334	38,086	38,461	32,025	31,007	53,605
21	Al	5,345	4,086	4,079	0,021	0,013	3,098
22	Zr	0,409	0,524	0,518	0,009	0,018	0,020
23	Tb	1,085	1,084	1,092	0,084	0,137	0,083
24	W	-	-	-	0,001	0,001	0,001
25	Eu	-	-	-	0,069	-	-

відходів у стічній міській воді утворює добавка кальцієвмісного шламу РКС концентраціями 6–12%. Експериментальні дані описуються лініями тренду з поліномом другого ступеню, при чому коефіцієнт апроксимації дорівнює 0,82–0,89, тобто близький до одиниці, що свідчить про високий ступінь відповідності лінії з даними.

Наступним етапом досліджень було визначення якості отриманих добрив при додаванні в біореактор 6–10% кальцієвмісних шламів ТЕС і РКС (таблиця 1). Видно, що концентрації металів в добриві не перевищують гранично допустимих, являються безпечними для навколишнього середовища. Найвищі концентрації Ca 45,230–52,980%,



P 2,016–1,064%, K 14,072–19,902% спостерігаються при додаванні 8–10% кальцієвмісного шламу РКС. При додаванні кальцієвмісного шламу ТЕС спостерігається зростання концентрації Fe 4,238–12,253%, Al 4,086–5,345%, концентрація сполук Ca залишається в межах 35,873–36,617%, що обумовлює природу походження шламів ТЕС. Отже, при використанні вищенаведених кальцієвмісних шламів для їх подальшої утилізації і переробки слід враховувати кінцеві якісні показники отриманого добрива, а також вимоги споживача до комплексного добрива. Спираючись на отримані результати досліджень, складена загальна технологічна переробки кальцієвмісних шламів і харчових побутових відходів у комплексне добриво, яку можна впровадити на базі класичних очисних споруд, де існує стадія біологічного очищення стічних вод та на міському сміттєзвалищі.

На рисунку 4 показана принципова технологічна схема переробки кальцієвмісних шламів і харчових побутових відходів в комплексне добриво.

Принципова технологічна схема переробки кальцієвмісних шламів і харчових побутових відходів у комплексне добриво включає бункери зберігання кальцієвмісних шламів (1, 2) і збірник стічної води для забезпечення стабільного запасу шламів і рідини для розведення суміші бродіння. Критерій Рейнольдса для сировини з початковою вологістю близько 99% повинен дорівнювати  $42,4 \cdot 10^3$ , тривалість подрібнення фрезерною мішалкою 4,6 хвилини; якщо вологість сировини буде близько 96% – критерій Рейнольдса повинен бути  $29,93 \cdot 10^3$ , диспергування триватиме 3,5 хвилини; а якщо вологість сировини буде до 92%, то критерій Рейнольдса повинен становити  $17,47 \cdot 10^3$ , тривалість процесу – 2,4 хвилини.

Кальцієвмісний шлам концентрацією 6–10% разом зі стічною водою потрапляє в змішувач (4) з побутовими харчовими відходами. Процес триває 10–15 хвилини. Після чого суміш надходить до дробарки фрезерної (5), де відбувається попередня механічна обробка суміші протягом 2–6 хвилини для інтенсифікації наступного процесу метанового

бродіння. Після дробарки (5) подрібнений субстрат направляють до метантенку (6), де суміш зброджується протягом 20 діб. Протягом усього строку бродіння утворений біогаз із газгольдера (7) потрапляє на очистку від сполук сірки та інших небажаних домішок на відділення очистки (8), потім повертається до споживача. Утворене добриво елеватором (9) подається на ділянки дозування і фасування (10) в пластикову тару та зберігається на складі (11) готового добрива.

**Висновки.** Розроблено методику, в якій використовується лабораторна установка для переробки промислово-побутових відходів, дослідження впливу добавки кальцієвмісних шламів на якість метанового бродіння за об'ємом виділеного газу, тому як саме добавка кальцієвмісних шламів при певних концентраціях може при зміні показника рН і співвідношення C:N як прискорювати, так і гальмувати процес утворення біогазу в метантенку.

У роботі досліджено вплив добавки кальцієвмісних шламів ТЕС і розчину кальцієвої селітри у концентраціях 4, 6, 8, 10, 12, 14% в метантенк із розчином харчових побутових відходів і міської стічної води.

Експериментально визначено вплив добавки кальцієвмісних шламів на якість отриманого добрива, так при додаванні в зброджувальну суміш харчових відходів кальцієвмісного шламу ТЕС концентраціями 6–10% можливо отримати добриво з наступним вмістом живильних речовин на суху речовину, %: P 0,022–0,065, K 2,112–3,901, Ca 35,873–36,617, Fe 4,169–12,253, N 30,334–38,461; а при добавці шламу РКС концентраціями 6–10% добриво буде наступної якості на суху речовину, %: P 1,017–2,016, K 12,580–19,902, Ca 28,908–52,980, Fe 0,233–0,372, № 31,007–53,605.

На основі зібраних даних розроблено нову технологічну схему переробки кальцієвмісних шламів і харчових побутових відходів у комплексне добриво, де суміш зброджується протягом 20 діб. Нова технологія дозволить ефективно переробляти кальцієвмісний шлам і харчові побутові відходи в якісне комплексне добриво.

#### Список літератури:

1. Карпіщенко О.І. Еколого-економічні проблеми використання мінеральних добрив. *Вісник Сумського державного університету*. 2013. № 2. С. 5–11.
2. Якушко С.І. Установка комплексної переробки органічних відходів за енергозбережною технологією. *Вісник Сумського державного університету*. 2006. № 12 (96). С. 81–85.
3. Мельников Л.Ф. Органомінеральні добрива. Теорія і практика їх отримання і застосування / Леонід Филиппович Мельников. Санкт-Петербург : изд-во СПбГПУ, 2007. С. 306.
4. *Gospodarka odpadami. Przykłady rozwiązań / Po redakcją Tomasza Walkowicza, Pawła Głuszyńskiego, Piotra Rymarowicza. Kraków: Ogólnopolskie Towarzystwo Zagospodarowania Odpadów „3R”, 1998. 298 s.*

5. Ambrożewicz P. Zwarty system zagospodarowywania odpadów / Paweł Ambrożewicz. Białystok : Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, 1999. 90 s.
6. Głuszyński P. SpalarNIE! Czyli jak powstrzymać lobby spalarniowe i rozwiązać problem odpadów / Paweł Głuszyński, Piotr Rymarowicz, Darek Szwed. Oświęcim – Kraków : Federacja Zielonych, Ogólnopolskie Towarzystwo Zagospodarowania Odpadów „3R”, 1994. 120 s.
7. Барков В.И. Моделирование микробиологического процесса в биореакторе. *Scientific proceedings of international scientific and technical conference “agricultural machinery”*. 2015. № 3. С. 47–49.
8. Тверді побутові відходи: джерела утворення та екологічний аспект проблеми. *Електронний ресурс*: <http://ru.osvita.ua/vnz/reports/ecology/21366/>.
9. Возняк Ю.В. Біоорганічні добрива – біологічному землеробству. Електронний ресурс: <https://www.ar25.org/article/bioorganichni-dobryva-biologichnomu-zemlerobstvu.html>.
10. Скрильник Є., Кудлай Т. Як отримати якісний перегній. *Вісник цукровиків України*. 2012. № 11 (78). С. 16–18.

**Bielianska O.R., Bilenko T. Ye., Kolisnyk Ya.O., Krasnikov K.S. STUDY OF PROCESSING OF CALCIUM-CONTAINING WASTES IN THE TECHNOLOGY OF COMPLEX FERTILIZERS**

*Waste is one of the biggest environmental problems of our time and, unfortunately, it has only recently taken a decent place in the group of issues that need to be addressed urgently. In every developing civilized society waste is becoming insufficiently controlled, it contributes to environmental pollution, water poisoning and to a fast spread of infectious diseases. A disposal and recycling helps reduce waste and ensures the supply of precious raw materials to the industry. One of the problems of scientific interest is the rational management of a waste, including waste collection, composting, consumption, waste reduction.*

*The article presents a new technique for an industrial waste recycling, which was created during the influence study of calcium-containing sludge supplements on the quality of methane fermentation in terms of a received gas volume. The addition effect of calcium-containing sludge from a thermal power station and the solution of calcium nitrate in concentrations of 4, 6, 8, 10, 12, 14% in methane tank with a solution of household waste and urban waste water was investigated in the work. Pictures show the biogas accumulation kinetics after addition of sludge with different concentrations. Visual and mathematical comparison of mentioned pictures leads to conclusion about a significant difference and a positive effect of optimal sludge concentration.*

*The quality of the obtained fertilizers after addition of calcium-containing sludge to the bioreactor is studied and presented in the table with resulting concentrations of 25 chemical elements comparing sludge percentages.*

*On the basis of experimental data, a technology for obtaining complex fertilizers using a regulating additive of calcium-containing sludge was developed. Laboratory installation for processing industrial waste into a complex fertilizer is presented. In addition a full technological scheme for recycling of calcium-containing sludges and food waste into a complex fertilizer is presented.*

**Key words:** *complex fertilizers, calcium-containing sludge of thermal power stations and calcium nitrate solution, food waste, sewage water.*

УДК 628.164

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/11>**Гомеля М.Д.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»**Степова О.В.**

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

**Камасєв В.С.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»

## РОЗРОБКА ІНГІБІТОРІВ ОСАДКОВІДКЛАДЕНЬ У ВОДАХ З ВИСОКОЮ МІНЕРАЛІЗАЦІЄЮ

У результаті проведених досліджень вивчено процеси осадковідкладень у слабо- та високо мінералізованих водах. В роботі показано, що стабільність води щодо відкладення осадів мало залежить від рівня мінералізації, а визначається головним чином концентрацією іонів кальцію та карбонатів або сульфатів.

Показано, що стабільність шахтних вод нафтовидобування щодо осадковідкладень при відносно високих концентраціях іонів кальцію і магнію головним чином залежить від концентрації гідрокарбонатів при концентраціях сульфатів до 30 мг-екв/дм<sup>3</sup> і при вищих концентраціях сульфатів головним процесом накипування є відкладення гіпсу.

Проведено дослідження по синтезу та оцінці ефективності інгібіторів осадкоутворення у водах з різним рівнем мінералізації. Інгібітор осадковідкладень на основі диметилфосфінової кислоти отримали при обробці диметилфосфінату натрію сульфідом натрію, а інгібітор на основі фосфористої кислоти та етаноламіну отримали при їх високотемпературній конденсації в присутності формальдегіду.

Встановлено, що модифікована сульфідом диметилфосфінова кислота та отримана із моноетаноламіну, формальдегіду та фосфористої кислоти нітрилоксетилен диметилфосфонова кислота є ефективним інгібітором осадковідкладення і не поступаються за ефективністю відомим фосфонатним реагентам.

Показано, що синтезовані сульфонатні та фосфонатні реагенти, які є ефективними інгібіторами накипування можна отримувати із доступних реагентів, що забезпечує значне зниження їх собівартості в порівнянні із відомими фосфонатними реагентами. Розроблені інгібітори, наряду з відомими інгібіторами забезпечують ефективну стабілізацію мінералізованих шахтних вод, що утворюються в процесі нафтогазовидобування, по відношенню до осадковідкладення.

**Ключові слова:** корозія, інгібітор, мінералізація води, ступінь захисту від корозії, стабілізаційний ефект.

**Постановка проблеми.** Не дивлячись на великий спектр існуючих інгібіторів осадковідкладень та корозії, проблема пошуку нових високоефективних реагентів залишається досить гострою. Пов'язано це з тим, що ряд ефективних інгібіторів є дорогими і застосування їх не рентабельне, інші недостатньо ефективні. Крім того, в промисловості, особливо у видобувній галузі, часто зустрічаються такі нестабільні щодо відкладення осадів середовища, в яких навіть найкращі інгібітори неефективні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні відомо багато результатів досліджень, присвячених розробці ефективних інгібіторів осадковідкладень. Дані реагенти широко використовуються у промисловості. Насамперед вони

досить широко використовуються у видобувній промисловості, металургії та енергетиці [1, с. 40].

Гостро стоїть проблема боротьби із осадковідкладеннями в шахтних та пластових водах у нафто- та газовидобуванні [2, с. 329–339, с. 457, 3 с. 251–257].

В теплообмінній апаратурі як альтернатива пом'якшенню води все ширше застосовуються реагенти для стабілізаційної обробки [4, с. 20–24].

Забезпечувати надійну роботу водоциркуляційних систем у промисловості та енергетиці можна шляхом попередньої фізико-хімічної обробки води для зниження її солемісту, або при використанні інгібіторів осадковідкладень [5, с. 998–1011]. У зв'язку з високою вартістю будівництва і забезпечення експлуатації станцій пом'якшення

та знесолення води, застосування ефективних інгібіторів осадковідкладень є більш перспективним. Враховуючи те, що відомі високоєфективні добавки є дороговартісними, а об'єми вод, які слід обробляти, є досить великими, то актуальним є пошук нових, доступних інгібіторів осадковідкладень [6, с. 55–56]. При цьому важливо, щоб розроблені інгібітори осадковідкладень були ефективними інгібіторами корозії металів [7].

Найбільш широко інгібітори корозії та осадковідкладень використовуються у водоциркуляційних системах охолодження та теплопостачання [8, с. 25–42] та в технологіях газо- та нафтовидобування [9, с. 24–37].

На сьогодні добре вивчені інгібітори осадковідкладень на основі неорганічних полі- і метафосфатів, ефірів фосфорної кислоти, фосфонових та амінофосфонових кислот [10, с. 47–48, 11, с. 192].

**Постановка завдання.** Метою роботи було створення нових процесів отримання високоєфективних інгібіторів відкладення осадів та оцінка їх ефективності в різних середовищах в порівнянні із відомими реагентами.

Для вирішення поставленої наукової задачі було визначено основні завдання дослідження:

- 1) оцінити стабільність різних водних середовищ щодо осадковідкладень та їх корозійну активність щодо металів;
- 2) розробити ефективний метод синтезу фосфінатно-сульфатних інгібіторів осадковідкладень;
- 3) визначити ефективність розроблених інгібіторів щодо осадковідкладень в порівнянні з відомими реагентами.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

У роботі використані відомі та синтезовані реагенти. Серед відомих реагентів-інгібіторів накипоутворення та корозії були використані оксиди етилендифосфорова кислота (ОЕДФК) та нітрилтриметилфосфорова кислота (НТМФК) та їх натрієві солі. Крім них використовували синтезовану із пара форму та гіпофосфіту натрію натрієву сіль диметилфосфорова кислота (НДМФК), синтезовану із НДМФК та сульфату натрію натрієву сіль диметилсульфонатфосфінової кислоти (НДМСФН) та отриману із моноетаноламіну та фосфористої кислоти нітрилоксиетилдиметилфосфорова кислоту (НОЕДФК).

Як середовище використовували модельні розчини, водопровідну та артезіанську води, характеристики яких наведені в табл. 1. Реагенти застосовували в концентраціях: 0,1; 2; 5; 10; 20; 30; 35 мг/дм<sup>3</sup>.

Для оцінки ефективності інгібіторів осадковідкладення до проб водних розчинів об'ємом 100 см<sup>3</sup> додавали задану концентрацію реагенту. В контрольні проби реагенти не додавали.

Проби розчинів витримували 6 годин у термостаті при температурі 95°C. Контроль проводили по зміні жорсткості розчину. Для цього визначали жорсткість вихідних розчинів перед нагріванням та після нагрівання.

Стабілізаційний ефект (СЕ, %) визначали за формулою [6, с. 56]:

$$CE = \left(1 - \frac{\Delta J_i}{\Delta J}\right) 100, \% \quad (1)$$

де  $\Delta J_i$  – різниця в жорсткості розчину до та після нагрівання при заданій концентрації інгібітора;

Таблиця 1

**Характеристики водних середовищ використаних при визначенні ефективності інгібіторів осадковідкладень та корозії металів**

Показник	Модельний розчин				Водопровідна вода	Артезіанська вода
	1	2	3	4		
Каламутність	0,5	0,6	0,5	0,8	0,7	0,1
pH	8,3	6,5	7,3	7,1	7,6	7,5
Жорсткість загальна, мг-екв/дм <sup>3</sup>	39,1	241,2	318,0	490,4	4,1	5,3
Концентрація Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	21,0	180,4	180,2	190,0	3,0	4,1
Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>	4,2	5,6	4,3	4,5	4,0	5,3
Концентрація Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	14875,0	44316,0	6396,0	51244,0	75,0	103,0
Концентрація SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	316,0	841,0	7969,0	16800,0	37,0	6,4
Концентрація Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> мг/дм <sup>3</sup>	8984,0	29809,0	28950,0	29554,0	54,0	75,0
Концентрація Fe загал., мг/дм <sup>3</sup>	0,28	0,1	0,15	0,12	0,26	0,2
Мінералізація, Концентрація Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	25059,0	73533,0	94585,0	115765,0	410,0	435,0



$\Delta J$  – різниця в жорсткості розчину до та після нагрівання в контрольній пробі [12].

Для оцінки стабільності води щодо осадко-відкладень розчини № 1, № 2 та № 3, а також модельний розчин № 4, що містив 73 г/дм<sup>3</sup> хлориду натрію, 21 г/дм<sup>3</sup> сульфату магнію та 20 г/дм<sup>3</sup> хлориду кальцію при лужності 4,5 мг-екв/дм<sup>3</sup> нагрівали протягом 6 годин при 95<sup>0</sup>С. Воду після нагрівання охолоджували, освітлену при відстоюванні воду фільтрували через фільтр із синьою стрічкою та визначали залишкову жорсткість і лужність води. Результати наведено в таблиці 2.

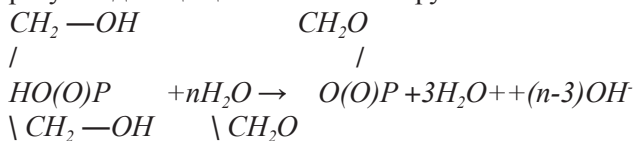
Так, модельні розчини, що близькі за складом до вод із свердловин нафтових родовищ, які мали лужність на рівні 4,0–4,5 мг-екв/дм<sup>3</sup> при високих концентраціях кальцію (> 21 мг-екв/дм<sup>3</sup>), але при відносно невисоких концентраціях сульфатів (< 20 мг-екв/дм<sup>3</sup>) були схильні до осадко утворення за рахунок виділення карбонатних відкладень.

За короткий термін нагрівання розчинів у скляних стаканах випали у осад далеко не всі карбонати та сульфати кальцію. При більш тривалому використанні розчинів вони здатні виділяти значно більшу кількість осадів. Так, карбонатна жорсткість може знижуватись до значень 0,1–0,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>, а залишкова концентрація гіпсу може знижуватись до 30–35 мг-екв/дм<sup>3</sup> при початкових концентраціях 318–490 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Очевидно, що у цих випадках для стабілізаційної обробки води доцільно використовувати інгібітори осадковідкладень та інгібітори корозії металів.

Відомо, що карбонатні відклади утворюються при нагріванні розчинів, що містять гідрокарбонат кальцію в концентраціях 2–5 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Тому ефективність розроблених інгібіторів щодо карбонатних відкладень можна було б оцінити за результатами отриманих артезіанській воді (рис. 1). Як видно з рисунку, відомі інгібітори (ОЕДФК та НТМФК) забезпечували високий рівень стабілізаційного ефекту при використанні у дозах 2–5 мг/дм<sup>3</sup>. Високою також була ефективність синтезованих інгі-

біторів ДМСФН та НОЕДФК. Дещо нижчою була ефективність диметиллофосфінової кислоти. Пояснити це можна тим, що вона може утворювати халатні сполуки лише в лужному середовищі за рахунок дисоціації метилольних груп.



Не дивлячись на те, що у цьому випадку утворюються 8-членні цикли, відстані між аніонними групами *O* у такі ж, як для ОЕДФК, тому ці комплекси є досить стійкими. Вони досить стійкі при взаємодії із сульфатом кальцію, тому НТМФК і подібні їй сполуки досить часто використовують при стабілізації розчинів сульфату кальцію. Разом з тим, такі сполуки ефективні при стабілізації розчинів карбонату кальцію.

Для оцінки впливу на ефективність інгібіторів осадковідкладення різного рівня мінералізації води було досліджено їх ефективність у 10%-му розчині хлориду натрію в артезіанській воді (рис. 2).

Як видно з рисунку, підвищення загального рівня мінералізації води, без зміни концентрацій іонів кальцію та гідрокарбонат аніонів, ефективність інгібіторів накопуютворення не змінилася.

При використанні інгібіторів для стабілізації модельного розчину № 1, в якому мінералізація сягала ~ 25 г/дм<sup>3</sup>, а жорсткість сягала 39,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>, концентрація кальцію – 21 мг-екв/дм<sup>3</sup>, ефективність інгібіторів була досить високою (рис. 3).

Це пов'язано з тим, що в основному при нагріванні розчину без інгібіторів в осад випадав лише карбонат кальцію.

Концентрація сульфату кальцію лімітувалась вмістом сульфатів – 6,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Це значно нижче межі розчинності сульфату кальцію. Тому, як і у разі використання артезіанської води та розчину хлориду натрію у артезіанській воді за високої концентрації іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , головним фактором, що визначав схильність до осадко утворення була гідрокарбонатна лужність води, яка

Таблиця 2

Зміна жорсткості води при нагріванні за температури 95<sup>0</sup>С протягом 6 годин

№ пп	Розчин	Жорсткість води, Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>		Лужність води, Л, мг-екв/дм <sup>3</sup>		Зниження жорсткості, $\Delta J$ , мг-екв/дм <sup>3</sup>	
		Ж <sub>поч</sub>	Ж <sub>кінц</sub>	Л <sub>поч</sub>	Л <sub>кінц</sub>	$\Delta J_k$	$\Delta J_z$
1	№ 1	39,1	36,3	4,2	1,5	2,7	2,8
2	№ 2	241,2	237,0	5,6	1,7	3,9	4,2
3	№ 3	318,1	282,0	4,3	1,3	3,0	36,1
4	№ 4	490,4	440,1	4,5	1,4	3,1	50,3
5	Св. № 25	181,2	178,4	4,0	1,2	2,8	2,8

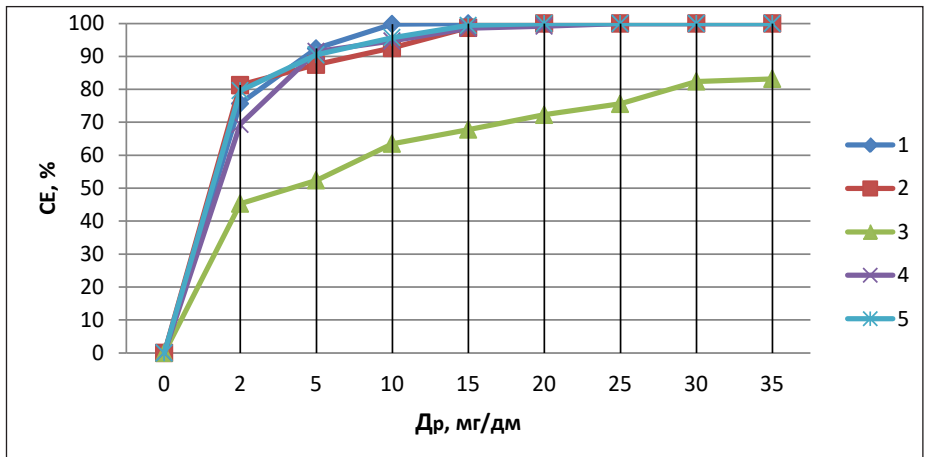


Рис. 1. Залежність стабілізаційного ефекту від дози інгібітора осадковідкладень в артезіанській воді при нагріванні протягом 6 годин при температурі 95°C при використанні ОЕДФК (1), НТМФК (2), ДМФК (3), ДМСФН (4), НОЕДМФК (5)

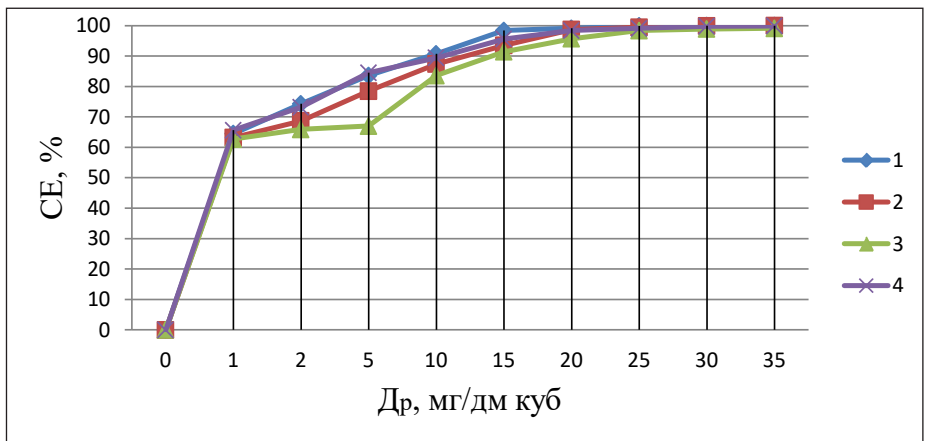


Рис. 2. Залежність стабілізаційного ефекту інгібіторів ОЕДФК (1), НТМФК (2), ДМСФН (3), НОЕДМФК (4) від дози інгібіторів при нагріванні розчину хлористого натрію ( $C_{NaCl} = 100$  г/дм<sup>3</sup>) в артезіанській воді ( $J = 4,2$  мг-екв/дм<sup>3</sup>) при температурі 95°C

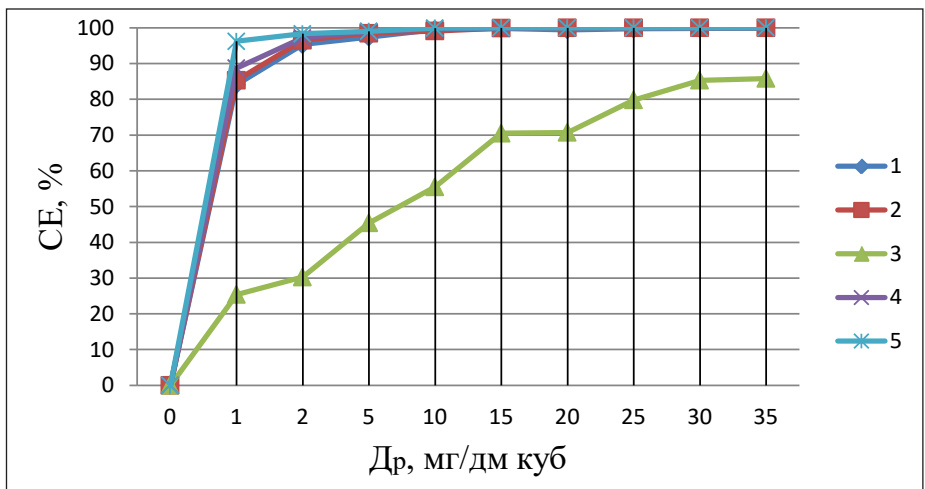


Рис. 3. Зміна стабілізаційного ефекту інгібіторів осадко відкладень в модельному розчині №1 із підвищенням дози інгібітора при нагріванні при температурі 95°C протягом 6-ти годин при використанні реагентів: ОЕДФК (1), НТМФК (2), ДМФК (3), ДМСФН (4), НОЕДМФК (5)

для всіх трьох випадків (рис. 1, 2, 3) була на рівні 4,2–5,26 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Не дивлячись на високу концентрацію іонів кальцію в розчині № 2 (180 мг-екв/дм<sup>3</sup>), вміст сульфатів був заниженим (17,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>) для того, щоб відбувалося виділення осаду гіпсу (рис. 4).

Зміна жорсткості була на рівні 4,2 мг-екв/дм<sup>3</sup> при початковій гідрокарбонатній лужності 5,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Тому ефективність фосфонатних та фосфінатних інгібіторів була досить високою.

Уже при концентрації інгібіторів 1 мг/дм<sup>3</sup> стабілізаційний ефект сягав 45–59%. При 5 мг/дм<sup>3</sup> стабілізаційний ефект для всіх інгібіторів перевищував 80%.

Моделльні розчини № 3 та № 4 характеризувались високими концентраціями сульфатів – 166 та 350 мг-екв/дм<sup>3</sup> при концентрації кальцію відповідно 180 та 190 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Це значно вищі концентрації від розчинності гіпсу ~ 30 мг-екв/дм<sup>3</sup>. В обох випадках (табл. 3 та рис. 5) ефективність інгібіторів була низькою при невисоких концентраціях інгібіторів.

ОЕДФК та ДМСФН у розчині № 3 забезпечували стабілізаційний ефект > 90% при концентраціях вищих 30 мг/дм<sup>3</sup>, а нітрилфосфонові кислоти при концентраціях > 20 мг/дм<sup>3</sup>. Дещо вищою була ефективність нітрилфосфонових кислот і в розчині № 4. Це пов'язано з тим, що сполуки мають специфічну структуру, що забезпечує ефективне їх комплексоутворення із кальцієм в сполуках сульфату кальцію.

Із приведених результатів видно, що розроблені інгібітори наряду з відомими інгібіторами забезпечують ефективну стабілізацію мінералізованих шахтних вод, що утворюються в процесі нафтовидобування, відносно осадковідкладення.

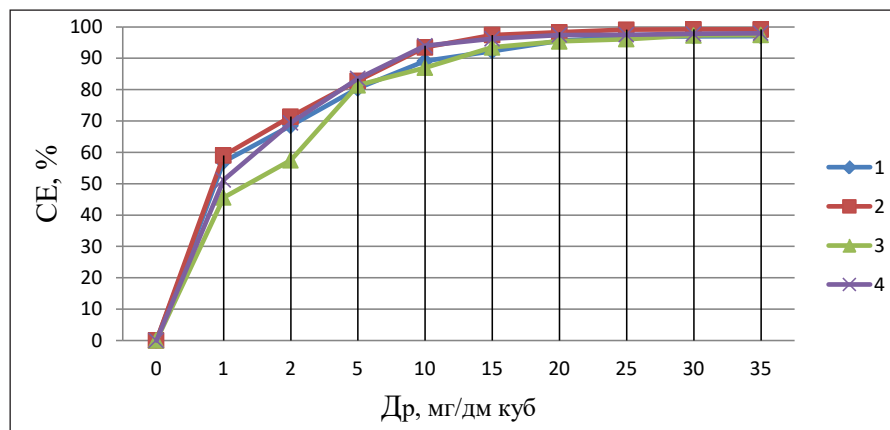
Таблиця 4

**Вплив типу та дози інгібітора осадко відкладень на стабільність модельного розчину № 3 (Ж = 318 мг-екв/дм<sup>3</sup>) по відношенню до накипеутворення (t=95°C, τ=6 год.)**

Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	Ж <sub>к</sub> , мг-екв/дм <sup>3</sup>	ΔЖ, мг-екв/дм <sup>3</sup>	СЕ, %
-	0	280,0	38,0	-
ОЕДФК	2	285,0	33,0	13,2
	10	305,0	13,0	65,8
	20	312,0	6,0	84,2
	30	315,0	3,0	92,1
	50	318,0	0,0	100,0
НТМФК	2	290,0	28,0	26,3
	10	312,0	6,0	84,2
	20	314,0	4,0	90,8
	30	318,0	0,0	100,0
	50	318,0	0,0	100,0
ДМСФН	2	282,0	36,0	5,3
	10	310,0	8,0	78,5
	20	3102,0	6,0	84,2
	30	315,0	3,0	92,1
	50	316,0	2,0	94,7
НОЕДФК	2	288,0	30,0	21,0
	10	313,0	5,0	86,8
	20	314,0	4,0	90,5
	30	317,0	1,0	97,4
	50	318,0	8,0	100,0

**Висновки.** В результаті проведених досліджень було вивчено процеси осадковідкладень у слабо- та високо мінералізованих водах.

Було показано, що стабільність води щодо відкладення осадків мало залежить від рівня мінералізації, а визначається головним чином концентрацією іонів кальцію та карбонатів або сульфатів. Відклади



**Рис. 4.** Залежність стабілізаційного ефекту інгібіторів: ОЕДФК (1), НТМФК (2), ДМСФН (3), НОЕДФК (4) при нагріванні в модельному розчині №2 протягом 6 годин при температурі 95°C

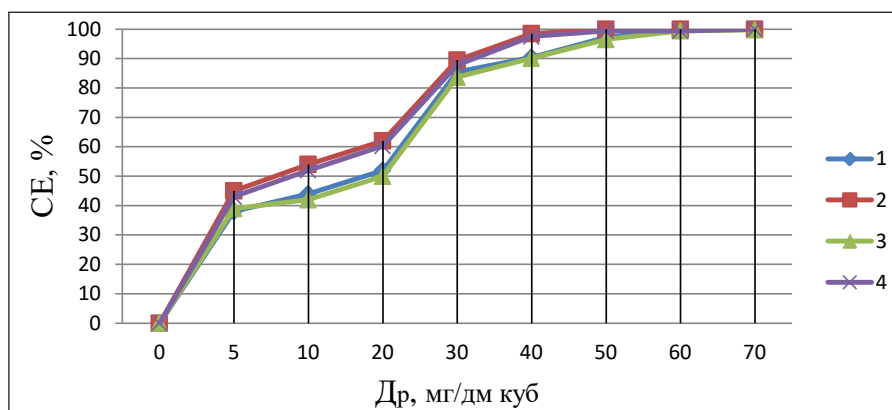


Рис. 5. Залежність стабілізаційного ефекту від дози та типу інгібітора осадко відкладення при нагріванні у модельному розчині № 4 при 95°C протягом 6 годин при використанні реагентів: ОЕДФК (1), НТМФК (2), ДМСФН (3), НОЕДМФК (4)

карбонату кальцію відбуваються при карбонатній лужності та жорсткості на рівні 3–4 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Відклади гіпсу спостерігаються при концентраціях сульфату кальцію більше 30 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Інгібітор осадковідкладень на основі диметилфосфінової кислоти отримали при обробці диметилфосфіна натрію сульфідом натрію, а інгібітор на основі фосфористої кислоти та етаноламіну отримали при їх високотемпературній конденсації в присутності формальдегіду.

Було встановлено, що диметилсульфосфінат натрію забезпечував високу ефективність. Як інгібітор осадковідкладень при запобіганні відкладам карбонату кальцію не поступаються по ефективності відомому реагенту – оксиетилідендифосфоновій кислоті.

Нітрилоксиетилдиметилфосфонова кислота була ефективною при запобіганні відкладенням гіпсу і забезпечувала стабілізаційний ефект на рівні нітрилтриметилфосфонової кислоти.

#### Список літератури:

1. Потапов С. Предотвращение накипеобразования и коррозии в системах теплоснабжения при работе на жесткой недеаэрированной воде, стабилизированной композицией ККФ. Казань : Водочистка, 2005. № 6. С. 39–42.
2. Топільницький П.І. Технологія первинної переробки нафти і газу. Львів : Вид-во «Львівська політехніка», 2019. 468 с.
3. Топільницький П.І. Первинна переробка природних і нафтових газів та газоконденсатів : навч. посіб. Львів : Вид-во «Львівська політехніка», 2005. 260 с.
4. Михайловская Т.М. Ингибирование процессов солеотложения в системе водного отопления. Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2004. №2. С. 20–24.
5. Пилипенко А.Т., Вахнин И.Г., Максин В.И. Методы предотвращения накипеобразования при опреснении соленых вод. Химия и технология воды. 1991. № 11. С. 996–1013.
6. Рудковская Е.В., Омельчук Ю.А., Гомеля Н.Д. Разработка стабилизаторов накипеобразования для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения. Збірник наукових праць СНУЯЄ та П. 2011. № 4 (40). С. 55–61.
7. Кузнецов Ю.И. Современное состояние теории ингибирования коррозии металлов. 2002. Т. 38. № 2. С. 122–131.
8. Гомеля М.Д., Радовенчик В.М., Шаблій Т.О. Сучасні методи кондиціонування та очистки води в промисловості. К. : Графіка. 2007. 168 с.
9. Елисов А.А. Методы борьбы с отложениями неорганических солей в оборудовании подготовки нефти. М. : ВНИИОЭНГ. 1988. 50 с.
10. Рудковская Е.В., Омельчук Ю.А., Гомеля Н.Д. Оценка эффективности стабилизаторов накипеобразования для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2011. № 6. С. 47–51.
11. Шуриберко М.М., Гомеля М.Д., Шаблій Т.О. Дослідження та оцінка ефективності реагентів для стабілізаційної обробки води. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2018. Т. 29 (68). № 1. С. 191–195.
12. Гомеля Н.Д., Шаблій Т.А., Трохименко А.Г. Новые ингибиторы коррозии и отложения осадков для систем водоциркуляции. Химия и технология воды. 2017. Т. 39. № 2 (256). С. 169–177.



**Gomelya M.D., Stepova O.V., Kamaev V.S. DEVELOPMENT OF DEPOSIT INHIBITORS IN WATERS WITH HIGH MINERALIZATION**

*As a result of the studies, sedimentation processes in low- and highly mineralized waters have been studied. It is shown in the paper that the stability of water with respect to sediment deposition depends little on the level of mineralization, but is determined mainly by the concentration of calcium ions and carbonates or sulfates.*

*It has been shown that the stability of the mine water of oil production with respect to sediments at relatively high concentrations of calcium and magnesium ions mainly depends on the concentration of hydrogen carbonates at concentrations of sulfates up to 30 mg-eq / dm<sup>3</sup> and at higher concentrations of sulfates is the main process of scale formation. Studies have been conducted to synthesize and evaluate the effectiveness of sedimentation inhibitors in waters with different levels of mineralization.*

*A precipitate of dimethylolphosphinic acid-based sediment inhibitor was obtained by treatment with sodium dimethyl phosphine phosphate, and a phosphoric acid-ethanolamine-based inhibitor was obtained by high-temperature condensation in the presence of formaldehyde. Sulphite-modified dimethylphosphinic acid and monoethanolamine, formaldehyde and phosphoric acid nitriloxyethylene dimethylenephosphonic acid have been found to be effective inhibitors of sedimentation and are not inferior to the known phosphonate reagents.*

*It is shown that the synthesized sulfonate and phosphonate reagents, which are effective inhibitors of scale formation, can be obtained from the available reagents, which significantly reduces their cost compared to known phosphonate reagents. Developed inhibitors, along with known inhibitors, provide effective stabilization of mineralized mine water formed in the process of oil and gas production with respect to sedimentation.*

**Key words:** *corrosion, inhibitor, water mineralization, degree of corrosion protection, stabilization effect.*

**Дегтяр М.В.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Галкіна О.П.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ФІЛЬТРАТУ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

*У статті оцінені масштаби проблеми, пов'язані з експлуатацією полігонів твердих побутових відходів. Проведений аналіз нормативно-технічної бази в галузі відходоповодження.*

*Оцінений реальний стан та кількість полігонів твердих побутових відходів в Україні, проведений моніторинг масштабів впливу на території, які знаходяться під об'єктами накопичення відходів.*

*Полігони твердих побутових відходів (далі, ТПВ) є причиною відчуження земель і значним негативним фактором, що впливає на об'єкти довкілля.*

*Сім відсотків території України становлять сміттєзвалища, з яких менше 20% можна віднести до полігонів. Абсолютна більшість полігонів побудовані та експлуатуються без комплексу заходів, що знижують негативний вплив на навколишнє середовище.*

*Досліджено фактори, що впливають на ефективність очищення фільтрату полігонів ТПВ, запропонована технологічна схема очищення фільтраційних вод полігонів. Особлива увага приділена біологічній стадії очищення.*

*При очищенні специфічних, концентрованих стічних вод, особливу увагу слід приділити використанню екологічно безпечних, безреагентних методів очищення, зокрема методам біофільтрації. Апаратурним оформленням методу є біофільтри з різними модифікаціями, зокрема використання занурених біодисків.*

*У статті оцінена ефективність запропонованої схеми, та ступінь її універсальності.*

*В Україні очищення дренажних стоків полігонів фактично не відбувається. Вони або акумулюються у спеціальних накопичувачах, або перекачуються на очисні споруди для спільної обробки з комунальними стоками (після розведення), і лише в деяких випадках очищення здійснюється на локальних очисних спорудах.*

*Основним завданням досліджень є розробка технології очищення, з врахуванням коливань якісного складу та нерівномірності утворення, для сприятливого санітарного стану прилеглих територій і, власне, об'єктів накопичення відходів.*

**Ключові слова:** полігон твердих побутових відходів, фільтрат, біодіски, коагулянт сульфат алюмінію, гідравлічна крупність.

**Постановка проблеми.** На даний момент 7% території України займають сміттєзвалища, з яких менше 20% можна віднести до полігонів. Тобто абсолютна більшість об'єктів накопичення відходів побудовані та експлуатуються без комплексу заходів, що знижують негативний вплив на навколишнє середовище.

За офіційними даними [1] в Україні експлуатується п'ять тисяч полігонів (звалищ), загальною площею більше 10 тисяч гектар.

Для здійснення оперативної інвентаризації звалищ в Україні (легальних та стихійних) та нанесення інформації щодо них на інтерактивну мапу з геолокацією запущено електронний сервіс Ecomapa.gov.ua [2].

На рисунку 1 наведено масштаби проблеми [2], цифри на мапі дозволяють зробити аналіз про наявність катастрофічного стану в деяких регіонах України.

Більше 95% відсотків обсягу сміття, що утворюється, захоронюють на полігонах, біля 2% спалюють і лише 3% переробляють.

Об'єкти накопичення відходів є значними забрудниками. Відходи, розміщені на полігонах зазнають складних біохімічних та фізико-хімічних змін під впливом зовнішніх та внутрішніх чинників. Основними негативними факторами експлуатації полігонів є виділення фільтраційних вод.

З 1 січня 2018 року в Україні запрацювала норма закону «Про відходи» [3], яка забороняє

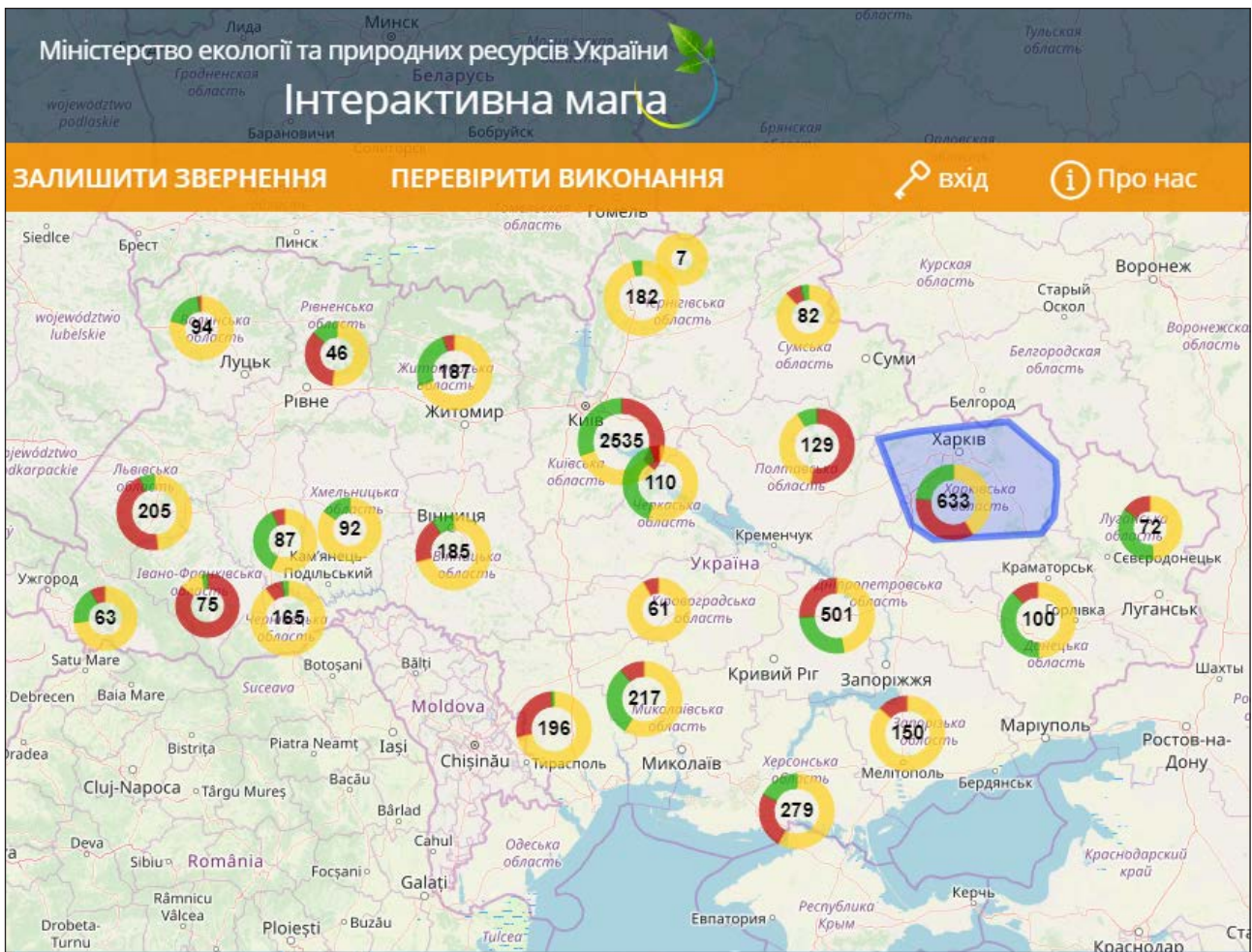


Рис. 1. Інтерактивна мапа стихійних сміттєзвалищ

захоронення на полігонах не перероблених відходів, що автоматично робить обов'язковим сортування та переробку сміття.

Слід констатувати, що ця норма Закону не виконується, бо відсутній конкретний план поводження з відходами та не відпрацьована логістика поводження з сортованими відходами. Отже полігони ТПВ є причиною відчуження земель і значним негативним чинником, що впливає на всі геосферні оболонки.

Очищення стоків на локальних очисних спорудах здійснюється на деяких великих полігонах (зокрема, полігон № 5 м. Києва) або після розведення перекачується на очисні споруди для спільної обробки з комунальними стоками. На більшості об'єктів накопичення відходів очищення фільтрату не проводиться.

Таким чином, забезпечення стабільно сприятливого санітарного стану територій і охорони об'єктів довкілля потребує розробки та втілення ефективних технологій очищення фільтраційних вод полігонів ТПВ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якісний склад фільтрату залежить від морфологічного складу ТПВ, що визначає метод та спосіб очищення. Очищення дренажних вод являє собою складну проблему та вимагає багатоступеневі комбінації різних фізико-хімічних і біологічних методів, значних капітальних і експлуатаційних витрат.

Згідно з результатами біотестування фільтрат не може бути скинутий на рельєф або у водойму культурно-побутового чи рибогосподарського використання, навіть при великому ступені розведення, бо має гіпертоксичність, яка не зникає при багаторазовому розведенні [3, с. 18, 22].

Аналіз останніх досліджень, що до методів очищення фільтрату [4, с. 193–199; 5, с. 51–54, 56; 6, с. 123–126] показав, що поширення отримали наступні групи способів очищення фільтрату:

- біологічне очищення фільтрату;
- фізико-хімічне багатоступеневе очищення;

Технологічні схеми очищення фільтрату базуються на застосуванні переважно методів



біохімічної деструкції органічних речовин та комбінуються з фізико-хімічними процесами – коагуляції-флотації, фільтрації, ультрафільтрації, адсорбції, зворотного осмосу [7, с. 72, 75–77; 8, с. 177, 178, 188].

Фільтрат, як правило, очищають за допомогою біохімічних методів, застосовуючи аеробне чи анаеробне очищення. Для доочищення використовують адсорбційні методи з різними сорбентами [9, с. 50, 56, 76].

Використання анаеробних методів більш характерне для фільтрату в стадії ацетогенезу.

Основними перевагами анаеробного очищення в порівнянні з аеробним є наступні [10, 1, с. 109–112]:

- відсутність потреби подачі кисню;
- скорочення витрати електроенергії;
- збільшення мінералізації анаеробного осаду при видаленні важких металів, що підвищує цінність його як добрива;

До недоліків анаеробного очищення можна віднести наступні:

- необхідність високих (більш 30°C) температур для досягнення ефективної кінетики процесу;
- застосування аеробних методів для очищення фільтрату буде більш ефективними в стадії метаногенезу.

Для підвищення ефективності бажане попереднє фізико-хімічне чи хімічне очищення, тому що стоки мають високий солевміст та наявність хлорорганічних сполук [11, с. 107–110, 12, с. 4–5].

Аналіз та систематизація результатів наведених результатів досліджень [13, с. 111, 112–116] дозволяє зробити висновок, що:

- при використанні біохімічного очищення на стадії метаногенезу рекомендується предочищення;
- використання сорбційного очищення на стадії метаногенезу
- рекомендується для низькоконцентрованих фільтраційних вод;
- при використанні реагентної коагуляції на стадії ацетогенезу
- досягається зниження БПК до 60%, кольоровості до 85%;
- при використанні мембранних технологій очищення на стадіях ацето-і
- метаногенеза без предочищення відбувається швидко засмічення мембран і утворення концентрату. Метод може бути використаний у якості доочищення на будь-якому етапі життєдіяльності полігона ТПВ.

Таким чином, універсальної технології очищення фільтраційних вод полігонів ТПВ не існує,

набір технологічних прийомів та кількість ступенів очищення залежать від «віку» фільтрату, морфології відходів та вимог до кінцевого продукту.

**Формулювання цілей статті.** Метою проведених досліджень є теоретичне та дослідно-промислове обґрунтування використання реагентного методу очищення, зокрема розчину коагулянту сульфату алюмінію.

Для досягнення поставленої мети виконаний аналіз існуючих методів очищення дренажних вод полігонів ТПВ з оцінкою їх ефективності, розглянута можливість застосування на різних полігонах ТПВ, стадіях експлуатації полігона.

В ході досліджень обґрунтовані технологічні прийоми і параметри роботи обладнання; досліджений вплив розчину сульфату алюмінію на структурно-механічну гідратацію коагульованих домішок, зміну сил зчеплення контактної середовища; досліджені основні фактори, які впливають на очищення дренажних вод при використанні розчину сульфату алюмінію;

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження з ефективності застосування технології очищення дренажних вод полігонів ТПВ проводилися як у лабораторних умовах, так і на пілотній установці.

Закономірності очищення стічної води при використанні розчину реагенту були досліджені на модельній воді та дренажних водах, що утворюються на полігоні ТПВ.

Якісна характеристика дренажних стічних вод наведена в табл. 1.

У процесах очищення стічних вод найбільше поширення одержав коагулянт сульфат алюмінію. Одним з його недоліків є чутливість до температури оброблюваної води, в основі чого лежить висока гідратація гідроксиду алюмінію при низьких температурах. Збільшенню ступеня гідратації в умовах низьких температур сприяє стабілізація золю гідроксидів алюмінію, внаслідок чого процес коагуляції може протікати недостатньо повно [12].

Для ефективного аналізу механізму очищення стічних вод полігонів необхідно виявити взаємозв'язок факторів, що визначають хід процесу Прогнозування значень факторів впливу – найбільш важливий аспект процесу очищення та дозволяє налагодити роботу блоків очищення з урахуванням параметрів вихідної води. Прогнозування здійснюється на основі експериментальних даних, для одержання більш точних даних експеримент проводиться з урахуванням сезонного коливання якісних показників дренажних вод полігонів ТПВ.



Якісна характеристика дренажних вод полігона ТПВ

Найменування показника	Період досліджень			Примітка
	Зимовий	Весняний	Осіньний	
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	19132,5	21760,5	20512,6	Усереднені якісні показники за 3 місяця спостережень по кожному сезону за 2013-2015 р.
БПК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	186,67	175,6	181,4	
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	1213,6	990	1004,5	
Кольоровість, град.	161	152	158,0	
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	271,07	234,7	260,4	
рН	7,2	7,4	7,4	
Азот, мг/дм <sup>3</sup>	241,5	86,4	60,7	
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	119,2	102,8	109,3	
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	1995,6	2114,5	1490,7	

Склад фільтрату залежить від етапу життєвого циклу полігона. Кожному етапу відповідає певна стадія біохімічного розкладання відходів, яка лежить в основі формування кількісних і якісних характеристик дренажних вод. Аналіз процесів біодеструкції показав, що фільтраційні води, які утворюються в ацетогенній фазі характеризуються середнім значенням рН 6, високими значеннями ХПК (до 60000 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) і БПК (іноді до 40000 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), високим вмістом амонійного азоту та заліза (у середньому по 750 мг/л). Склад органічних домішок представлений летючими органічними кислотами жирного ряду. Фільтрат, що формується на стадіях метаногенеза має рН 8, значно знижуються величини ХПК до 3000-4000 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> і БПК – до 180 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, характеризується високим вмістом амонійного азоту (750 мг/л) і низьким вмістом заліза. Слід зазначити, що для полігонів України характерно акумулювати «змішаний» фільтрат, коли фільтрат стадії метаногенезу постійно розбавляється фільтратом з стадії ацетогенезу.

Таким чином, пропонується використання комбінації фізичних, хімічних та біологічних методів із застосуванням розчину коагулянту сульфату алюмінію.

У процесі дослідження визначалися наступні показники очищених стічних вод: вміст завислих речовини, кольоровість, БПК<sub>5</sub>, ХПК.

Запропонована технологічна схема наведена на рисунку 2.

Дренажні води надходять у збірник для забезпечення рівномірної та безперебійної подачі фільтрату. У змішувачі 2 відбувається перемішування розчину коагулянту зі стічними водами, далі самопливом по трубопроводу стічна вода направляєється в блок споруд 3–5, який являє собою первинний відстійник 3, ванну із заглибними біодисками 4 і секцію вторинного відстійника 5. Осад

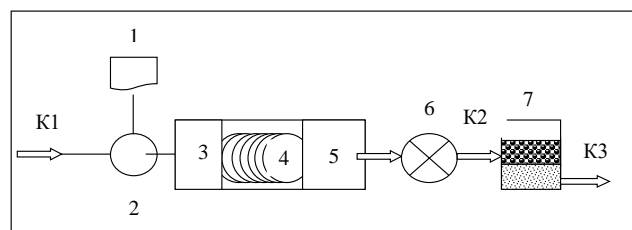


Рис. 2. Технологічна схема очищення фільтрату полігонів ТПВ

1 – реактентне господарство; 2 – змішувач; 3 – первинний відстійник; 4 – блок біологічного очищення (занурені біодиски); 5 – вторинний відстійник; 6 – блок знезараження (у/ф випромінювання); 7 – механічний фільтр. K1 – здача дренажних вод; K2 – здача очищеного стоку на фільтри; K3 – скид очищеного стоку.

та мул, що утворювався у первинному та вторинному відстійниках, періодично відводиться. Блок споруд застосовується для скорочення площ, прискорення та інтенсифікації процесів відстоювання й біологічного очищення. Після вторинного відстійника встановлений блок бактерицидних ламп 6. Далі вода самопливом направляєється на механічний фільтр завантажений кварцовим піском. Скидання знешкодженого стоку здійснюється по трубопроводу у промислову каналізацію.

Основним етапом очищення стічних вод з високим показником БПК є біологічне очищення, яке відбувається на заглибних біодискових фільтрах, що представляють собою резервуари із днищем увігнутої форми (ванни), заповнені стічною водою. Уздовж резервуара, на 15-20 мм вище рівня оброблюваної стічної рідини, установлений вал, на який насаджені пластмасові диски діаметром 200-250 мм. Відстань між дисками становить 6-8 мм, частота обертання вала з дисками 1-10 об/хв.

При роботі в заглибному біофільтрі не відбувається відкладання осаду, а товщина біоплівки

Ефективність очищення запропонованої схеми очищення

Серія експериментів	Дата	Показники вихідної стічної води				Доза коагулянту сульфату алюмінію, мг/дм <sup>3</sup>	Показники очищеної стічної води			
		Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Кольоровість, град.	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>		Завислі речовини мг/дм <sup>3</sup>	Кольоровість, град.	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub>
I	2.09.16-15.09.16	255,4-267,5	150-165	994,7-1006,5	172,3-184,5	210	16,5	38	28,9	9,3
II	30.09.16-13.10.16	242,6-269,3	157-172	1010,4-1021,5	166,2-174,5	210	15,4	40	26,4	9,1
III	28.10.16-10.11.16	251,8-262,4	161-169	997,2-1005,4	181,3-192,4	210	14,9	35	25,2	8,9

залежить від надходження живильних речовин і споживання кисню. Ефективність очищення залежить від кількості щаблів біофільтра та визначається тривалістю перебування стічних вод у заглибному біофільтрі.

Характеристика біодискових фільтрів, прийнятих при виконанні досліджень:

- кількість біодисків-6;
- матеріал біодисків – пластмаса (з перфорацією);
- діаметр біодисків – 200 мм;
- відстань між дисками – 6 мм;
- товщина дисків – 1,5 мм;
- частота обертання вала – 4 про/хв;
- час перебування – 60 хвилин;

У технології очищення води велике значення мають фізичні властивості та параметри суспензії контактного середовища: сили взаємного притягання та зчеплення суспензії, об'ємна та масова концентрація, щільність, гідравлічна крупність часток.

Суспензія контактного середовища складається з часток різного розміру. При відстоюванні суспензії з невеликою об'ємною концентрацією, більш крупні часточки осідають значно швидше дрібних, внаслідок чого у завислому шарі залишається менше крупних і значно більше дрібніших часток. Концентрація зависі в завислому шарі зменшується.

При дослідженні механізму дії контактного середовища необхідно звернути увагу на сили зчеплення між частками суспензії. У результаті молекулярної взаємодії відбувається агрегація часток і затримка на них домішок, що виділяються з води, з формуванням контактного середовища. При цьому на межі зіткнення поверхневих шарів часток відбувається зчеплення (адгезія), яке вимірюється силою відриву на одиницю площі контакту.

Явище адгезії та сили зчеплення, що виникають внаслідок цього визначають більшою мірою ефективність дії контактного середовища та фізичні властивості суспензії. Дослідження ущільнення шару суспензії надає можливість використання результатів спостережень для визначення величини сил зчеплення. Зокрема, дослідження впливу розчину коагулянту на сили зчеплення становить особливий інтерес, тому що безпосередньо впливає на ефективність очищення на біодисках. Зважаючи на те, що основний елемент – диски перебувають у постійному русі, важливим є забезпечення надійного зчеплення органічних забруднень з біоплівкою, що перебуває в прикріпленому стані. Біомодулі, створюючи велику поверхню, забезпечують гідродинамічні умови, при яких відірвана біоплівка продовжує працювати, перебуваючи у завислому стані. У міру збільшення товщини біоплівки нижні шари її відмирають, а верхні змиваються

з поверхні дисків, що обертаються і тому забезпечення високого ступеня зчеплення є важливим завданням.

Таким чином, комбінуючи стадію реагентного очищення (коагулянт сульфат алюмінію), біологічне очищення (занурених біодисках) та доочищення на механічних фільтрах отримуємо якість фільтрату, наведену в таблиці 2.

Слід зазначити, що дослідження проводилися на модельній воді, якість якої приближена до фільтрату, характерного стадії метаногенезу.

Для оцінки ефективності запропонованого методу фіксували зміну якісних показників у віді-

браних пробах: вміст завислих речовин, кольоровість, показники ХПК, БПК<sub>повн</sub>.

Слід зазначити, що ефективність очищення фільтрату за наведеними показниками склала, %: вміст завислих речовин – 85-88%; кольоровість – 70-75%; ХПК та БПК повн – до 95%.

Завдяки запропонованому методу відбулося біологічне очищення зі зниженням контролюючих показників до нормативних значень.

**Висновки.** Таким чином, очищений фільтрат може використовуватися для зрошення тіла полігону, а для скиду до водного об'єкту необхідно враховувати існуючі обмеження на скид та рекомендації щодо категорії водокористування.

#### Список літератури:

1. Міністерство розвитку громад та територій України. [Електронний ресурс <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/use-bilshe-ukrayinskih-teritorialnih-gromad-vprovadzhuuy-sortuvannya-smittyu/>] (дата звернення: 10.08.2019);
2. Міністерство екології та природних ресурсів України Інтерактивна мапа // режим доступу [Електронний ресурс: <https://ecomapa.gov.ua/>] (дата звернення: 20.09.2019);
3. S. Baig, I.Coulomb, P. Courant Treatment of landfill leachates: Lapeyrouse and Satrod case studies. Ozone science and engineering 1999. P. 1–22.
4. Mersiowsky L. Stegmann R. Long-term Behavior of PVC Products and fate of Phthalate Plasticizers under Landfill Conditions. VII International waste management and landfill symposium. Sardinia. 1999. Vol. I. P. 193–199.
5. Щербина Г.П. Исследование фильтрационных стоков полигона ТПВ для установления возможности утилизации его с использованием фермента класса оксигедаз. Інформаційно-аналітичний збірник «Санітарна очистка міст та комунальний автотранспорт». Вип. 4. К, 2002. С. 51–56.
6. Canziani R, Cossu R. Landfill hydrology and leachate production. Land filling: Process, Technology and Environmental Impact. London. 1994. P. 122–123.
7. Степняк С.В. Методи очистки стоків зі сміттєзвалищ. Інформаційно-аналітичний збірник «Санітарна очистка міст та комунальний автотранспорт». Вип. 4. К, 2002. С. 72–77.
8. Seçen, F. Aktas O. Effect of PAC addition in combined treatment of landfill leachate and domestic wastewater in semi-continuously fed-batch and continuous-flow reactors. Water SA. 2001. 27 (2). P. 177–188.
9. Душкин С.С., Коваленко А.Н., Дегтярь М.В., Шевченко Т.А Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод : монография Харьк. нац. акад. городского хоз-ва. Харьков : ХНАГХ, 2011. 168 с.
10. Спосіб очищення стічних вод полігонів твердих побутових відходів: пат. № 45190 Україна, МПК<sup>51</sup> (2009) CO2F 1/48 / Душкін С.С, Корінько І.В., Солодовник М.В., Ткачов В.О.; заявник та правовласник ХНАМГ. № 45190; заявл. 09.06.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.
11. Кашковський В.І., Кухар В.П. Способи знешкодження високотоксичних стоків звалищ твердих побутових відходів. Наука та інновації. 2005. № 6, Т. 1. С. 107–116.
12. Degtyar M. Intensification of wastewater purification of municipal solid waste landfills. Technology audit and production reserves. № 2/3(46), 2019, DOI: 10.15587/2312-8372.2019.166312.
13. М.В. Дегтяр. Інтенсифікація процесів очищення висококонцентрованих стічних вод. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Зб. наукових праць. Вип. 1 (69). Рівне: НУВГП, 2015. С. 111–116.

#### Degtyar M.V., Galkina H.P. RESEARCH OF MAIN FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY LEACHATE TREATMENT

*The article assesses the magnitude of the problems associated with the operation of solid waste landfills. The analysis of the regulatory and technical base in the field of waste management has been carried out. Estimated real status and amount of landfills in Ukraine, monitored the extent of impact in the areas with solid domestic waste. Solid domestic waste (SDW) are the caused of land alienation and a significant negative factor affecting environmental assets.*

*Currently, 7% of the Ukraine territory is landfills, of which less than 20% can be attributed to landfills. The vast majority of landfills are built and operated without a set of measures that reduce the environmental impact.*

*The factors affecting the efficiency of the leachate filtration of solid household waste landfills have been investigated, the technological scheme of landfill filtration water treatment has been proposed. Particular attention is paid to the biological stage of purification.*

*In the treatment of specific, concentrated wastewater, special attention should be paid to the use of non-reactive wastewater treatment methods, in particular biofiltration methods. The hardware design of the method – there are biofilters with various modifications, including the use of immersed biodisks.*

*The effectiveness of the proposed scheme and the degree of its versatility are evaluated in the article.*

*In Ukraine, leachate clearing does not actually occur. They either accumulate in special stores or are pumped to treatment facilities for joint treatment with municipal sewage (after dilution). And only in some cases the cleaning is carried out at local treatment facilities.*

*The main task of the research is to develop a technology of purification, taking into account fluctuations in the quality composition and uneven formation, for the favorable sanitary condition of the surrounding territories and, in fact, the objects of waste accumulation.*

**Key words:** *solid waste landfill, leachate, biodisks, coagulant aluminum sulfate, hydraulic size.*



**Майзеліс А.О.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ МУЛЬТИШАРОВИХ ПОКРИТТІВ (Cu-Sn)<sub>1</sub>/(Cu-Sn)<sub>2</sub> З ПІРОФОСФАТНО-ТРИЛОНАТНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ

Покриття сплавом мідь-олово використовують як декоративні, захисні та функціональні. Сфера їх застосування надзвичайно широка, а саме: електроніка, трибологія та машинобудування тощо. Стаття присвячена електроосадженню сучасного типу покриттів – мультишарового покриття, що складається з шарів сплавів мідь-олово різного фазового складу товщиною 4–30 нм. Мультишарові мідь-олов'яні покриття отримували в полілігантному пірофосфатно-трилонатному електроліті двоімпульсним потенціостатичним методом. Були використані методи циклічної вольтамперометрії, хроноамперометрії та хронопотенціометрії (потенціостат Elins P-45X). Параметри кінетики контактного обміну в електроліті визначали вдосконаленим методом аналізу спряжених реакцій процесу за допомогою потенціостата-гальваностата MТech PGP-550M. Елементний склад зразків визначали рентгенофлуоресцентним методом. Мікротвердість покриттів визначали на мікротвердомірі ПМТ-3. Виявлено, що мідь виділяється у сплав з надполяризацією, а олово – з деполяризацією. Визначено, що густина струму контактного обміну в досліджуваному електроліті перебуває в діапазоні 0,07–0,26 мА/см<sup>2</sup> і процес протягом 45 хвилин здійснюється в умовах формування катодного осаду компактної структури, яка не перешкоджає високій адгезії покриття з основою з вуглецевої сталі. Показано, що з електроліту на основі пірофосфату осаджуються мультишарові покриття, які мають більшу високу мікротвердість у порівнянні з одношаровими покриттями сплавами мідь-олово такого ж хімічного складу, що й складові шари мультишарового покриття. В умовах мінімального вмісту ПАР в електроліті мікротвердість мультишарового покриття складає 285 НV (мікротвердість одношарового покриття, яке відповідає складу основних шарів мультишарового покриття, складає 155 НV, додаткових шарів – 88,2 НV). Висловлено припущення про вплив на підвищення мікротвердості мультишарових покриттів значного вмісту δ-фази, яка в мультишаровому покритті знаходиться в тонких додаткових шарах.

**Ключові слова:** мідь-олово, мультишарове покриття, контактний обмін, мікротвердість, пірофосфатно-трилонатний електроліт.

**Постановка проблеми.** Сфера застосування покриттів сплавами мідь-олово надзвичайно широка, а саме: електроніка, трибологія та машинобудування тощо. Вони використовуються як декоративні, захисні та функціональні покриття. Наприклад, завдяки механічним властивостям вони можуть бути використані у морському середовищі, у виробництві підшипників [1]. Сплави Cu-Sn можуть використовуватись як заміна нікелевому проміжному шару перед нанесенням поверхневого шару [2], оскільки нікелевий шар може розчинитись при корозії поверхневого шару, що може призводити як до небажаного контакту шкіри людини з нікелем, так і до вдихання канцерогенних солей нікелю [3].

Висока корозійна стійкість покриттів бронзою пропонуються для використання у аварійно-рятувальній автотехніці та спеціальному обладнанні, яке контактує з агресивним середовищем активних речовин [4]. Електроосадження покриттів сплавом мідь-олово неможливе з некомплексними

електролітами через велику різницю потенціалів. У практиці гальванічних цехів використовують ціанідні електроліти. Існує проблема заміни токсичних ціанідних електролітів.

Основними проблемами при експлуатації електролітів бронзування є гідроліз, окисно-відновні реакції за участю Sn (II), Cu (II) та розчиненого кисню, а також низька швидкість осадження. Тонкі плівки (1–2 мкм) завжди збагачені оловом (до 60–90%) незалежно від комплексної природи електроліту [4]. Вміст олова зменшується з ростом товщини осаду через пасивацію катода.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для осадження цього сплаву рекомендують також станатний, фенілсульфоновий, оксалатний, дифосфатний, цитратний, тартратний, ексаціанофератний, фтороборатний, триполіфосфатний електроліз [4]. Для осадження покриттів використовується як стаціонарний електроліз, так і імпульсний: у пірофосфатному електроліті з одержанням фаз Cu, Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> та Cu<sub>3</sub>Sn [5], у пірофосфатному

електроліті з домішкою цитрат-іонів, гідрофосфат-іонів та  $C_6H_9NO_6$  [2], у фторборатному електроліті [6]. Залежно від електроліту можливе одержання як однофазного покриття [7] (іонний розчин 1-butyl-3-methylimidazolium chloride) ([BMIM]Cl – покриття Cu13.7Sn), так і багатфазного [8] (метаносульфонової електроліт, що містить бензиловий спирт, покриття містить Cu,  $\alpha$ -CuSn,  $\varepsilon$ -Cu<sub>3</sub>Sn та  $\eta'$ -Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>-фази).

Відоме осадження мультишарових мідно-олов'яних покриттів методом двох ванн [9]. У такому покритті чергуються шари олова (1 мкм товщиною) та шари міді (товщиною 10 мкм) з метаносульфонової електролітів. Однак не наведено властивості одержаних покриттів. Також відомо, що у мультишарових покриттів сплавами (наприклад, мідь-нікель) найвищі показники мікротвердості та корозійної стійкості спостерігались за товщини складових шарів до 100 нм [10], тому інтерес становить можливість електрохімічного формування мультишарових покриттів з тонких (до 100 нм) шарів сплавів Cu-Sn різного фазового складу.

**Постановка завдання.** Метою досліджень було визначення умов електрохімічного формування мультишарових покриттів на основі тонких шарів сплавів Cu-Sn.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**  
*Методика.* Циклічні поляризаційні залежності (ЦВА), хроноамперограми і хронокулонограми формування мультишарових покриттів одержані з використанням потенціостату Elins P-45X у триелектродній комірці. Циклічні поляризаційні залежності отримані зі швидкістю 50 мВ/с на електродах з платини та міді з площею поверхні 1 см<sup>2</sup>.

Кінетику контактного обміну в системі «вуглецева сталь – мультишарове покриття» досліджували за допомогою модифікованого методу Донченко-Антропова шляхом обробки хронопотенціограми сталевого зразка, зануреного в електроліт з іонами більш позитивних металів, і поляризаційних залежностей сполучених процесів катодного виділення цих металів та анодного розчинення сталі в розчині фону. Поляризаційні залежності і хронопотенціограми отримали за допомогою потенціостата-гальваностата MТech PGP-550M. Використовували насичений хлорид-срібний електрод порівняння, з'єднаний з робочим електролітом за допомогою сольового мостика. Усі потенціали наведені відносно цього електроду порівняння.

Для визначення мікротвердості мультишарові покриття і покриття сплавами, що відповідають

складовим шарам мультишарового покриття, електрохімічно осаджували на зразки зі сталі марки Ст3, поверхню яких зачищали карбідсиліконовим папером почергово 500, 1500, 2000 grit, знежирювали у розчині лабоміду, активували у HCl та промивали.

Склад електролітів для нанесення покриттів наведено у табл. 1. Значення рН електролітів контролювали рН-метром СТ-6020А. Мікротвердості покриттів визначали за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3. Хімічний склад покриттів визначали рентгенофлуоресцентним методом за допомогою спектрометра СПРУТ.

Таблиця 1

Склад електролітів

	Концентрація компонента в електролітах, моль/дм <sup>3</sup>		
	Е1	Е2	Е3
Cu <sup>2+</sup>	0,5	–	0,1
Sn <sup>2+</sup>	–	0,5	0,4
P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>4-</sup>	1,0		
Трилон Б	0,25		
рН	8,5		
Гідроксидон	–	10 г/дм <sup>3</sup>	

*Результати досліджень.* На рис. 1 представлені циклічні поляризаційні залежності (ЦВА) в електролітах для роздільного і сумісного виділення міді і олова. Розгортку потенціалу починали від стаціонарного потенціалу в катодному напрямку (рис. 1 а), а після досягнення густини струму 100 мА/см<sup>2</sup> – в анодному напрямку (рис. 1 б).

Катодні гілки ЦВА відновлення міді (рис. 1 а, кр. 3) і олова (рис. 1 а, кр. 1) мають подібний характер, але мідь відновлюється при майже на 200 мВ більш позитивних потенціалах, ніж олово, а граничний струм її відновлення є вищим. В електроліті, який має іони обох металів (рис. 1 а, кр. 2), пік відновлення сплаву, збагаченого міддю, знаходиться при ще більш позитивних потенціалах, ніж пік відновлення міді. Потенціал піку відновлення сплаву, що збагачений оловом, збігається з потенціалом піку відновлення олова. При зворотному ході катодної гілки (рис. 1 б) в умовах відновлення металів на однойменних матеріалах поверхні сплав відновлюється в всьому діапазоні потенціалів між потенціалами відновлення міді та олова, що свідчить про виділення міді у сплав з надполяризацією, а олова – з депольризацією. Катодна поляризаційна залежність виділення сплаву при зворотному ході має 2 граничних струми відновлення сплавів різного складу.

З початком анодної гілки ЦВА в осаді сплаву (рис. 1 б, кр. 2), що утворився на електроді з

платини, розчиняється олово, оскільки потенціали двох перших анодних піків збігаються з потенціалами анодних піків розчинення олова (рис. 1 б, кр. 1). При потенціалах правого плеча другого піку розчиняється одна з фаз сплаву з подальшим виходом анодного процесу при потенціалах розчинення міді (рис. 1 б, кр. 3) в пасивний стан. Таке розташування анодних піків передбачає обмежене використання комбінованих мідно-олов'яних анодів, з одного боку, через практичну відсутність спільної площини потенціалів активного розчинення, а з другого, – через можливість розчинення олова в більш високому ступені окислення в площині потенціалів пасивного стану аноду.

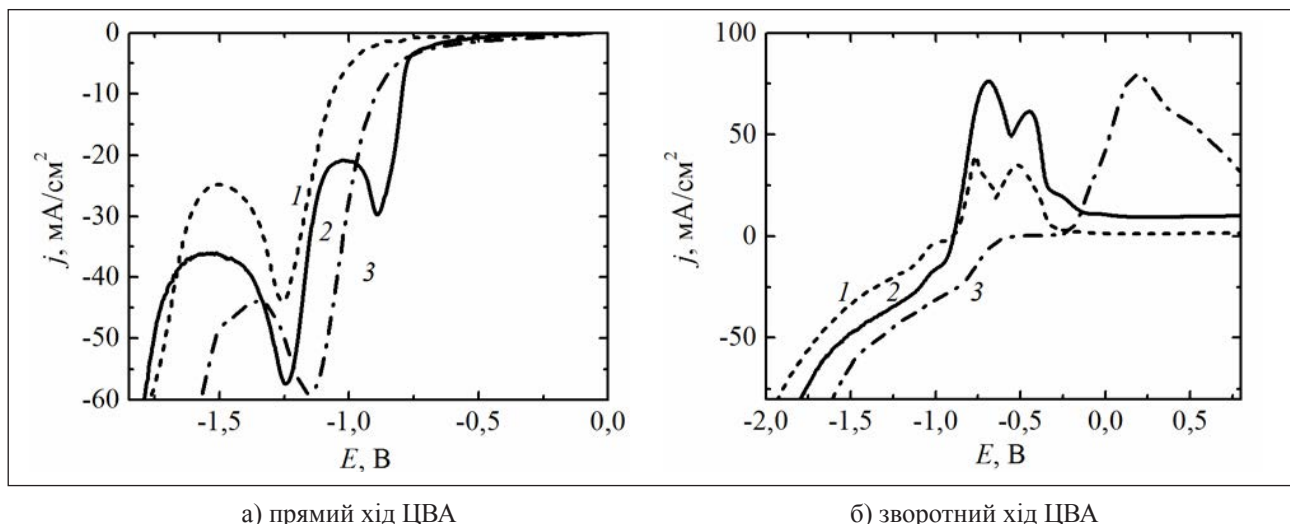
Більш низькі струми в площині початку катодних гілок прямого ходу ЦВА за участю в розряді сполук олова дозволяють припустити меншу швидкість контактного обміну у відповідних електролітах у

порівнянні з розрядом міді (кр. 3) та з матеріалами основи, які розчиняються в цій площині потенціалів.

У площині потенціалів початку катодної поляризаційної залежності на міді, отриманій в електроліті бронзування (рис. 2 а, кр. 2), розчиняється вуглецева сталь (кр. 1).

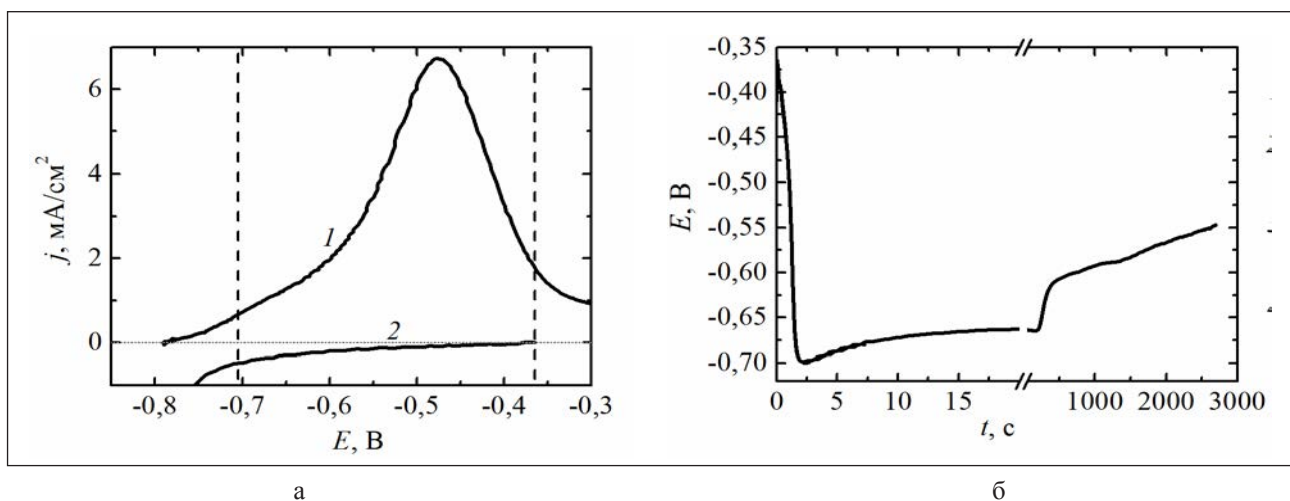
Для кількісної оцінки швидкості контактного обміну електроліту бронзування з поверхнею деталей з вуглецевих сталей кінетику цього процесу досліджено методом, запропонованим у наших працях [11; 12]. Для удосконалення методу поляризаційні залежності знімали з урахуванням швидкості та напряму зміни потенціалу зразка, зануреного у електроліт без струму.

На рис. 2б наведено хронопотенціограму сталевого зразка, зануреного в електроліт бронзування  $E3$  без струму. Залежність має чотири основних ділянки (за дві перших секунди потенціал сталевого зразка



а) прямий хід ЦВА

б) зворотний хід ЦВА

Рис. 1. ЦВА на платині в електролітах  $E1(3)$ ,  $E2(1)$ ,  $E3(2)$ 

а

б

Рис. 2. Катодна поляризаційна залежність в електроліті  $E3$  на міді (2) і анодна поляризаційна залежність розчинення сталі Ст3 (а) у розчині фону (1) та  $E-t$ –залежність зразка зі сталі Ст3, що занурений в електроліт  $E3$  (б)

швидко зміщується в бік негативних потенціалів, в межах трьох хвилин змінюється досить незначно, після стрибка в позитивний бік потенціалів в межах 45 хвилин він змінюється повільно).

За методикою, що викладена у згаданих джерелах [11; 12], розраховали параметри кінетики контактного обміну поверхні сталевого зразка з електролітом бронзування. Зміну в часі густини струму контактного обміну і частки площі зразка, яка зайнята катодними ділянками, на початковій стадії занурення представлено на рис. 3. Густина струму контактного обміну (кр. 2) протягом 1,5 секунд швидко збільшується, потім встановлюється на значенні  $0,26 \text{ mA/cm}^2$  і починає зменшуватися (протягом декількох хвилин знижується до  $0,07 \text{ mA/cm}^2$ , потім рівномірно знижується до  $0,04 \text{ mA/cm}^2$ ). Поверхня сталевого зразка в перші секунди практично повністю перекривається міддю (кр. 1), потім через пори починає розчи-

нятися сталь, але протягом 45 хвилин катодні ділянки знов перекривають поверхню. Катодна складова контактного обміну протікає в площині потенціалів нижче граничного струму, що зумовлює компактну структуру катодного осаду і не перешкоджає гарному зчепленню покриття зі сталеву основою.

Оскільки електроліти, що містять іони олова, для осадження компактних покриттів потребують введення поверхнево-активних речовин (далі – ПАР), в електроліт бронзування додатково вводили столярний клей.

Порівняно з ЦВА без ПАР (рис. 4 а, кр. 2) у присутності клею (кр. 1) катодний процес ускладнюється, знижується висота піків і граничних струмів. Якщо хроноамперограми (рис. 4 б) осадження покриттів як при значеннях потенціалу першого підйому струму, так і при потенціалах другого підйому струму у відсутності в елек-

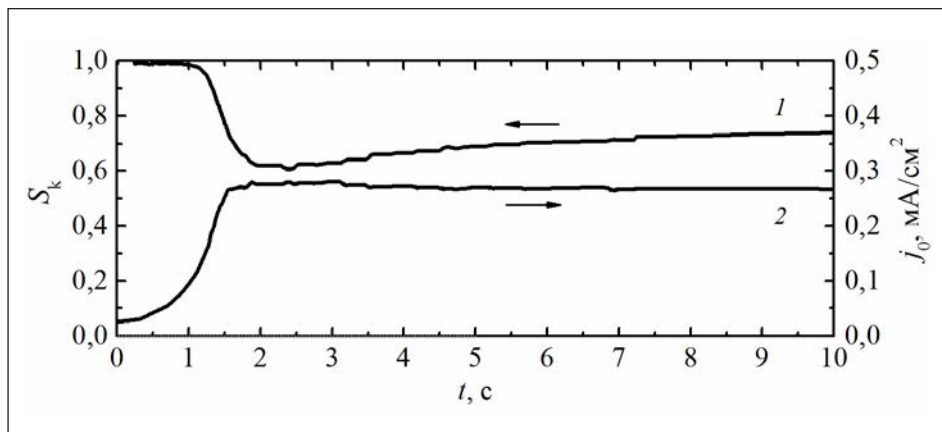


Рис. 3. Залежність у часі густини струму контактного обміну ( $j_0$ ) і частки площі поверхні сталевого зразка, зайнятої катодними ділянками ( $S_k$ )

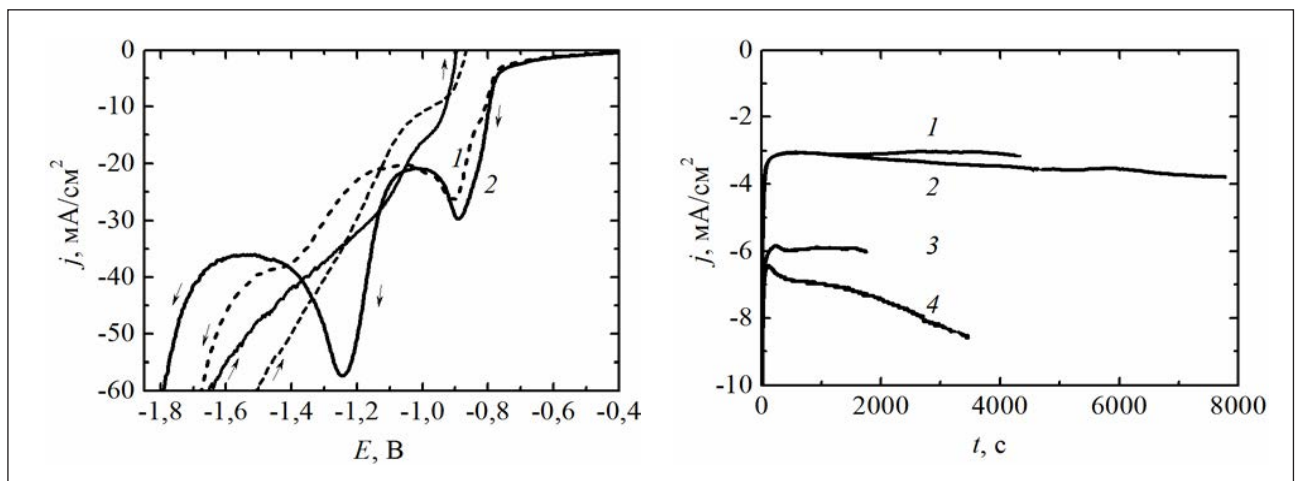


Рис. 4. ЦВА (а) і хроноамперограми осадження покриттів (б) в електроліті ЕЗ без клею (2а, 2б, 4б) і з додаванням  $0,8 \text{ г/дм}^3$  клею (1а, 1б, 3б)



троліті клею (кр. 2 і 4) свідчать про розвинення поверхні електроду в процесі осадження, то у присутності клею (кр. 1 і 3) значення струму на хроноамперограмах не зростають, а покриття залишаються компактними.

У разі збільшення вмісту клею покриття стають блискучими, однак знижується катодний вихід за струмом. Тому ми використовували мінімальну концентрацію столярного клею, достатню лише для отримання компактних покриттів. Параметри формування компактних покриттів, а також їх характеристику наведено у табл. 2 (зразки 1 і 2). При більш негативному потенціалі зростає вміст олова у сплаві, мікротвердість знижується, можливо, через більш пухку структуру в умовах потреби більшої концентрації клею при збільшенні вмісту олова у сплаві.

Мультишарові покриття, які складаються з шарів сплавів Cu-Sn різного складу, осаджували двоімпульсним потенціостатичним методом. Основні шари осаджували при потенціалі першого підйому на катодній гілці ЦВА в діапазоні  $-0,9$  В... $-0,95$  В, додаткові шари (більш тонкі) осаджу-

вали при потенціалі другого підйому в діапазоні  $-1,0$  В... $-1,2$  В. Обидва шари осаджували протягом часу, достатнього для досягнення заданої кількості електрики. Основні шари отримували при потенціалі осадження одношарового зразка 1 (табл. 2). Склад основних шарів відповідав твердому розчину олова в міді. Додаткові шари отримували при потенціалі осадження одношарового зразка 2 (табл. 2), їх склад був близький до складу  $\delta$ -фази – сполуки  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ .

Наслідком збільшення концентрації клею при осадженні мультишарового покриття (рис. 5) є зниження густини струму осадження основних шарів і відповідне збільшення часу осадження основних шарів до досягнення тієї ж заданої кількості електрики. Мультишарове покриття зразка 4 (табл. 2), яке осаджене з більшою концентрацією столярного клею, містить менше олова (вміст якого усереднений за шарами при використанні рентгенофлуоресцентного методу аналізу товстого покриття), має меншу товщину шарів та більшу мікротвердість. Порівняно з одношаровими покриттями сплавами, які містять олово

Таблиця 2

Параметри електроосадження покриттів та їх характеристика

Номер зразка	Вміст клею, г/дм <sup>3</sup>	E, В		Q, Кл/см <sup>2</sup>		w(Sn), %	h, нм		HV
		1-й шар	2-й шар	1-й шар	2-й шар		1-й шар	2-й шар	
1	0	-0,9		-		11,1	-		155
2	0,8	-1,1		-		30,7	-		88,2
3	0,8	-0,9	-1,15	0,03	0,01	20,1	12,2	4,3	228
4	1,0			0,03	0,01	18,2	12,0	4,1	237
5	1,0	-0,95	-1,2	0,075	0,025	18,8	29,9	10,2	285

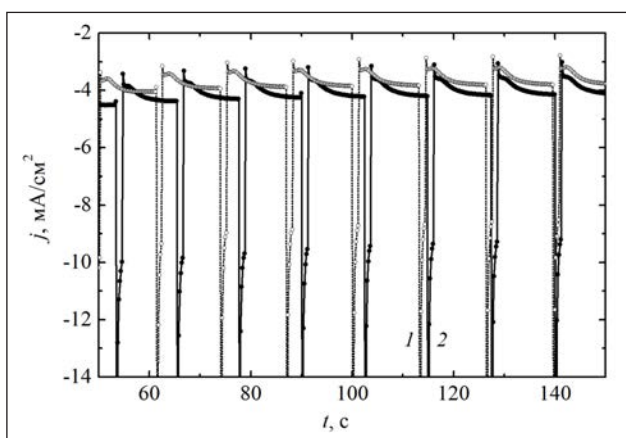
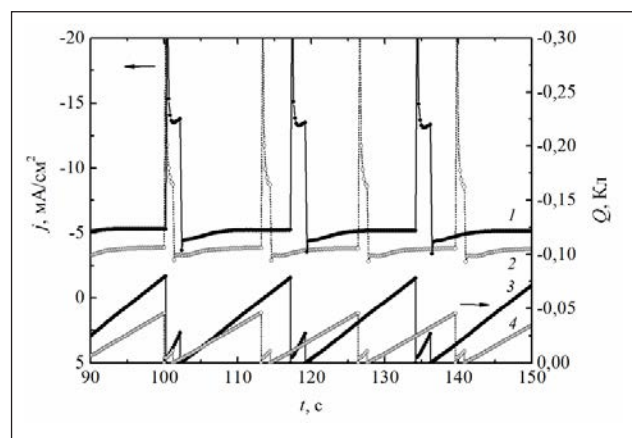


Рис. 5. Хроноамперограми електроосадження мультишарового  $(\text{Cu-Sn})_1/(\text{Cu-Sn})_2$  покриття в електроліті E3 з додаванням  $0,8$  г/дм<sup>3</sup> клею (2, див. параметри осадження зразка 3 у табл. 2) та  $1,0$  г/дм<sup>3</sup> клею (1, див. параметри осадження зразка 4 у табл. 2)



1, 3 – зразок 5 табл. 2; 2, 4 – зразок 4 табл. 2. Рис. 6. Хроноамперограми електроосадження мультишарового  $(\text{Cu-Sn})_1/(\text{Cu-Sn})_2$  покриття в електроліті E3 з додаванням  $1,0$  г/дм<sup>3</sup> клею (1, 2) та зміна кількості витраченої електрики (3, 4)

приблизно стільки ж, як і основні та додаткові шари мультишарових покриттів, останні мають значно більшу мікротвердість, можливо, через різний фазовий склад шарів, одні з яких містять як основну  $\alpha$ -фазу, а інші –  $\delta$ -фазу, яка має високу мікротвердість, але й високу крихкість, яка в складі мультишарового покриття маскується при пошаровому осадженні тонких шарів сплавів.

Зсув потенціалів осадження шарів мультишарового покриття на 50 мВ у бік негативних потенціалів призводить до збільшення струмів осадження шарів (рис. 6, кр 1 і 2). При збільшенні товщини шарів мультишарового покриття через збільшення у півтора рази кількості електрики на їх осадження (кр. 3 і 4) з приблизно таким же усередненим вмістом олова (зразок 5 в табл. 2) мікротвердість покриття зростає. Це, можливо, пов'язано з більшою суцільністю складових шарів.

**Висновки.** У полілігандному пірофосфатно-трилонатному електроліті для осадження мультишарових покриттів  $(\text{Cu-Sn})_1/(\text{Cu-Sn})_2$  мідь

виділяється з надполяризацією, а олово – з деполяризацією. Кінетика анодного розчинення цих металів в розглянутих умовах електролізу обмежує використання комбінованих анодів. Удосконаленим методом дослідження кінетики контактного обміну в електроліті визначено, що густина струму контактного обміну перебуває в діапазоні 0,07-0,26 мА/см<sup>2</sup>, а процес протягом 45 хвилин здійснюється в умовах формування катодного осаду компактної структури, яка не перешкоджає високій адгезії покриття з основою з вуглецевої сталі. Виявлено значне підвищення мікротвердості мультишарових покриттів порівняно з одношаровими покриттями сплавами, що мають склад, близький до складу шарів мультишарового покриття. Висловлено припущення щодо впливу на підвищення мікротвердості мультишарових покриттів значного вмісту  $\delta$ -фази. Визначено вплив вмісту ПАР в електроліті і архітектури мультишарового покриття на мікротвердість покриттів.

#### Список літератури:

1. Huttunen-Saarivirta E., Isotahdon E., Metsäjoki J, Salminen T., Ronkainen H., Carpén L. Behaviour of leaded tin bronze in simulated seawater in the absence and presence of tribological contact with alumina counterbody: Corrosion, wear and tribocorrosion. *Tribology International*. 2019. Vol. 129. P. 257–271.
2. Meng G., Sun F., Wang S., Shao Y., Zhang T., Wang F. Effect of electrodeposition parameters on the hydrogen permeation during Cu–Sn alloy electrodeposition. *Electrochimica Acta*. 2010. Vol. 55. No. 7. P. 2238–2245.
3. Jung M., Lee G., Choi J. Electrochemical plating of Cu-Sn alloy in non-cyanide solution to substitute for Ni undercoating layer. *Electrochimica Acta*. 2017. Vol. 241. P. 229–236.
4. Рева О.В., Михалюк С.А., Богданова В.В. Защитные бронзовые гальванопокрытия: перспективы использования для повышения надежности и сроков эксплуатации аварийно-спасательной техники. Зависимость состава покрытий от условий синтеза. *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. 2010. № 1 (11). С. 47–55.
5. Pu W., He X., Ren J., Wan C., Jiang C. Electrodeposition of Sn-Cu alloy anodes for lithium batteries. *Electrochimica Acta*. 2005. Vol. 50 (20). P. 4140–4145.
6. Wu L., Cogley A. J. Investigation into the effects of magnetic agitation and pulsed current on the development of SnCu alloy electrodeposits. *Thin Solid Films*. 2019. Vol. 683. P. 118–127.
7. Jie S., Ting-yun M., Hui-xuan Q., Qi-song L. Electrochemical behaviors and electrodeposition of single-phase Cu-Sn alloy coating in [BMIM]Cl. *Electrochimica Acta*. 2019. Vol. 297. P. 87–93.
8. Bengoa L.N., Pary P., Conconi M.S., Egli W.A. Electrodeposition of Cu-Sn alloys from a methanesulfonic acid electrolyte containing benzyl alcohol. *Electrochimica Acta*. 2017. Vol. 256. P. 211–219.
9. Walsh F.C., Low C.T.J. Composite, multilayer and three-dimensional substrate supported tin-based electrodeposits from methanesulphonic acid. *Transactions of the IMF*. 2016. Vol. 94 (3). P. 152–158.
10. Maizelis A., Bairachniy B. Protection of NdFeB Magnets by Multilayer Coating. *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. 2019. P. 596–599.
11. Maizelis A.A., Tul'skii G.G., Bairachnyi V.B., Trubnikova L.V. The Effect of Ligands on Contact Exchange in the NdFeB-Cu<sup>2+</sup>-P<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>4-</sup>-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> System. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2017. Vol. 53. No. 4. P. 417–423.
12. Maizelis A.A., Bairachnyi B.I., Tul'skii G.G. Contact Displacement of Copper at Copper Plating of Carbon Steel Parts. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2018. Vol. 54. No. 1. P. 12–19.

**Maizelis A.O. ELECTRODEPOSITION OF (Cu-Sn)<sub>1</sub>/(Cu-Sn)<sub>2</sub> MULTILAYER COATINGS FROM PYROPHOSPHATE-TRILONATE ELECTROLYTE**

*Copper-tin alloys are used as decorative, protective and functional coatings. The field of their application is extremely wide: electronics, tribology and mechanical engineering, etc. The article is devoted to electrodeposition of modern type of coatings - multilayer coating consisting of layers of copper-tin alloys of different phase composition with thickness of 4-30 nm. Multilayer copper-tin coatings were obtained in the polyligand pyrophosphate-trilonate electrolyte by two-pulse potentiostatic method. The methods of cyclic voltammetry, chronoamperometry and chronopotentiometry (Elins P-45X potentiostat) were used. The parameters of the contact exchange kinetics in the electrolyte were determined by an advanced method of the analysis of coupled process reactions using potentiostat-galvanostat MTech PGP-550M. The elemental composition of the samples was determined by X-ray fluorescence method. The microhardness of the coatings was determined using PMT-3 microhardness meter. It is revealed that copper is deposited into the alloy with overpolarization and tin is deposited with depolarization. It is determined that the current density of contact exchange in the studied electrolyte is in the range of 0.07-0.26 mA/cm<sup>2</sup> and the process is carried out for 45 minutes under the conditions of formation of a cathodic deposit of compact structure that does not prevent high adhesion of the coating with a carbon steel base. It is shown that multilayer coatings having higher microhardness than single-layer coatings of copper-tin alloys of the same chemical composition as the constituent layers of the multilayer coating are deposited from the electrolyte based on pyrophosphate. Under conditions of minimum surfactant content in the electrolyte, the microhardness of multilayer coating is 285 HV (the microhardness of the single-layer coating, which corresponds to the composition of the main layers of the multilayer coating is 155 HV, and the one of additional layers is 88.2 HV). It is suggested that the increase in microhardness of multilayer coatings in comparison with single layer coatings is influenced by high content of  $\delta$ -phase in additional thin sublayers.*

**Key words:** copper-tin, multilayer coating, contact exchange, microhardness, pyrophosphate-trilonate electrolyte.

**Фролова Л.А.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Півова О.А.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

## УМОВИ ОТРИМАННЯ МАГНЕТИТУ ПІД ДІЄЮ КОНТАКТНОЇ НЕРІВНОВАЖНОЇ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ

Останнім часом інтерес дослідників до магнітних наночастинок помітно зріс. Зокрема, це пов'язано з їх широким застосуванням у радіотехніці, мікрохвильовій технології, технології HD, обчислювальних пристроях, безконтактних вимикачах та підсилювачах, датчиках, медицині та екологічних технологіях. Високодисперсний магнетит - це один із найбільш широко використовуваних магнітних порошків ферум оксидів. Одним зі способів регулювання властивостей є регулювання параметрів синтезу та вихідних речовин у технологіях одержання магнетиту.

Для дослідження були підготовлені модельні розчини ферум (II) сульфату. Отримання прекурсорів здійснювали осадженням з розчину ферум (II) сульфату. Ферум (II) гідроксид обробляли контактною низькотемпературною нерівноважною плазмою на лабораторній хімічній установці. Варіювання рН відбувалося в діапазоні 7–12. Після обробки отримані осади промивали і просушували. Фазовий склад зразків вивчали за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-2 при монохроматичному випромінюванні  $\text{Cu-K}\alpha$ .

Були виконані дві серії експериментів. У першій серії досліджувався вплив вихідного рН розчину на кінетику зміни кислотності, фазовий склад, а також магнітні властивості отриманого продукту, у другій серії вивчали вплив температури обробки на фазовий склад.

Зі збільшенням початкового значення рН і часу обробки НКП зменшується час окислення. Це призводить до послідовного утворення  $\alpha\text{-FeOOH}$  –  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  –  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .

Згідно з даними рентгенівського дослідження при збільшенні вихідного значення рН суспензії ступінь кристалічності кінцевого продукту збільшується.

Утворення магнетиту відбувається при вихідному рН 10–12, час обробки становить 2–10 хв. Немагнітний ферум (III) оксигідроксид  $\alpha\text{-FeOOH}$  утворюється з вихідним значенням рН 8–9, час обробки НКП становить 5–10 хв. Що вищим є початкове значення рН, то меншим є час обробки НКП для отримання магнетиту.

**Ключові слова:** магнетит, гетит, намагніченість насичення, контактна низькотемпературна нерівноважна плазма, осадження.

**Постановка проблеми.** Останнім часом інтерес дослідників до магнітних наночастинок значно зріс. Зокрема, це пов'язано з їх широким використанням в радіотехніці, техніці СВЧ, HD-технологіях, в обчислювальних пристроях, безконтактних перемикачах і підсилювачах, сенсорах, медицині, природоохоронних технологіях [1–9]. Високодисперсний магнетит є одним з найбільш застосовуваних із ферумоксидних магнітних порошків. Їх широке застосування як компонентів у носіях аудіо- та відеозаписів пов'язане саме з наявністю магнітних властивостей. Одним із способів регулювання властивостей є використання різного вихідного матеріалу в технологіях одержання магнетиту [6–8].

Магнітні властивості наночастинок магнетиту визначаються багатьма факторами, серед яких слід

виділити хімічний склад, тип кристалічної решітки і ступінь її дефектності, розмір і форму частинок, морфологію, взаємодію частинок з носієм або матрицею, сусідніми частинками. Змінюючи технологічні параметри процесу, можна в певних межах керувати магнітними характеристиками матеріалів на їх основі. Проте контролювати всі ці фактори під час синтезу приблизно однакових за розмірами і хімічним складом наночастинок вдається далеко не завжди, тому властивості однотипних наноматеріалів можуть сильно відрізнятися.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз останніх публікацій і патентів синтезу магнітних дисперсних наносистем показав, що дослідники продовжують пошуки нових способів їх отримання, враховуючи зростання обсягів споживання [9].



Серед запропонованих синтетичних методів хороші результати були отримані шляхом термічного розкладання (окислення) гідроксидів, цитратів, оксалатів, карбонатів. Особливим інтересом дослідників користуються гідрофазні способи отримання магнітних оксидів [7–11]. Вчені проводять багатостадійні хімічні реакції утворення прекурсорів з подальшим перетворенням суміші безпосередньо на продукти.

Одним з найперспективніших методів є технологія отримання магнетиту шляхом осадження гідроксиду з подальшим його окисленням. Що стосується складності процесу окислення катіонів  $Fe^{2+}$  у водних розчинах повітрям, то можна знайти відповідну інформацію в роботах [8–10]. Дуже важко контролювати процес окислення дво-валентного заліза і витримати необхідне оптимальне співвідношення  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ , від якого залежать магнітні властивості осаду магнетиту.

**Постановка завдання.** Плазмові технології мають багато таких переваг: недорогі гідроксидні прекурсорів, короткий час синтезу, просте апаратне оформлення, можливість регулювання процесу, простота в обслуговуванні. Цей спосіб отримання магнітних оксидів можна вважати одним з перспективних способів отримання магнетиту. У дослідженнях, проведених раніше, ми переконалися, що багато параметрів впливають на хід реакції. Такими параметрами є склад вихідної суміші, рН золю і вихідні параметри плазми. При розгляді впливу рН на фазоутворення феритів кобальту, нікелю та марганцю було встановлено, що це найважливіший параметр. Попри те, що синтез магнітних оксидів феруму досліджувався багатьма авторами, основними параметрами, що впливають на процес, вважаються співвідношення катіонів та швидкість окислення. Кислотність вихідного розчину не розглядається як параметр для управління якістю кінцевого продукту.

У даному дослідженні ставилося завдання вивчення впливу вихідного рН і часу обробки на магнітні властивості магнетиту.

Завдання даного дослідження – вивчення впливу основних параметрів синтезу на фазовий склад утвореного осаду, а також дослідження кінетики зміни рН в процесі окислення в системі  $Fe^{2+} - SO_4^{2-} - OH^-$ . Виявлення основних закономірностей окислення дає можливість вибрати оптимальні умови його здійснення і отримати продукти з необхідними властивостями.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження готувалися модельні розчини ферум (II) сульфату. Ми використовували 0,5М

розчину ферум (II) сульфату. Отримання прекурсорів здійснювалося шляхом зливання при безперервному перемішуванні розчину ферум (II) сульфату. Золь ферум (II) гідроксиду, отриманий при осадженні лугом, обробляли контактною низькотемпературною нерівноважною плазмою в лабораторній плазмохімічній установці, яка докладно описана у роботі [12]. Діапазон зміни рН 7–12 з кроком 1. Вимірювання рН середовища розчину проводилося через рівні проміжки часу за допомогою рН-метра рН-150МИ.

Після обробки отримані осади були промиті і висушені для подальшого дослідження.

Дослідження фазового складу отриманих зразків проводили за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-2.0 в Cu-K $\alpha$ -монокроматизованому випромінюванні.

Були виконані дві серії експериментів. У першій серії досліджувався вплив початкового рН розчину на кінетику зміни кислотності, фазовий склад, а також магнітні властивості отриманого продукту, у другій серії вивчався вплив температури обробки на фазовий склад.

Раніше було встановлено, що в разі окислення сполуки ферум (II) процес складається з декількох стадій. При цьому перша стадія відповідає утворенню гідратованого оксиду, друга – формуванню кінцевого продукту (рис. 1, 2).

Усі криві можна розділити на кілька ділянок, перша з яких відповідає високій швидкості окислення, друга є більш пологою, а третя – це плато з постійним значенням рН. Очевидно, що у разі збільшення рН загальна швидкість окислення зменшується. Максимальна швидкість відповідає тому, що рН = 7, мінімальна – рН = 12. Інтервал часу між цими точками може служити кінетичною характеристикою процесу перетворення ферум (II) гідроксиду в оксигідроксидні сполуки ферум (III).

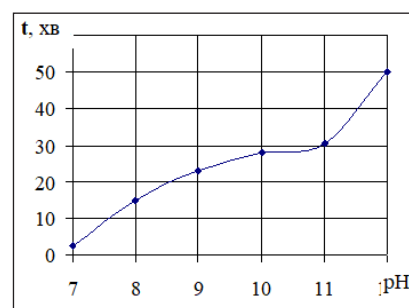


Рис. 1. Залежність часу обробки КНП від вихідного рН

Швидкість процесу окислення визначається показником рН розчину за інших рівних умов. Низькі значення рН призводять до утворення немагнітних

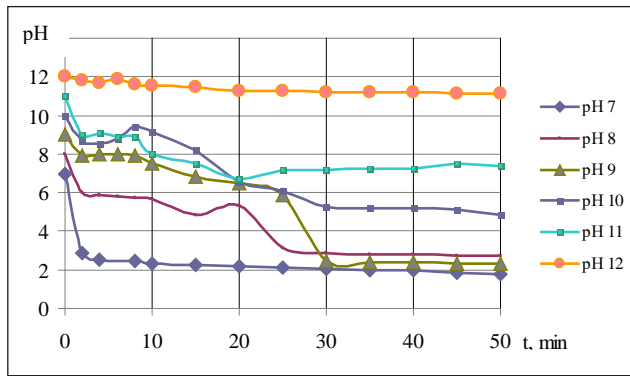


Рис. 2. Залежність рН від часу обробки КНП

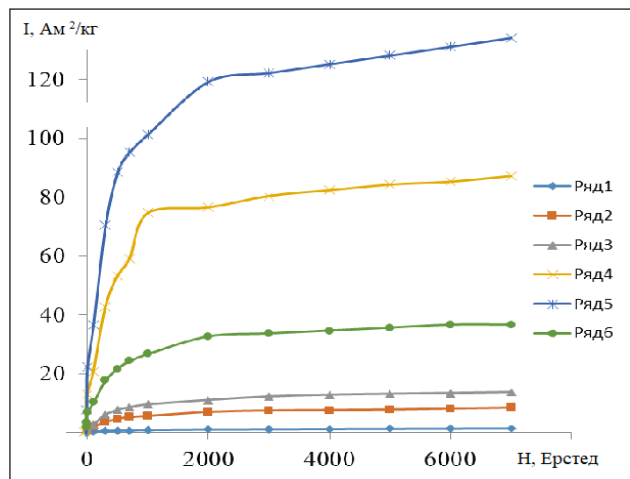


Рис. 3. Залежність магнітного насичення від напруженості магнітного поля: 1-рН=7; 2-рН=8; 3-рН=9; 4-рН=10; 5-рН=11; 6-рН=12

фаз (гетиту). Підвищення рН уповільнює процес окислення гідроксидів Fe (II) до тривалентного і приводить до утворення магнетиту. Це підтверджується залежністю магнітних характеристик від показника рН вихідної суспензії (рис. 3, 4). Максимальне значення намагніченості насичення відповідає рівню рН = 11, коерцитивної сили – рН = 10.

Проведені дослідження показують, що фазовий склад одержуваного продукту значною мірою залежить від рН розчину. Збільшення рН від 7 до 12 за однакових параметрів синтезу призводить до послідовного утворення  $\alpha$ -FeOOH –  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> –  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Висновки.** Дослідження показали, що контактна низькотемпературна нерівноважна плазма має потужні окислювальні властивості. Варіюючи початкове значення рН і час обробки КНП, можна

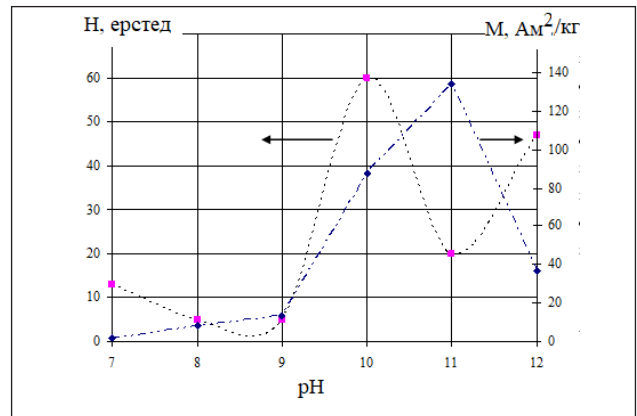


Рис. 4. Залежність коерцитивної сили (1) і намагніченості насичення від вихідного рівня рН

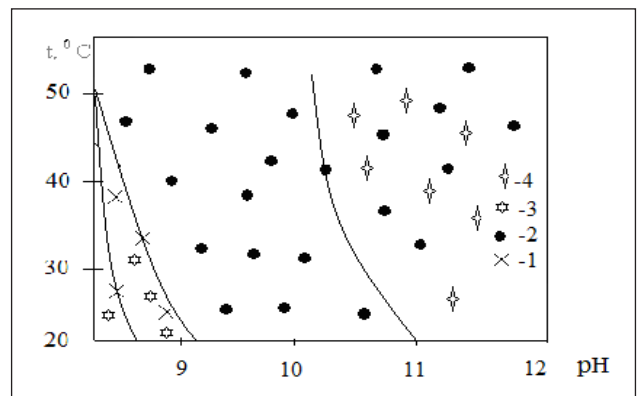


Рис. 5. Залежність фазового складу осаду після обробки КНП в системі FeSO<sub>4</sub> – NaOH – H<sub>2</sub>O від вихідних температури і рН розчину: 1-  $\alpha$ -FeOOH; 2-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; 3- $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4-  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

отримувати продукти, що володіють різними технологічними характеристиками.

Зі збільшенням початкового значення рН і часу обробки КНП зменшується час окислення. Це призводить до послідовного утворення  $\alpha$ -FeOOH –  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> –  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Згідно з даними рентгеновського дослідження за умови збільшення вихідного значення рН суспензії ступінь кристалічності кінцевого продукту збільшується.

Для отримання жовтого пігменту на основі  $\alpha$ -FeOOH необхідно використовувати суспензію з вихідним значенням рН = 8–9, час обробки КНП – 5–10 хв. Утворення магнетиту відбувається при вихідному рН 10–12, час обробки становить 2–10 хв. Що вищим є початковий рівень рН, то меншим є час обробки КНП для отримання магнетиту.

**Список літератури:**

1. Unsoy, Gozde, et al. Magnetite: from synthesis to applications. *Current topics in medicinal chemistry*, 2015, 15.16, P. 1622–1640.
2. Arantes, Ana Carolina Cunha, et al. Bio-based thin films of cellulose nanofibrils and magnetite for potential application in green electronics. *Carbohydrate polymers*, 2019, 207, P. 100–107.

3. Aghazadeh, Mustafa, Isa Karimzadeh, and Mohammad Reza Ganjali. Electrochemical evaluation of the performance of cathodically grown ultra-fine magnetite nanoparticles as electrode material for supercapacitor applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2017, 28.18, P. 13532–13539.
4. Usman, M., Byrne, J. M., Chaudhary, A., Orsetti, S., Hanna, K., Ruby, C. & Haderlein, S. B. (2018). Magnetite and green rust: synthesis, properties, and environmental applications of mixed-valent iron minerals. *Chemical reviews*, 118 (7), 3251–3304.
5. Legodi, M., Waal, De. The preparation of magnetite, goethite, hematite and maghemite of pigment quality from mill scale iron waste, *Dyes and Pigments*. 2007. № 74 (1), P.161–168.
6. Fouad, N. E., Ismail, H. M., Zaki, M. I. Recovery of red iron oxide pigmentary powders from chemically-modified steel-pickling chemical waste. *J. Mater. Sci. Let.*, 1998, 17 (1), P. 27–29.
7. Khalil, Mutasim I. Co-precipitation in aqueous solution synthesis of magnetite nanoparticles using iron(III) salts as precursors. *Arabian Journal of Chemistry* , 2015, 8.2, P. 279–284.
8. Frolova, L. A. Production conditions of iron oxide black from pickle liquors. vol. 4, *Metall. Min. Ind.*, 2014. P. 1–4.
9. Cornell, R.M., Schwertmann, U. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses, John Wiley & Sons, 2003.
10. Tang, J., Myers, M., Bosnick, K. A., & Brus, L. E. (2003). Magnetite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocrystals: spectroscopic observation of aqueous oxidation kinetics. *The Journal of Physical Chemistry B*, 107 (30), 7501–7506.
11. Akinwekomi, V., Maree, J. P., Zvinowanda, C., & Masindi, V. (). Synthesis of magnetite from iron-rich mine water using sodium carbonate. *Journal of environmental chemical engineering*, 20175 (3), P. 2699–2707.
12. Frolova, L. A., Derhachov, M. P. The Effect of Contact Non-equilibrium Plasma on Structural and Magnetic Properties of Mn<sub>x</sub>Fe<sub>3-x</sub>O<sub>4</sub> Spinels. *Nanoscale Research Letters*, 2017.12 (1), P. 505–517.

#### **Frolova L.A., Pivovarov A.A. CONDITIONS OF OBTAINING OF MAGNETITE USING CONTACT NON-EQUILIBRIUM PLASMA**

*In recent years, the interest of researchers in magnetic nanoparticles has increased markedly. First of all, this is due to their widespread use in radio engineering, microwave technology, HD-technology, computing devices, contactless switches and amplifiers, sensors, medicine and environmental technologies. Dispersed magnetite is one of the most widely used magnetic powders of ferric oxides. One of the ways of regulating properties is to regulate the synthesis parameters and the starting materials in magnetite production technologies.*

*Model solutions of ferrous sulphate were prepared for the study. The precursors were obtained by precipitation from a solution of ferrous sulphate. Ferrous hydroxide was treated with contact low-temperature non-equilibrium plasma at a laboratory chemical plant. pH was varied in the range 7-12. After treatment, the resulting precipitate was washed and dried. The phase composition of the samples was studied using a DRON-2 X-ray diffractometer with Cu-K $\alpha$  monochromatic radiation.*

*Two series of experiments were performed. In the first series, the effect of the initial pH of the solution on the kinetics of the change in acidity, phase composition, as well as the magnetic properties of the obtained product was investigated, in the second series the effect of the treatment temperature on the phase composition was studied.*

*Studies have shown that CNP has strong oxidizing properties. However, by varying the initial pH, and the processing time of the CNP, you can get products that have different technological characteristics.*

*As the initial pH and processing time of the CNP increase, the oxidation time decreases and  $\alpha$ -FeOOH –  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> –  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is formed sequentially.*

*According to the X-ray study, when the initial pH value of the suspension is increased, the degree of crystallinity of the final product increases.*

*The formation of magnetite occurs at an initial pH of 10–12, the processing time of 2-10 minutes Non-magnetic ferric oxyhydroxide  $\alpha$ -FeOOH is formed with the initial pH = 8–9, the processing time of the CNP is 5–10 min. The higher the initial pH, the less the processing time of the CNP to obtain magnetite.*

**Key words:** magnetite, goethite, magnetization of saturation, contact non-equilibrium plasma, precipitation.

## ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 637.03

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/15>

**Болгова Н.В.**

Сумський національний аграрний університет

**Галета Ю.С.**

Сумський національний аграрний університет

### ЙОДКАЗЕЇН У ВИРОБНИЦТВІ ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ

Молочна галузь посідає одне з провідних місць у структурі економіки будь-якої країни. У багатьох країнах з'явилися програми по створенню продуктів харчування спеціального напрямлення, які поряд із поживними інгредієнтами містять і функціональні. Одним із таких елементів є йод. Це один з найважливіших мікроелементів для здоров'я людини, що визначає нормальний перебіг багатьох фізіологічних процесів.

Дефіцит йоду викликає розвиток розумової і фізичної слабкості, погіршення пам'яті, уповільнення росту, безпліддя, сприяє ожирінню, підвищенню стомлюваності, негативно впливає на перебіг вагітності та на розвиток немовлят. Саме тому, що продукти харчування не лікують, але можуть запобігти виникненню йододефіциту та пов'язаних із цим захворювань, перспективним є використання у технології виробництва молочних та кисломолочних продуктів харчової добавки йодказеїн. Його виготовляють на основі білка молока, з яким йод пов'язаний міцним хімічним зв'язком в одній з амінокислот – тирозині. Міцність хімічного зв'язку надає йодказеїну стійкості при тривалому зберіганні, до дії температур. На ряду з цим в організмі йод легко відщеплюється від білку, виконуючи свою фізіологічну роль. Отже, використання йодказеїну у харчовій промисловості слід розглядати як перспективний напрям виробництва йодованих продуктів і подальшого їх використання у профілактиці.

Враховуючи актуальність теми, можна зробити висновок, що створення плавленого сиру з додаванням йодказеїну для збагачення йодом і профілактики йододефіцитних захворювань є своєчасним і доцільним. Результати досліджень розроблених зразків плавленого сиру з йодказеїном дозволяють стверджувати, що зі збільшенням харчової добавки структурно-механічні властивості підвищуються. Збільшення показника зусилля пенетрації свідчить про ущільнення консистенції із збільшенням відсотку внесеного йодказеїну. Відносно першого зразка цей показник збільшився у другому зразку на  $0,5 \text{ kN/m}^2$ , а відносно третього – на  $1,4 \text{ kN/m}^2$ . Показник пружності, який характеризує еластичність сирної маси другого зразка був нижчий, ніж першого та третього на  $0,7 \text{ kN/m}^2$  та  $2 \text{ kN/m}^2$  відповідно.

Можна зробити висновок, що введення у рецептуру харчової добавки йодказеїн веде до незначних структурних змін в межах нормативної документації. Слід зазначити, що за результатами роботи дегустаційної комісії найвищі бали за смак отримали аналог і другий зразок. Оцінка запаху всіх зразків була практично незмінна і становила від 4,4 до 4,6 бали. Найбільше балів за консистенцію отримав другий зразок (4,6 бали). Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що введення у рецептуру плавленого сиру йодказеїну в кількості 2% дозволить отримати якісний продукт функціонального напрямлення.

**Ключові слова:** плавлений сир, йодказеїн, функціональний, йододефіцит, йод.

**Постановка проблеми.** Молочна галузь посідає одне з провідних місць у структурі економіки будь-якої країни, оскільки і молоко, і молочні продукти належать до пріоритетних харчових продуктів людини протягом усього її життя. На сучасному етапі розвитку суспільства ставиться все більше вимог до якості продуктів харчування з урахуванням стану сировинної бази, до розробки нових технологій з використанням вто-

ринної сировини, які забезпечують безвідходне виробництво.

У багатьох країнах з'явилися програми по створенню продуктів харчування спеціального напрямлення, які поряд із поживними інгредієнтами містять і функціональні. Такі продукти допомагають адаптуватися до впливу зовнішнього середовища, запобігати виникненню захворювань, попереджають передчасне старіння. Функ-



ціональні продукти розмістилися між групами загального та лікувального напрямів. Від традиційних вони відрізняються відсутністю анти-нутриєнтів та збалансованою кількістю макро- і мікронутрієнтів. Одним із таких елементів є йод. Це один із найважливіших мікроелементів для здоров'я людини, що визначає нормальний перебіг багатьох фізіологічних процесів. Дефіцит йоду викликає розвиток розумової і фізичної слабкості, погіршення пам'яті, уповільнення росту, безпліддя, сприяє ожирінню, підвищенню стомлюваності, негативно впливає на перебіг вагітності та на розвиток немовлят [Владимирова І. та ін., 2015; Городинська О.Ю. та ін., 2016; Строй О.А. та ін., 2016; Тесарівська У.І., 2016; Розиев Р.А. та ін., 2017].

Саме тому, що продукти харчування не лікують, але можуть запобігти виникненню йододефіциту та пов'язаних із цим захворювань, перспективним є використання у технології виробництва молочних та кисломолочних продуктів харчової добавки йодказеїну. Його виготовляють на основі білка молока з яким йод пов'язаний міцним хімічним зв'язком в одній з амінокислот - тирозині. Міцність хімічного зв'язку надає йодказеїну стійкості при тривалому зберіганні, до дії температур. На ряду з цим в організмі йод легко відщеплюється від білку, виконуючи свою фізіологічну роль [Вокорина Е.Н. та ін., 2007].

Отже, використання йодказеїну у харчовій промисловості слід розглядати як перспективний напрям виробництва йодованих продуктів і подальшого їх використання у профілактиці.

**Аналіз останніх досліджень.** Не дивлячись на представлені в торгівельній мережі плавлені сири, їх асортимент постійно збільшується, особливо у напрямі надання продукту функціональних властивостей [Лупинская С.М. та ін., 2015]. Важливе місце посіли плавлені сири дієтичного та дитячого харчування, для військових. Дослідивши літературу, було встановлено, що плавлений сир містить достатню кількість засвоюваних жирів і практично не містить холестерин, що вигідно його відрізняє від твердих сирів [Гачак Ю.Р. та ін., 2018]. Це відіграє важливу роль для людей у віці, а також для тих хто страждає серцево-судинними захворюваннями [Розиев Р.А. та ін., 2017].

На основі літературних даних можемо зауважити, що йодування продуктів харчування відбувається повсякчас в різних країнах. Так, Мамцев А.Н., Козлов В.Н., Динякова М.В. у своїй роботі дослідили технологію виробництва кисломолоч-

ного напою збагаченого йодоорганічним комплексом «Йодінулін» [Мамцев А.Н. та ін., 2016]. Встановлено його сумісність з молочними системами та рекомендовано вживати для профілактики йододефіцитних захворювань.

Пасько О.В., Лисин П.А. розробили біопродукт збагачений фітйодом. Молочно-рослинною основою біопродукту було коров'яче молоко, суха молочна сироватка (2%), вівсяне толокно (5%). Обґрунтовано введення йодвмісної добавки «Фітйод» у кількісний 1 г на 1000 кг молочно-рослинної основи біопродукту. Встановлено, що збагачений біопродукт може бути включений в раціони харчування дітей шкільного віку і різних груп населення для профілактики йододефіцитних станів [Пасько О.В. та ін., 2017].

У своїй роботі Охотников С.І. ставив за мету розробити рецептуру м'якого сиру без дозрівання з внесенням у рецептуру ламінарії, яка є природним джерелом йоду [Охотников С.І., 2017]. Ламінарію вносили в молочну суміш перед термокислотою коагуляцією у кількості 0,2% від маси суміші. Технологічний процес виробництва збагаченого йодом термокислотного сиру включав наступні операції: підготовка молока до термокислотної коагуляції; нагрівання; внесення харчосмакового компонента і термокислотна коагуляція білків молока; формування; самопресування сирної маси; посол; обсушування; охолодження; упаковка; зберігання.

Результати досліджень показали, що внесення порошку ламінарії не погіршує якості сиру, але надає йому деякий пікантний присмак, а також є продуктом функціонального призначення. Питанням виробництва м'якого сиру з ламінарією займалися Болгова Н.В., Байдак М. О. та Приходько В.П. [Болгова Н.В. та ін., 2018]. Вченими було розроблено рецептуру, вдосконалено технологію та проведено дослідження фізико-хімічних та органолептичних показників готового продукту. Встановлено, що використання екстракту ламінарії у кількості 3% дозволяє отримати продукт функціонального призначення збагачений йодом та може бути рекомендований для виробництва підприємствами молочної промисловості.

Проблемами якості та харчової цінності збагачених йодом розсільних сирів займалися Т.В. Пилипенко, Л.Б. Коротышева, С.М. Малютенкова [Пилипенко Т.В. та ін., 2015]. Для дослідження було обрано сир «Осетинський», який збагачували харчовою добавкою йодказеїну та

ламінарією. В результаті були отримані наступні висновки: внесення йодказеїна привело до значного збільшення вмісту йоду і міді в 1,4 рази, але знизився вміст фосфору, марганцю і заліза; у зразку збагаченому ламінарією вміст йоду збільшився в практично в 4 рази, вміст марганцю не змінився, а вміст заліза збільшився в 3,12 рази, а фосфору на 4,0 мг/100 г.

У своїх дослідженнях А.Н. Табаторович, І.Ю. Резниченко використали йодказеїн як харчову добавку у технології виробництва пастили [Табаторович А.Н. та ін., 2016]. Були розроблені 3 рецептури пастили на агарі для різних вікових категорій населення. Розраховані для кожної рецептури норми внесення «Йодказеїна» склали відповідно (мг/кг продукту): 19,5; 64,9; 15,6. Було встановлено, що за усіма показниками зразки збагаченої пастили відповідали вимогам нормативної документації і не відрізнялися від контрольного зразка. Вміст йоду в усіх зразках пастили відповідав розрахунковим значенням, втрати добавки при виробництві не були відмічені. У двох екземплярах пастили «Ванільна – Йод+» і «Дитяча – Йод+» містилося близько 50% рекомендованої добової норми споживання йоду. Вміст йоду в двох екземплярах пастили «Ванільна – Йод+ (форте)» складало приблизно добову норму його споживання для вагітних і годуючих жінок. Пастила, збагачена «Йодказеїном», є продуктом, який можна рекомендувати для профілактики йоддефіцитних станів.

Зважаючи на такий широкий спектр використання харчової добавки йодказеїн, автор вважає за доцільне розглянути її як функціональний інгредієнт плавлених сирів, який може збагачувати традиційні продукти харчування. Особливо актуальне це питання за умов наявності дефіциту йоду у повсякденному раціоні українців.

Враховуючи актуальність теми, можна зробити висновок, що створення плавленого сиру з додаванням йодказеїну для збагачення йодом і профілактики йоддефіцитних захворювань є своєчасним і доцільним напрямом у технології.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є розширення асортименту продуктів функціонального напрямлення шляхом збагачення плавленого сиру харчовою добавкою йодказеїна.

**Матеріали і методи досліджень.** Матеріалами дослідження були: плавлений сир та харчова добавка йодказеїн. Під час виконання роботи були використані стандартні, загальноприйняті методи досліджень. Відбір проб і пробопідготовку проводили відповідно до ДСТУ 4834:2007

[ДСТУ 4834:2007, 2008]. Масову частку вологи визначали на апараті Чижової, реологічні показники на пенетрометрі «Labor» та еластопластометрі Толстого.

Для дослідження обрано чотири зразки плавленого сиру з різним відсотком йодказеїну: контрольний, 1-й – 0,13%, 2-й – 0,2% і 3-й – 0,3% йодказеїну.

**Результати досліджень.** Технологічна схема виробництва плавленого сиру з йодказеїном складається з наступних операцій: підготовка суміші до плавлення (сир кисломолочний подрібнюємо, додаємо яйце, соду, сіль, харчову добавку йодказеїн, підтоплене масло); плавлення суміші ( $t = 50-60^{\circ}\text{C}$ , 5-7 хв); пакування, охолодження до  $t = 4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , зберігання, реалізація.

Структурно-механічні характеристики готового продукту не лише дають інформацію про якість, а й впливають на тип і спосіб упаковки, смак та зовнішній вигляд плавленого сиру.

Плавлені сири відносяться до структурованих дисперсних систем. Сировина, що використовується за рецептурою, піддається різним видам обробки, включаючи перемішування, нагрівання, витікання через дозуючі пристрої, перекачування насосами та інше. При цьому відбувається певною мірою руйнування дисперсної системи, внаслідок чого структурно-механічні властивості плавленого сиру зазнають значних змін. Результати експериментальних досліджень представлено в таблиці 1.

Результати досліджень розроблених зразків плавленого сиру з йодказеїном дозволяють стверджувати, що із збільшенням відсотку харчової добавки показники структурно-механічних властивостей підвищуються. Збільшення показника зусилля penetрації свідчить про ущільнення консистенції із збільшенням відсотку внесеного йодказеїну. Відносно першого зразка цей показник збільшився у другому зразку на  $0,5 \text{ kN/m}^2$ , а відносно третього – на  $1,4 \text{ kN/m}^2$ . Показник пружності, який характеризує еластичність сирної маси другого зразка був нижчий, ніж першого та третього на  $0,7 \text{ kN/m}^2$  та  $2 \text{ kN/m}^2$ , відповідно. Різниця між значенням показників роботи різанням та зусилля зрізу між першими зразками не було. Значно виросли ці показники у третьому зразку. Вони перевищували перші два на  $10 \text{ J}$  та  $1,2 \text{ kN/m}^2$  відповідно. Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що введення у рецептуру харчової добавки йодказеїн веде до незначних структурних змін в межах нормативної документації.

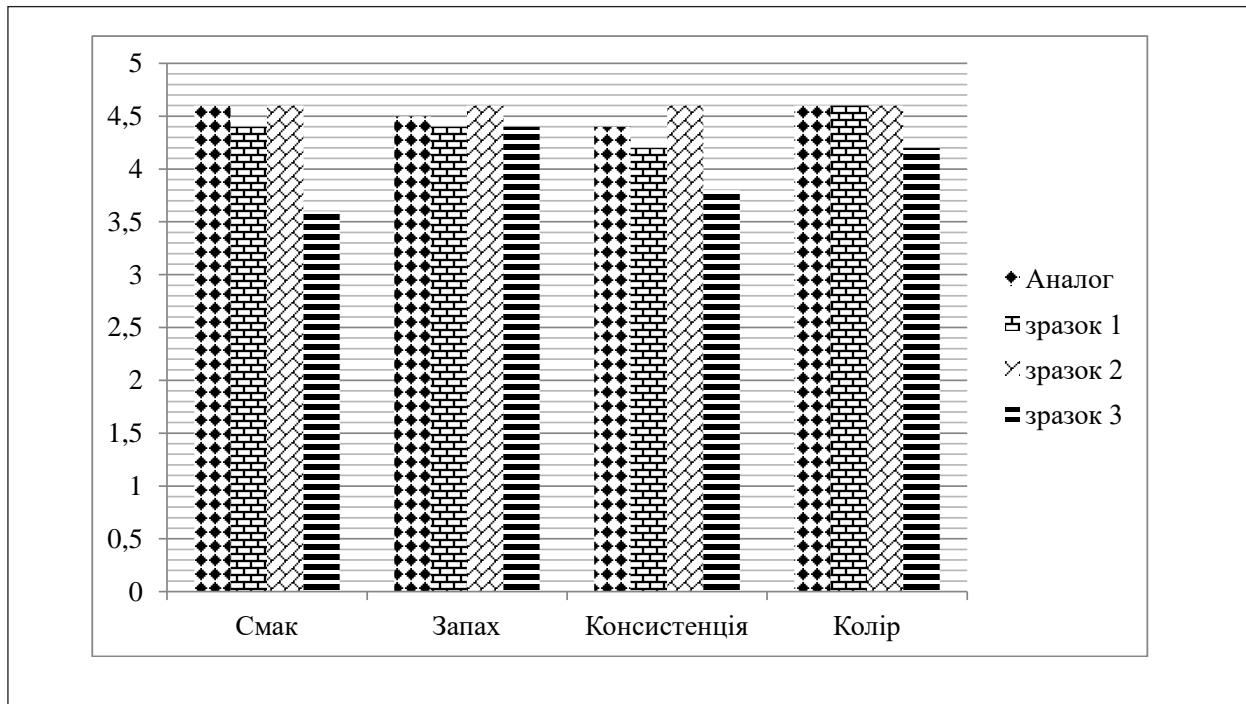


Рис. 1. Значення показників органолептичної оцінки досліджуваних зразків, бал

Таблиця 1

## Структурно-механічні показники (M±m)

Показник	Зразок		
	1	2	3
Зусилля пенетрації, kN/m <sup>2</sup>	3,0±0,05	3,5±0,16	4,4±0,47
Пружність, kN/m <sup>2</sup>	7,5±0,75	6,8±0,51	8,8±0,99
Робота різання, J	50,0±0,04	50,0±0,04	60,0±0,06
Зусилля зрізу, kN/m <sup>2</sup>	3,5±0,05	3,5±0,04	4,7±0,08

Зважаючи на викладений вище матеріал слід зазначити, що структурно-механічні властивості також впливають на органолептичні показники продукту. Дегустаційну оцінку досліджуваних зразків плавленого сиру проводила група із п'яти дегустаторів за 5-бальною шкалою. Результати дегустаційної оцінки досліджуваних зразків представлені на рис. 1.

Слід зазначити, що за результатом роботи дегустаційної комісії найвищі бали за смак отримали аналог і другий зразок. На 0,2 бали поступився перший зразок та на 1 бал третій. Оцінка запаху всіх зразків була практично незмінна і становила від 4,4 до 4,6 бали. Найбільше балів за

консистенцію отримав другий зразок (4,6 бали). На 0,2 бали поступився аналог, на 0,4 бали – перший зразок і на 0,8 бали – третій. Колір перших двох зразків досліджуваного продукту та аналога було оцінено комісією в 4,6 бали. Третій зразок поступився іншим на 0,4 бали.

Отже, експериментально встановлено, що введення в рецептуру плавленого сиру харчової добавки йодказеїн у кількості 0,2% дозволить отримати продукт із високими органолептичними показниками. Добавка рівномірно розподілилася по всьому тісту, що забезпечило прогнозований результат.

**Висновок.** Характер структурно-механічних властивостей розроблених зразків вказує на те, що введення у рецептуру харчової добавки йодказеїн позитивно вплинуло на консистенцію та еластичність другого зразка. За результатами роботи дегустаційної комісії, другий зразок досліджуваного продукту також мав найбільш високі бали. Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що введення у рецептуру плавленого сиру йодказеїну в кількості 2% дозволить отримати якісний продукт функціонального призначення.

## Список літератури:

1. Владимірова І., Георгіянц В. Фармакотерапевтичні напрямки застосування йодовмісних лікарських рослин при різних групах захворювань щитоподібної залози. ScienceRise. 2015. Т. 11, № 4(16). С. 46–54. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.54987.

2. Городинська О.Ю., Бобирьова Л.Є. Прогностична характеристика поширеності гіпотиреозу в Полтавській області та в Україні в цілому за умов йодного дефіциту. МЭЖ. 2016. № 2 (74).
3. Строй О.А., Сліпачук Л.В., Казакова Л.М. Вивчення йодної забезпеченості школярів м. Києва та шляхи корекції виявлених порушень. «Здоровье ребенка». 2016. 5 (73) С. 72–75 doi: <http://dx.doi.org/10.22141/2224-0551.5.73.2016.78304>.
4. Тесарівська У.І. Йодний дефіцит – актуальна проблема для України. Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин. 2015. Вип. 16, № 2. С. 459–466.
5. Розиев Р.А., Гончарова А.Я., Хомичёнок В.В., Мироевская А.С., Еримбетов К.Т., Земляной Р.А., Евдокунина Е.А. Йодирование молочных продуктов – забота о будущем. Переработка молока: технология, оборудование, продукция. 2017. № 2. С. 44–45.
6. Патент RU 2290818 U, МПК А23С3/02, А23С9/152 Способ получения обогащенного пастеризованного молока / Вокорина Е.Н., Гаврилова Н.Б., Пасько О.В.; заявник Федеральное государственное образовательное учреждение Высшего профессионального образования Омский государственный аграрный университет (RU) № 2277787; заявл. 31.08.2004; опубл. 10.01.2007, Бюл. №4, 2007 р.
7. Лупинская С.М., Кузнецова Л.А. Разработка композиции дикорастущего сырья для повышения биологической ценности плавленых сыров. Техника и технология пищевых производств. 2015. № 2 (37). С. 22–28.
8. Гачак Ю.Р., Гутий Б.В., Наговська В.О., Сливка Н.Б., Ільницька А.С.. Розробка рецептур молочних продуктів лікувально-профілактичного призначення із кріопорошкам. НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології. 2018. 20 (85), с. 70–75. <https://doi.org/10.15421/nvlvet8513>.
9. Мамцев А.Н., Козлов В.Н., Динякова М.В. Технология производства кисломолочного напитка, обогащенного йодом. Переработка молока: технология, оборудование, продукция. 2016. № 11. С. 43–46.
10. Пасько О.В., Лисин П.А. Проектирование биопродукта, обогащенного фитойодом. Вестник Орел-ГАУ. 2017. № 1 (64). С. 115–124. <http://dx.doi.org/10.15217/48484>.
11. Охотников С.И. Обогащение йодом термокислотных сыров посредством введения в их состав ламинарии. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки», 2017. Т. 3, № 2 (10). С. 39–44.
12. Болгова Н.В., Байдак М.О., Приходько В.П. Збагачення м'якого сиру йодом за рахунок додавання ламінарії. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Київ. Том 29 (68). № 5. Ч. 3. 2018. С. 1–5.
13. Пилипенко Т.В., Коротышева Л.Б., and Малютенкова С.М.. Изучение качества и пищевой ценности рассольных сыров, обогащенных йодом. Технично-технологические проблемы сервиса. 2015. № 3 (33). С. 20–23.
14. Табаторович А.Н., Резниченко І.Ю. Технология и оценка качества пастилы, обогащенной органическим йодом. Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 40, № 1. С. 61–67.
15. ДСТУ 4834:2007 (2008). Молоко та молочні продукти. Правила приймання, відбирання та готування проб до контролювання.

### **Bolhova N.V., Galeta J.S. IODOCASEIN IN THE PRODUCTION OF PROCESSED CHEESE**

*The dairy industry occupies one of the leading places in the structure of the economy of any country. In many countries, there are programs on the production of foodstuffs of a special direction which along with nutritious ingredients also contain functional ones. One of such elements is iodine. This is one of the most important microelements for human health, which defines the normal course of many physiological processes. Iodine deficiency causes the development of mental and physical weakness, memory and growth impairment, infertility, promotes obesity, increased fatigue, adversely affect the course of pregnancy and the development of infants.*

*On the one hand foodstuffs themselves don't cure, but on the other hand, they can prevent the appearance of iodine deficiency and related diseases. For this very reason, the use of food supplement iodocasein in the production of dairy and fermented dairy products is promising. It is made on the basis of milk protein with which iodine is bound by a strong chemical bond in one of the amino acids — tyrosine. The strength of the chemical bonding makes iodocasein resistant to temperatures during long-term storage. Along with it, iodine is easily split off from protein in a body, performing its physiological function. Therefore, the use of iodocasein in the food industry should be considered as a promising direction of production of iodized products and their further use in preventive measures. Taking into account the relevance of the topic, it can be concluded that the production of processed cheese with iodocasein addition, for iodine enrichment and prevention of iodine deficiency diseases, is appropriate and of current interest.*

*The results of the researches of the developed samples of processed cheese with iodocasein allow asserting that structural-mechanical properties rise with the increase of the quantity of the food supplement. The growth of the penetration force indicates thickening of the consistency with an increase in the percentage of iodocasein*



*injected. As compared to the first sample, this indicator increased by 0,5 kN/m<sup>2</sup> in the second sample and by 1,4 kN/m<sup>2</sup> in the third one. The elasticity index, which characterizes the elasticity of the cheese mass of the second sample, was lower than that of the first and third sample by 0,7 kN/m<sup>2</sup> and 2 kN/m<sup>2</sup> respectively. We can conclude that the iodocasein supplement in the recipe leads to minor structural changes within the regulatory documentation.*

*It should be noted that according to the results of the tasting commission work the highest points for taste were received by the analogue and the second sample. The flavor assessment of all samples was practically unchanged and ranged from 4,4 to 4,6 points. The second sample received the highest score for consistency – 4,6 points. As a result of the conducted researches, it was revealed that the addition of iodocasein to the recipe of processed cheese in the amount of 2% will allow obtaining a high-quality product of functional direction.*

**Key words:** *melting cheese, iodocasein, functional, iodine-deficiency, iodine.*

*Дзюба Н.А.*

Одеська національна академія харчових технологій

## КОМПОЗИЦІЙНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПОЛІКОМПОНЕНТНИХ МУСІВ БІОПРОТЕКТОРНОЇ ДІЇ

*Цільове комбінування рецептурних інгредієнтів дає змогу отримати харчові композиції із заданим нутрієнтним складом, що забезпечить розширення асортименту продукції здорового харчування для реалізації в закладах ресторанного господарства. У статті розглянуто метод проєктування складу мусу з вираженими біопротекторними властивостями. Визначено рецептурні інгредієнти, що містять основні нутрієнти.*

*Згідно з вимогами НАССР та стандартами безпеки на харчові продукти для виробництва мусів було обрано доступну, недорогу і якісну сировину, яка володіє високими біологічними показниками: сир кисломолочний, вершки, полуниця, банан, корінь солодки, желатин, гідролізат колагену та цукор.*

*За допомогою математичного моделювання розроблено рецептури мусів на основі молочної та рослинної сировини. Як біологічно активний складник, що проявляє біопротекторні властивості, було використано гідролізат колагену. Для математичного програмування було обрано за обмеження рекомендації дієтологами дозу гідролізату колагену. Аналіз споживчої цінності розробленого продукту показав, що вміст макронутрієнтів для «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії» та «Полуничного мусу біопротекторної дії» становить 40,76 г та 29,18 г на 100 г відповідно.*

*Дегустаційна оцінка сенсорних показників розроблених мусів, вироблених на виробничих потужностях сучасного оператора ринку (ресторан «Півний сад», м. Одеса), показала високі якісні характеристики нових продуктів, що є важливим для продукції закладів ресторанного господарства. Загальна оцінка за сенсорними показниками «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії» становить 34,8 бали, а «Полуничного мусу біопротекторної дії» – 31,5 бали з 35 можливих балів.*

*Дослідження щодо визначення умов зберігання показали, що можна рекомендувати термін зберігання – 5 днів за температури  $(0\pm 2)$  °С, вологості не більше 65 % у скляній тарі без втрати сенсорних показників.*

**Ключові слова:** муси, композиція, багатокомпонентні продукти, біопротектори, гідролізат колагену.

**Постановка проблеми.** Сьогодні в Україні стрімко набуває популярності виробництво різних продуктів оздоровчого призначення. У закладах ресторанного господарства намагаються вводити такі продукти у раціон, адже у разі їх регулярного споживання можна уникнути багатьох хвороб, зміцнити імунітет і покращити стан організму загалом.

Особливу увагу слід приділити збагаченню десертів. Серед широкого асортименту десертної продукції особливим попитом у споживачів користується збита десертна продукція: муси, самбуки, суфле, збиті десерти тощо. Стрімке зростання попиту на збиту десертну продукцію визначає доцільність розроблення нових видів з удосконаленими функціонально-технологічними властивостями та підвищеною харчовою цінністю.

Аналіз продовольчого ринку України показує, що сьогодні асортимент напівфабрикатів для збитої десертної продукції обмежений та представлений лише сухими концентратами іноземного виробництва або сумішами для фризера-

ної продукції. Водночас спостерігається стрімке зростання виробництва та споживання збитої продукції на молочної та рослинній основі, для утворення та стабілізації якої використовуються як харчові добавки, так і рослинна сировина.

Тому актуальним є підвищення харчової та біологічної цінності аерованої десертної продукції, що може бути досягнуто шляхом збагачення їх білково-вуглеводними речовинами. Введення такої продукції на споживчий ринок дасть змогу суттєво підняти харчовий статус сучасного українця.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одними з основних напрямів розвитку продукції ресторанного господарства є розроблення рецептур і технологій продуктів здорового харчування, зокрема збагачених есенціальними мікронутрієнтами; моделювання рецептурних сумішей різних груп готових продуктів з урахуванням об'ємів їх споживання.

Обґрунтовано науковий підхід до розроблення нової солодкої страви на основі кисломолочного сиру з урахуванням конкурентоздатності про-

дукту на сучасному ринку та його відповідності за показниками якості до нормативних документів [1, с. 212–216]. Як структуроутворюючі компоненти використовували желатин, крохмаль і «Стабісол JTL». Одержані дані показали, що утворення збитої структури гелю пудинга відбувається за  $(1,5 \pm 0,3) \cdot 602$  с за використання суміші структуроутворювачів (1 % крохмалю і 2 % желатину або 1,5 % добавки «Стабісол JTL»). Однак складання рецептури десерту ґрунтувалось лише на отриманні високих реологічних показників без урахування зміни нутрієнтного складу.

Розроблено рецептурну композицію солодкої страви [2, с. 18–27], що складається з порошкоподібного білково-рослинного напівфабрикату, який містить молочну сироватку, цукор, гуарову камідь, а також кропиву, спориш, люцерну, конюшину. Використання білково-рослинного напівфабрикату на молочній сироватці для приготування десертної продукції не тільки скорочує тривалість технологічного процесу, але й покращує харчову цінність завдяки введенню сировини, багатой на мікронутрієнтний склад.

Розроблено рецептури мусів для оздоровчого харчування [3, с. 165–168] з введенням пюре плодів манго як функціонального компонента. Пюре плодів манго вносили до рецептури мусу в кількості від 5 до 15 % від загальної маси суміші. Моделювання рецептури проводили із урахуванням лише зміни реологічних показників із метою отримання готового продукту з високим піноутворенням і стабільною структурою.

Як молочну основу було використано молоко коров'яче та молоко соєве [4, с. 79–86]. Проведене дослідження показало доцільність використання соєвого молока в композиції шоколадного мусу, виробленого з ферментованого молока. Використання соєвого молока також позитивно відобразилось на органолептичних показниках готового мусу.

Отримані дані [5, с. 57–58] щодо визначення заміни яблук на фруктове пюре під час виробництва фруктових мусів показали, що фруктове пюре здатне утворювати стабільну систему за нейтральних значень рН. Масову частку фруктового пюре, що вводили до рецептур продуктів, регулювали лише органолептично, не враховуючи зміну в'язкості харчового продукту.

Під час проектування солодких страв заданого нутрієнтного складу використовували підходи, що базуються на методах лінійного і експериментально-статистичного програмування [6, с. 81–88]. Це дало змогу спроектувати рецептури киселю та наповнювача для йогуртів, збагачених

гідролізатом колагену, з високою харчовою цінністю та сенсорними показниками.

Отже, актуальним є створення солодких страв, збагачених есенціальними нутрієнтами. Використання рослинної та тваринної сировини під час виробництва продукції зі збитою структурою значно поліпшить органолептичні та реологічні показники десертів.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення композиції мусів із вираженими біопротекторними властивостями за допомогою математичного моделювання.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- провести скринінг сировини для виробництва мусів;
- розробити композицію мусів, що містять високий вміст вітамінів і мінеральних речовин;
- вивчити зміну сенсорних показників розроблених мусів упродовж зберігання.

Дослідження проводилися на базі сучасних наукових лабораторій Одеської національної академії харчових технологій:

- консалтингової лабораторії здорового харчування;
- проблемної науково-дослідницької лабораторії комплексної переробки рослинної сировини в харчові та кормові продукти.

Реалізація математичного моделювання композиційного складу мусів була вирішена за допомогою лінійного програмування з використанням редактора MS Excel [7, с. 1–37; 8, с. 10–17; 8, с. 192].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час розроблення композиційного складу мусів було приділено значну увагу нутрієнтному складу вихідної сировини, її зміні за технологічної обробки. В основу поставлено завдання розробити та провести оптимізацію рецептури для виробництва мусів, який шляхом введення додаткового компонента забезпечить підвищення харчової і біологічної цінності готового продукту, а також розширення асортименту.

Метою оптимізації рецептури нового продукту стало визначення оптимального їх співвідношення.

Обмеження за вмістом компонентів для розроблення нових видів мусів представлено в табл. 1.

У табл. 2, 3 представлено матриці даних для проектування рецептур мусів, що включає в себе такі блоки: рецептурні інгредієнти (PI), можливий діапазон варіювання PI, вміст сухих речовин PI та індексовані змінні. У табл. 4 наведено харчову цінність PI.

Таблиця 1

**Обмеження на рецептурний вміст  
(г на 100 г готового продукту)**

Рецептурний компонент	Вміст у композиції «Вершково-сирний мус біопротекторної дії», г		Вміст у композиції «Полуничний мус біопротекторної дії», г	
	Min	Max	Min	Max
Полуниця	-	-	45	50
Сир кисло-молочний	25	30	-	-
Желатин	0,5	1	3	4
Корінь солодки	0,5	1	-	-
Цукор	4	5	5	6
Банан	9	10	-	-
Гідролізат колагену	2	3	2	3
Вершки	45	50	36	37

Таблиця 2

**Інформаційна матриця даних для проєктування рецептури вершково-сирного мусу**

Рецептурний інгредієнт, (PI)	Індекс, $X_i$	Можливий діапазон варіювання PI, %	Вміст сухих речовин PI, %
Сир кисло-молочний	$X_1$	25...30	34,5
Желатин	$X_2$	0,5...1	88,3
Корінь солодки	$X_3$	0,5...1	93,5
Цукор	$X_4$	4...5	99,8
Банан	$X_5$	9...10	23
Гідролізат колагену	$X_6$	2...3	70
Вершки	$X_7$	45...50	38,4

Під час встановлення обмежень керувалися фізіологічними потребами людини в біологічно активних речовинах.

Таблиця 3

**Інформаційна матриця даних для проєктування рецептури полуничного мусу**

Рецептурний інгредієнт	Індекс, $X_i$	Можливий діапазон варіювання PI, %	Вміст сухих речовин PI, %
Полуниця	$X_1$	45...50	6,7
Желатин	$X_2$	3...4	88,3
Цукор	$X_3$	5...6	99,8
Гідролізат колагену	$X_4$	2...3	70
Вершки	$X_5$	36...37	38,4

Таблиця 4

**Харчова цінність рецептурних інгредієнтів мусів**

Нутрієнти	Кількість макронутрієнтів рецептурних інгредієнтів, що входять до складу PI г/100г							
	Сир кисло-молочний	Желатин	Корінь солодки	Цукор	Банан	Гідролізат колагену	Вершки	Полуниця
Білки	22,5	87,2	0	0	1,5	70	2,2	0,7
Вуглеводи	3	0,7	93,5	99,8	21	0	3,2	5,7
Жири	9	0,4	0	0	0,5	0	33	0,3
Всього	34,5	88,3	93,5	99,8	23	70	38,4	6,7

Цільова функція – максимальна харчова цінність проєктованого продукту, визначається як сума харчової цінності складових частин PI, маса яких складається з рецептури.

Максимальну харчову цінність проєктованого продукту вершково-сирного мусу біопротекторної дії визначаємо як суму харчової цінності складових частин PI, маса яких складається з рецептури:

$$F(x) = \frac{34,5 \cdot x_1 + 88,3 \cdot x_2 + 93,5 \cdot x_3 + 99,8 \cdot x_4 + 23 \cdot x_5 + 70 \cdot x_6 + 38,4 \cdot x_7}{100} \rightarrow \max$$

На підставі інформаційної матриці (табл. 2) та харчової цінності (табл. 4) формуємо систему лінійних балансових рівнянь за змістом у рецептурі білків, жирів, вуглеводів за дотримання обмежень, згідно з фізіологічною потребою людини: наявність у рецептурі білка не менше 15 %:

$$22,5 \cdot x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 1,5 \cdot x_5 + 70 \cdot x_6 + 2,2 \cdot x_7 \geq 15.$$

наявність у рецептурі вуглеводів не менше 50 %, але не більше 65 %:

$$3 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 93,5 \cdot x_3 + 99,8 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 32 \cdot x_7 \geq 50,$$

$$3 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 93,5 \cdot x_3 + 99,8 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 3,2 \cdot x_7 \leq 65$$

наявність у рецептурі жирів не більше 12 %:

$$9 \cdot x_1 + 0,4 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_5 + 35 \cdot x_7 \leq 12$$

співвідношення білків до вуглеводів не менше 0,2 % і не більше 0,3 %:

$$\frac{22,5x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 1,5 \cdot x_5 + 70 \cdot x_6 + 2,2 \cdot x_7}{3 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 93,5 \cdot x_3 + 99,8 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 3,2 \cdot x_7} \leq 0,2$$

$$\frac{22,5x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 1,5 \cdot x_5 + 70 \cdot x_6 + 2,2 \cdot x_7}{3 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 93,5 \cdot x_3 + 99,8 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 3,2 \cdot x_7} \geq 0,3$$



співвідношення білків до жирів повинно дорівнюватися 0,25 %:

$$\frac{22,5x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 1,5 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4 + 2,2 \cdot x_5}{9 \cdot x_1 + 0,4 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_3 + 35 \cdot x_4} = 0,2,$$

умови нормування (маса суміші 100 г):

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 100$$

верхні обмеження змінних (PI):

$$x_1 \geq 30; x_2 \geq 1; x_3 \geq 1; x_4 \geq 5; x_5 \geq 10; x_6 \geq 3; x_7 \geq 50;$$

нижні обмеження змінних (PI):

$$x_1 \leq 25; x_2 \leq 0,5; x_3 \leq 0,5; x_4 \leq 4; x_5 \leq 9; x_6 \leq 2; x_7 \leq 45;$$

Максимальну харчову цінність проєктованого продукту полуничного мусу біопротекторної дії визначаємо як суму харчової цінності складових частин PI, маса яких складається з рецептури:

$$F(x) = \frac{6,7 \cdot x_1 + 88,3 \cdot x_2 + 99,8 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4 + 38,4 \cdot x_5}{100} \rightarrow \max$$

На підставі інформаційної матриці (табл. 3) та харчової цінності (табл. 4) формуємо систему лінійних балансових рівнянь за змістом у рецептурі білків, жирів, вуглеводів за дотримання обмежень, згідно з фізіологічною потребою людини:

наявність у рецептурі білка не менше 15 %:

$$0,7 \cdot x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 70 \cdot x_4 + 22 \cdot x_5 \geq 15 \cdot$$

наявність у рецептурі вуглеводів не менше 50 %, але не більше 65 %:

$$5,7 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 99,8 \cdot x_3 + 3,2 \cdot x_5 \geq 50,$$

$$5,7 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 99,8 \cdot x_3 + 3,2 \cdot x_5 \leq 65.$$

наявність у рецептурі жирів не більше 12 %:

$$0,3 \cdot x_1 + 0,4 \cdot x_2 + 35 \cdot x_3 \leq 12 \cdot$$

співвідношення білків до вуглеводів не менше 0,2 % і не більше 0,30 %:

$$\frac{0,7 \cdot x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 70 \cdot x_4 + 2,2 \cdot x_5}{5,7 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 99,8 \cdot x_3 + 3,2 \cdot x_5} \geq 0,2,$$

$$\frac{0,7 \cdot x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 70 \cdot x_4 + 2,2 \cdot x_5}{5,7 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 99,8 \cdot x_3 + 3,2 \cdot x_5} \geq 0,3$$

співвідношення білків до жирів повинно дорівнюватися 0,25:

$$\frac{0,7 \cdot x_1 + 87,2 \cdot x_2 + 70 \cdot x_4 + 2,2 \cdot x_5}{0,3 \cdot x_1 + 0,4 \cdot x_2 + 35 \cdot x_3} = 0,25.$$

умови нормування (маса суміші 100 г):

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 100$$

верхні обмеження змінних (PI):

$$x_1 \geq 50; x_2 \geq 4; x_3 \geq 6; x_4 \geq 3; x_5 \geq 37;$$

нижні обмеження змінних (PI):

$$x_1 \leq 45; x_2 \leq 3; x_3 \leq 5; x_4 \leq 4; x_5 \leq 30.$$

Оптимізацію рецептур проводили в програмі Excel Solver, яка призначена для вирішення певних систем рівнянь, лінійних і нелінійних завдань оптимізації. Для того, щоб вирішити задачу лінійного програмування в табличному редакторі Microsoft Excel, необхідно виконати такі дії [9].

В результаті застосування математичного програмування виконуємо оптимальне рішення: знаходимо екстремум лінійної цільової функції за обмежень на змінні, що необхідно знайти. Рішення системи лінійних балансових рівнянь проводили за допомогою «Поиска решений» у програмі EXCEL.

В результаті розрахунку програми отримали частки рецептурних компонентів:

– для «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії»:

$$x_1=30; x_2=1; x_3=1; x_4=5; x_5=10; x_6=3; x_7=50;$$

при цьому  $F(x) = 40,758$ .

– для «Полуничного мусу біопротекторної дії»:

$$x_1=50; x_2=4; x_3=6; x_4=3; x_5=37;$$

при цьому  $F(x) = 29,178$ .

Отже, вміст основних поживних речовин для «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії» та «Полуничного мусу біопротекторної дії» становив 40,76 г та 29,18 г на 100 г.

Відповідно до отриманих результатів склали норми використання сировини для виробництва «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії» (табл. 5), «Полуничного мусу біопротекторної дії» (табл. 6). Маса порції мусу становить 200 г.

Таблиця 5

#### Рецептура «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії» на 1 порцію

Сировина	Втрати, %	«Вершково-сирний мус біопротекторної дії»	
		Брутто, г	Нетто, г
Сир кисло-молочний	1,5	65	60
Желатин	1	3	2
Корінь солодки	1	2,5	2
Цукор	1	12	10
Банан	1	27	20
Гідролізат колагену	0,5	6	6
Вершки	1	112	100
Вихід			200

Таблиця 6

**Рецептура «Полуничного мусу біопротекторної дії» на 1 порцію**

Сировина	Втрати, %	«Полуничний мус біопротекторної дії»	
		Брутто, г	Нетто, г
Полуниця	1,5	115	100
Желатин	1	9	8
Цукор	1	15	12
Гідролізат колагену	0,5	6	6
Вершки	1	77	74
Вихід			200

Аналіз макронутрієнтного складу розроблених мусів, представлений у таблиці 7, свідчить, що розроблені продукти мають високий вміст білкових речовин, що є досить важливо з погляду забезпечення потреб організму сучасної людини.

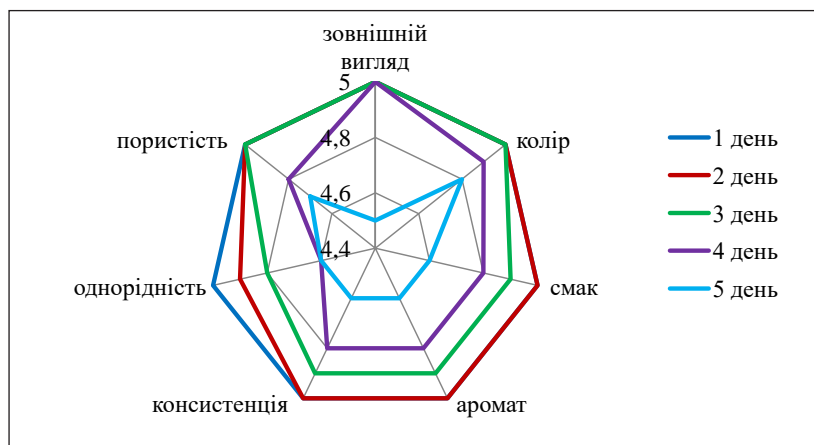
Органолептичну оцінку одразу після виготовлення мусів проводили на сучасному підприємстві

Таблиця 7

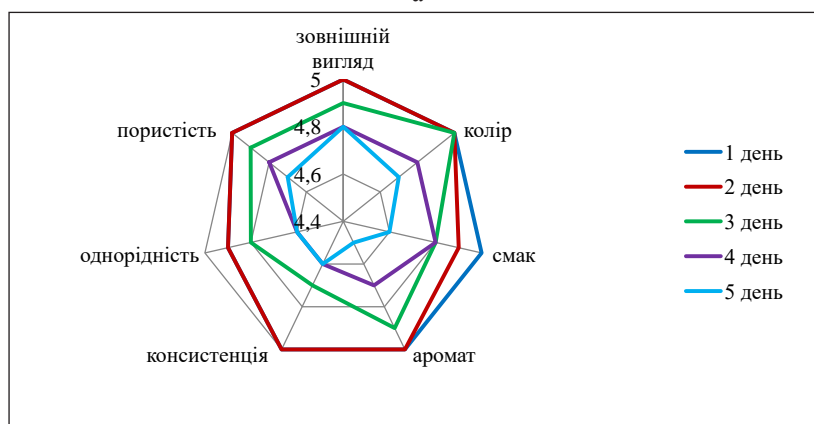
**Макронутрієнтний склад мусів (г/100 г)**

Назва макро-нутрієнта	«Вершково-сирний мус біопротекторної дії»	«Полуничний мус біопротекторної дії»
Вологість	58,7	66,9
Білок	10,9	8,1
Жир	16,7	11,7
Вуглеводи	10,6	11,0
Зола	0,6	0,4

ресторанного господарства (ресторан «Півний сад», м. Одеса) сенсорним методом за показниками, передбаченими стандартом ДСТУ 2781-98: зовнішній вигляд, консистенція, колір, запах, смак. Оцінка сенсорних показників розроблених мусів показала високі якісні характеристики нового продукту, що є важливим для продукції закладів ресторанного господарства. Загальна оцінка за сенсорними показниками «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії»



а



б

**Рис. 1. Динаміка змін сенсорних показників мусів під час зберігання: а – «Вершково-сирний мус біопротекторної дії», б – «Полуничний мус біопротекторної дії»**

становить 34,8 бали, а «Полуничний мус біопротекторної дії» – 31,5 бали з 35 можливих балів.

Динаміка зміни сенсорних показників у бало-вій системі наведено на рис. 1. Інтервали змін значень сенсорних показників призначали в діапазоні від 0 до 5 балів: 0–1 – дуже погана якість, 1–2 – погана якість; 2–3 – середня якість; 3–4 – гарна якість; 4–5 – відмінна якість.

Отже, на підставі зроблених досліджень можна рекомендувати термін зберігання – 5 днів за температури  $(0\pm 2)$  °С, вологості не більше 65 % у скляній тарі.

**Висновки.** Відповідно до сучасних вимог НАССР та стандартів безпеки на харчові продукти та сировину для виробництва мусів було обрано доступну, якісну і безпечну сировину, яка володіє високими біологічними показниками: сир кисломолочний, вершки, полуниця, банан, корінь солодки, желатин, гідролізат колагену та цукор.

Для композиційного проектування було обрано за обмеження рекомендовану дієтологами дозу гідролізату колагену. За допомогою табличного процесора MS Excel проведено моделювання композиції мусів. Завдяки введенню до рецептурної композиції гідролізату колагену готові продукти проявляють виражені біопротекторні властивості. Вивчення макронутрієнтного складу отриманих мусів показало, що готові продукти мають високий вміст білку. Вміст макронутрієнтів для «Вершково-сирного мусу біопротекторної дії» та «Полуничного мусу біопротекторної дії» становить 40,76 г та 29,18 г на 100 г.

На основі проведених досліджень щодо зміни сенсорних показників розроблених мусів упродовж зберігання встановлено, що за температури  $(0\pm 2)$  °С, вологості не більше 65 % впродовж 5 днів у скляній тарі товарна якість мусів зберігає високі показники.

#### Список літератури:

1. Вотинцев Ю.П. Изучение процесса структурообразования творожного десертного продукта (пудинга). *Вестник ОмГАУ*. 2016. № 2 (22). С. 212–216.
2. Гнищевич В.А., Федотова Н.А. Определение свойств самбуков на основе белково-растительного полуфабриката из молочной сыворотки. *Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education*. 2012. Доклад/Технические науки – Информатика, вычислительная техника и автоматизация / Донецкий национальный университет экономики и торговли, 18–27 декабря 2012 г. (дата звернення: 11.09.2019 URL: <https://www.sworld.com.ua/konfer29/1002.pdf>).
3. Турчин І.М., Гамкало Х.В., Войчишин А.В. Використання молочної сироватки при виробництві десертів. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*. 2017. Т. 19. № 80. С. 165–168.
4. Taghizade G., Jahadi M., Abbasi H. Physicochemical properties of probiotic soy milk chocolate mousse during refrigerated storage. *Applied food biotechnolog.* 2018. № 5 (2). P. 79–86.
5. Бухтоярова З.Т., Бугаец Н.А., Корнева О.А., Борисова М.А. Пищевые добавки растительного и животного происхождения при разработке рецептур сладких блюд функциональной направленности. *ВУЗов. Пищевая технология*. 2010. № 1. С. 57–58.
6. Блинникова О.М., Елисеева Л.Г. Проектирование поликомпонентных пищевых продуктов с заданными свойствами на основе ягодного сырья Центрально-Черноземного региона. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*. 2017. № 5. С. 81–88.
7. Onur Guner and al. Engineering of Milk-Based Beverages: Current Status, Developments, and Consumer Trends. *Milk-Based Beverages*. 2019. Vol. 9. P. 1–37.
8. Dzyuba N., Bilenka I., Palvashova A., Zemlyakova E. Study into collagen hydrolyzate applicability as a structure forming agent. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5. № 11 (89). P. 10–17.
9. Тележенко Л.М., Дзюба Н.А., Кашкано М.А., Валевська Л.О. Основи наукових досліджень : навч. посіб. для вищ. навч. зал. Херсон : Грінь Д.С., 2016. 192 с.

#### **Dzyuba N.A. COMPOSITIONAL DESIGN OF POLYCOMPONENT MUSES OF BIOPROTECTIVE ACTION**

*Targeted combination of prescription ingredients allows you to get food compositions with a given nutrient composition, will ensure the expansion of the range of healthy food products for sale in restaurant establishments. The article discusses the method of designing the composition of the mousse with pronounced bioprotective properties. Prescription ingredients containing essential nutrients have been identified.*

*In accordance with the requirements of HACCP and food safety standards, an affordable, inexpensive and high-quality raw material should have been selected for production, it has high biological indicators: cottage cheese, cream, strawberries, banana, licorice root, gelatin, collagen hydrolyzate and sugar.*

*Using mathematical modeling, formulations based on dairy and vegetable raw materials are developed. A collagen hydrolyzate was used as a biologically active component that exhibits bioprotective properties.*

*For mathematical programming, the recommended dose of collagen hydrolyzate was chosen by nutritionists. An analysis of the consumer value of the developed product showed that the content of macronutrients for “Creamy cheese mousse bioprotective action” and “Strawberry mousse bioprotective action” is 40.76 g and 29.18 g per 100 g, respectively.*

*A tasting evaluation of the sensory indicators of the developed mousses produced at the production facilities of a modern market operator (Pivnoy Sad restaurant, Odessa) showed high quality characteristics of new products, which is important for the products of restaurant establishments. The overall score for the sensory indicators of “Creamy Cheese Mousse with Bioprotective Action” is 34.8 points, and “Strawberry Mousse with Bioprotective Action” is 31.5 points out of 35 possible points.*

*Studies to determine storage conditions showed that it is possible to recommend a shelf life of 5 days at a temperature of  $(0 \pm 2)^\circ\text{C}$ , humidity not more than 65% in a glass container without loss of sensory indicators.*

**Key words:** *mousses, composition, multicomponent products, bioprotectors, collagen hydrolyzate.*



УДК 664.34

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/17>**Ковальова С.О.**

Національний університет харчових технологій

**Чебаненко Х.В.**

Національний університет харчових технологій

**Гуцало І.В.**

Національний університет харчових технологій

**Коробка Ю.В.**

Національний університет харчових технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У СОНЯШНИКОВІЙ ОЛІЇ ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

У статті розглянуто результати лабораторних досліджень хімічних перетворень тригліцеридів соняшникової олії під час тривалого нагрівання до температури, що перевищує точку димлення олії. Проблема неконтрольованого тимчасового або локального підвищення температури теплового середовища постає перед виробниками вуличної їжі та побутовими споживачами, які використовують соняшникову олію для смаження продуктів у фритюрі. Ця проблема зумовлена відсутністю в більшості споживачів олії відповідного обладнання для контролю температури у процесі смаження. Особливістю рослинних жирів є високий вміст у них ненасичених жирних кислот і внаслідок цього здатність до окиснення і полімеризації під час контакту з повітрям. Швидкість цих процесів значно зростає з підвищенням температури, особливо під час наближення до точки димлення. Аналіз результатів дослідження базується на кількісному і якісному порівнянні даних ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопії зразків олії до нагрівання і зразків олії, що були витримані за температури  $240\text{ }^\circ\text{C}$  протягом 2 годин. Спектри ЯМР  $^1\text{H}$  містять унікальну інформацію про наявність і співвідношення у молекулах тригліцеридів соняшникової олії залишків мононенасичених і діненасичених кислот, серед яких, відповідно, домінують олеїнова і лінолева кислоти. ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопія є ефективним і експресним методом контролю якості олії, що базується на оцінюванні структури молекул тригліцеридів. Математично оброблені спектральні дані доводять, що найбільших змін під час термічної обробки зазнають естери лінолевої кислоти. Меншою мірою відбуваються деструктивні перетворення залишків олеїнової кислоти, про що свідчить повільніше зменшення інтегральних інтенсивностей відповідних сигналів у спектрах. У процесах, що передбачають нагрівання олії, доцільним є використання купажів олії соняшника простого і гібридних високоолеїнових сортів.

**Ключові слова:** соняшникова олія, високотемпературна обробка, смаження рослинної олії, спектроскопія ЯМР  $^1\text{H}$ , термостабільність рослинних олій, олеїнова кислота, лінолева кислота, тригліцериди рослинних олій.

**Постановка проблеми.** Одним із найбільш поширених способів приготування їжі на підприємствах громадського харчування, у мережах фастфудів і вуличної їжі, а також у побуті є смаження у фритюрі. Жир, що використовується для смаження, відіграє роль теплоносія, від якого під час смаження тепло швидко і ефективно передається оброблюваному продукту. В результаті такої обробки поверхня продукту зазвичай набуває рівномірного золотисто-коричневого кольору [1, с. 10–14]. Проте олія не тільки виконує функцію теплового середовища, але й стає частиною

готового продукту, заповнюючи порожнечі, утворені внаслідок зневоднення поверхні смаженого продукту. Для більшості продуктів показник поглинання жиру становить від 10 до 45%. Наприклад, картопляні чипси містять 30–45% жиру [2, с. 1227–1232].

Особливістю рослинних жирів є високий вміст у них ненасичених жирних кислот і внаслідок цього здатність до окиснення і полімеризації під час контакту з повітрям [3, с. 7–10]. Швидкість цих процесів значно зростає з підвищенням температури. Полімеризація є причиною зменшення

здатності олії передавати тепло, збільшення її в'язкості і, як наслідок, більшого поглинання жиру смаженими продуктами [4, с. 20–24]. Окиснення є причиною потемніння жирів і виникнення неприємного запаху. Цей процес прискорюється під час контакту з металевою поверхнею обладнання або кухонного посуду [5, с. 10–14]. Найбільшу каталітичну активність виявляють мідь та її сплави. Дещо менша активність пришивдшувати окиснення жирів притаманна залізу, марганцю, хрому і нікелю [6, с. 40–48]. Отже, олію для смаження слід розглядати як відносно хімічно нестійку рідину, що піддається впливу високої температури.

Понад 90% сучасних споживачів віддають перевагу соняшниковій олії, використовуючи її, зокрема, для смаження продуктів. Потреби внутрішнього споживача на 90% забезпечують компанії «Кернелс» торговими марками «Чумак Золота», «Стожар», «Щедрий Дар» і компанія «Бунгес» торговими марками «Олейна» і «Розумниця».

Україна є наймасштабнішим виробником і експортером соняшникової олії та посідає перше місце у світовому рейтингу, забезпечуючи від 20 до 24% світового виробництва соняшнику. Унікальні природно-кліматичні умови України дають змогу вирощувати соняшник практично на всій її території. У жирнокислотному складі олії соняшника вітчизняного виробництва домінує диненасичена лінолева кислота (за винятком спеціально виведених високоолеїнових сортів, ще й дотепер не поширені на території України), що зумовлено природно-географічними умовами і генетичними факторами. Лінолева кислота порівняно з мононенасиченими кислотами виявляє більшу схильність до окиснення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження процесів окиснення олій розпочалися ще в кінці XIX століття і актуальні донині [7, с. 112–116]. Тепер відомо, що швидкість процесів окиснення жирів залежить від різних чинників, серед яких присутність вологи і ферментів, температура, контакт із металами змінної валентності, властивості проміжних продуктів, що утворюються в процесі окиснення [8, с. 2–11]. Останнім часом особлива увага приділяється дослідженням хімічних перетворень у рослинних оліях під час високотемпературної обробки [9, с. 2–5]. Тривають дослідження зі встановлення гранично допустимих величин вмісту різноманітних продуктів окиснення рослинних олій, що використовуються в харчовій промисловості [10, с. 24].

**Постановка завдання.** Спільною проблемою на харчових виробництвах усіх типів є безперервне смаження з періодичним додаванням свіжої олії для компенсації кількості рідини, поглинутої смаженими продуктами. Крім того, приготування продуктів у фритюрі в мережі вуличної їжі та в побуті зазвичай відбувається без відповідного обладнання для контролю температури теплового середовища. Це призводить до тимчасового неконтрольованого підвищення температури олії вище її точки димлення, тобто температури, за якої в олії значно пришвидшуються незворотні хімічні перетворення. Утворені при цьому речовини погіршують смакові якості готового продукту і негативно впливають на здоров'я людини. Точка димлення рафінованої соняшникової олії, популярної серед населення України, нижча від температури, до якої можуть нагріватися пательні на електричних і газових плитах.

Мета статті полягала у вивченні впливу тривалої термічної обробки за температури, близької до точки димлення, на хімічну стійкість рафінованої соняшникової олії «Чумак» – одного з найбільш популярних українських брендів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Перед початком експерименту було визначено фізико-хімічні показники і жирнокислотний склад досліджуваного зразка рафінованої олії «Чумак», встановлений методом ГРХ (табл. 1).

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники і жирнокислотний склад рафінованої соняшникової олії**

Фізико-хімічні показники рафінованої соняшникової олії	
Кислотне число, мг КОН/г	0,3
Йодне число, мг I <sub>2</sub> /г	9
Точка димлення	236
Жирнокислотний склад рафінованої соняшникової олії (%) згідно з даними газорідинної хроматографії:	
C14:0 Міристинова кислота	2,5
C16:0 Пальмітинова кислота	6
C16:1 Пальмітолеїнова кислота	0,2
C18:0 Стеаринова кислота	2,2
C18:1 Олеїнова кислота	28,3
C18:2 Лінолева кислота	59,7
C18:3 Ліноленова кислота	0,2
C20:0 Арахідонова кислота	0,3
C20:1 Гадоленова кислота	0,1
C22:0 Бегенова кислота	0,5

Термообробку рафінованої соняшникової олії проводили у сталевій ємності для приготування харчових продуктів за температури 240°C

в умовах безперервного перемішування. Моніторинг змін хімічного складу олії проводили із застосуванням методу ЯМР  $^1\text{H}$  через 30, 60, 90, 120 хвилин від початку експерименту. Досліджувану соняшникову олію піддавали нагріванню протягом 2 годин за постійного контакту з повітрям. Зразок суміші для аналізу в кількості 1 краплі розчиняли у 0,4 мл дейтерованого хлороформу ( $\text{CDCl}_3$ ). Реєстрацію спектрів ЯМР  $^1\text{H}$  проводили на спектрометрі «Varian» VXR-300. Одержані в електронному вигляді спектри обробляли у програмі ADVASP Analyzer.

**Аналіз та інтерпретація одержаних спектрів.** У спектрі ЯМР  $^1\text{H}$  вихідного зразка рафінова-

ної соняшникової олії спостерігаються сигнали, характерні для протонів гліцеринового фрагмента, а також протонів у скелетах олеїнової і лінолевої кислот (табл. 2), що узгоджується з літературними даними щодо жирнокислотного складу олії соняшника [11].

Інтегрування сигналів спектрів проводили щодо сигналів  $\text{CH}_2$  груп гліцеринового фрагмента за 4.15 і 4.30 м. д., зважаючи, що площа кожного з цих сигналів відповідає двом атомам гідрогену.

Порівняльний аналіз інтегральних інтенсивностей сигналів атомів гідрогену в одержаних спектрах доводить, що найбільших змін під час термічної обробки зазнають естери лінолевої

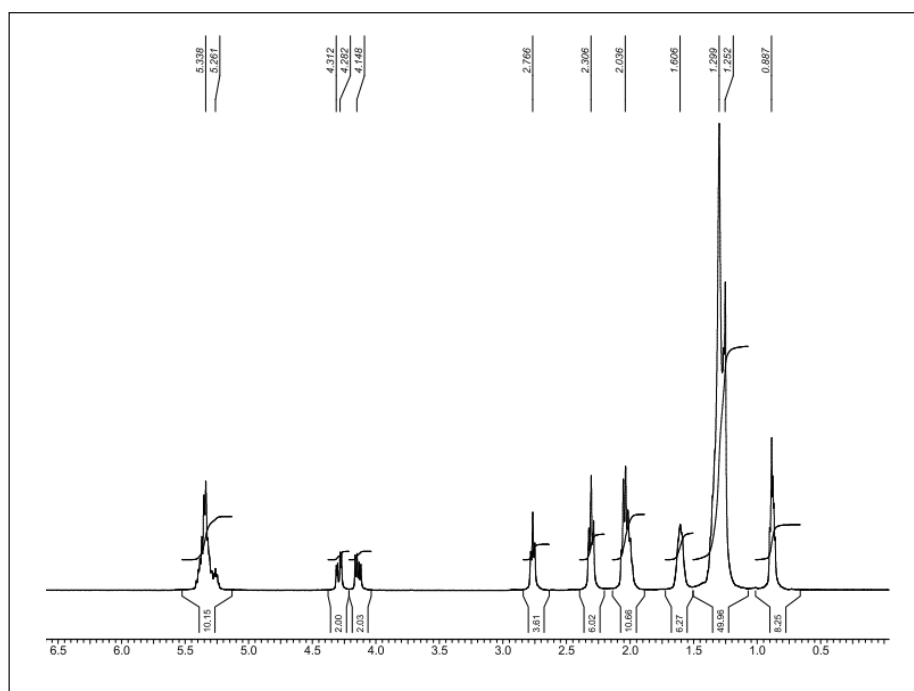


Рис. 2. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  зразка соняшникової олії до початку експерименту

Таблиця 2

**Хімічні зсуви протонів тригліцеридів соняшникової олії у ЯМР  $^1\text{H}$  спектрах**

Номер	Атомне угруповання	Хімічний зсув протонів гліцератів (м. д.)	
		Олеїнової кислоти	Лінолевої кислоти
1	$-\text{CH}_3$	0.82 – 0.96 (дд.)	0.81 – 0.94 (дд.)
2	$-\text{CH}_2-$	1.16 – 1.43 (м.)	1.16 – 1.43 (м.)
3	$-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CO}_2$	1.51 – 1.70 (м.)	1.51 – 1.70 (м.)
4	$-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}-$	1.91 – 2.11 (м.)	1.85 – 2.15 (м.)
5	$-\text{CH}_2-\text{CO}_2-$	2.21 – 3.38 (м.)	2.25 – 2.39 (м.)
6	$-\text{C}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{C}-$	-	2.69 – 2.88 (т.)
7	$-\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CO}-\text{C}$	4.08 – 4.21 (дд.)	4.08 – 4.21 (дд.)
8	$-\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CO}-\text{C}$	4.22 – 4.36 (дд.)	4.22 – 4.36 (дд.)
9	$-\text{CH}(\text{C}-\text{O}-\text{CO}-\text{C})_2$ + $\text{C}-\text{HC}=\text{CH}-\text{C}$	5.13 – 5.43 (м.)	5.13 – 5.43 (м.)

Мультиплетність сигналів: с., синглет; д., дублет; дд., дублет дублетів, т., триплет; м., мультиплет

кислоти, про що свідчить зменшення площі сигналів  $\text{CH}_2$  груп біс-алільного фрагмента карбонового скелета (при 2.77 м. д.), характерних для лінолевої кислоти від початку експерименту до 120 хвилин нагрівання (табл. 3).

Меншою мірою відбуваються перетворення за участю атомів водню вінільних і алільних угруповань, про що свідчить повільніше зменшення інтегральних інтенсивностей відповідних сигналів за 5.33 м. д. і 2.31 м. д. Під час нагрівання олія темніє і загусає, приблизно за годину над її поверхнею з'являється димлення. У спектрах зразків соняшникової олії після 90 хвилин нагрівання з'являється багато нових сигналів малої інтенсивності, що відповідають новоутвореним сполукам унаслідок руйнування нативної структури тригліцеридів.

**Висновки.** Під час термічної обробки за температури  $240^\circ\text{C}$  тригліцериди соняшникової олії зазнають руйнації. Швидкість перебігу незворотних процесів і ступінь деструкції тригліцеридів за термічної обробки з часом збільшуються, що зумовлено накопиченням проміжних продуктів, які ініціюють подальші процеси руйнування молекул олії. Найбільш чутливим фрагментом у складі тригліцеридів є біс-алільне угруповання  $-\text{CH}_2-$  поліненасичених залишків жирних кислот, представлених у соняшниковій олії естерами лінолевої кислоти. У разі тривалого нагрівання відбувається полімеризація – і олія загусає.

З метою зменшення кількості продуктів деструкції тригліцеридів у процесі термічної обробки рослинної олії слід скоротити час її нагрівання до мінімально можливого; посуд для термічної обробки щоразу

Таблиця 3

Зміни інтегральних інтенсивностей сигналів у спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  зразка соняшникової олії під час нагрівання

Тривалість експерименту	Інтенсивності сигналів протонів у відсотках від початкової величини, %		
	Біс-алільної $-\text{CH}_2-$ групи лінолевої кислоти за 2.77 м.д.	За подвійного зв'язку $-\text{CH}=\text{CH}-$ за 5.33 м. д.	Алільних $\text{CH}_2$ груп зв'язку $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ за 2.31 м. д.
0 хв	100	100	100
30 хв	92	92	95
60 хв	70	80	90
90 хв	45	52	77
120 хв	36	42	76

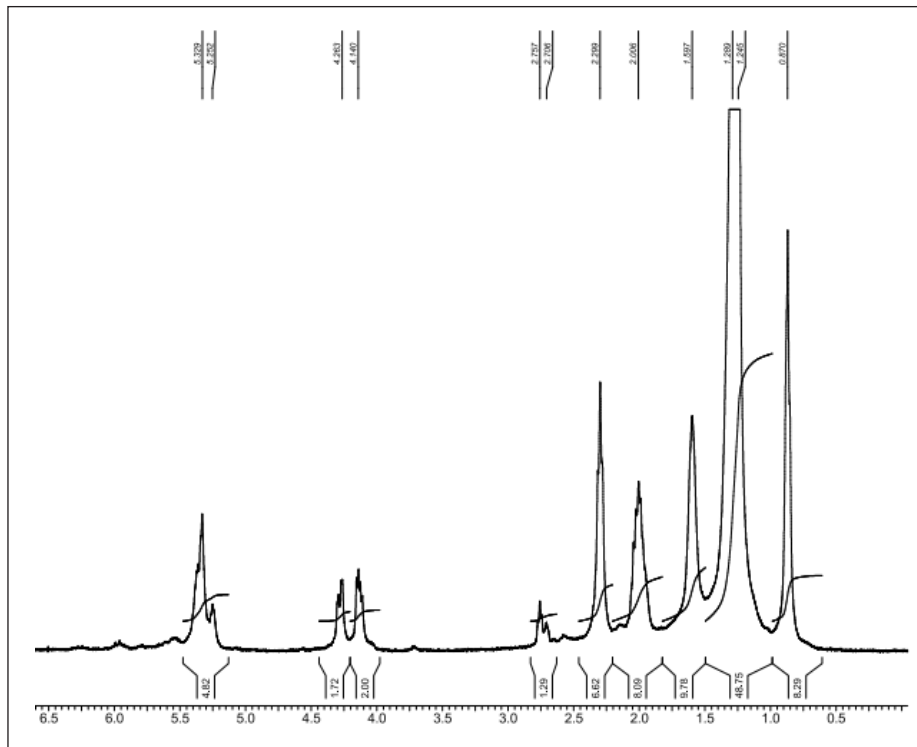


Рис. 3. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  зразка соняшникової олії через 120 хвилин нагрівання за  $240^\circ\text{C}$



ретьельно очищати від залишків жиру для запобігання накопичення продуктів полімеризації і речовин, що прискорюють руйнування тригліцеридів.

Окрім дотримання безпечних режимів смаження в олії, додатковим заходом, спрямованим на підвищення якості смажених продуктів, є використання купажів олії соняшника звичайного і високоолеїнових сортів із метою досягнення оптимального вмісту мононенасичених кислот (C18:1) [12, с. 41–42].

Високоолеїнові сорти соняшника із вмістом олеїнової кислоти до 75%, наприклад сорти «Антоніо», «Олімпія», «Смак», пропонуються для вирощування Інститутом олійних культур (м. Запоріжжя), проте не поширені на території України. Завдяки високому вмісту мононенасичених кислот олія високоолеїнових сортів є перспективною для використання в харчовій промисловості як в індивідуальному вигляді, так і у складі купажів.

#### Список літератури:

1. Григорьева В.Н., Лисицын А.Н., Алымова Т.Б., Журавлёва Л.Н., Лрохорова Л.Т., Довгалюк И.В. Прогнозирование стабильности фритюрных масел. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров*. 2007. № 1. С. 10–14.
2. Shahid F., Shukla V.K.S. Nontriacylglycerol constituents of fats, oils. *INFOR*. 1996. № 7. P. 1227–1232.
3. Лисицын А.Н., Григорьева В.Н., Алымова Т.Б., Журавлёва Л.Н. Изменение растительных масел под воздействием высоких температур. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров*. 2007. № 1. С. 7–10.
4. Кушнир М.Л. Исследование термической стабильности рафинированного подсолнечного масла. *Вопросы химии и технологии*. 2013. № 2. С. 20–24.
5. Ламоткин С.А., Ильина Г.Н. Исследование устойчивости растительных масел к окислению при разработке функциональных масложировых продуктов. *Труды БГТУ*. 2017. Серия 2. № 1. С. 10–14.
6. Dichtyar A., Fedak N., Pyvovarov Y., Stepankova G., Yarantseva Y. Research of the Effects of Technological Factors on the quality indices of high oleic sunflower oil. *Technology audit and production reserves*. 2017. № 5/3 (37). P. 40–48.
7. Kostik V., Memeti Sh., Bauer B. Fatty acid composition of edible oils and fats. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2013. Vol. 4. P. 112–116.
8. De Alzaa F., Guillaume C., Ravetti L. Evaluation of Chemical and Physical Changes in Different Commercial Oils during Heating. *Acta Scientific Nutritional Health*. 2018. Vol. 2. Issue 6. P. 2–11.
9. Лисицын А.Н., Григорьева В.Н., Алымова Т.Б., Журавлёва Л.Н. Окислительная деструкция растительных масел под воздействием высоких температур. *Масложировая промышленность*. 2007. № 4. С. 2–5.
10. Журавлева Л.Н. Изучение окисления растительных масел при высокотемпературном нагреве во фритюре и разработка способов повышения их стабильности : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. 2009. С. 24.
11. Carmen Salinero, Xesús Feás, J. Pedro Mansilla, Julio A. Seijas, M. Pilar Vázquez-Tato, Pilar Vela, María J. Sainz. <sup>1</sup>H-Nuclear Magnetic Resonance Analysis of the Triacylglyceride Composition of Cold-Pressed Oil from *Camellia japonica*. *Molecules*. 2012. № 17. P. 6716–6727. DOI: 10.3390/molecules17066716.
12. Dunford N.T. Health benefits and processing of lipid-based nutritionals. *Food Technol*. 2001. № 55. P. 41–42.

#### Kovaleva S.O., Chebanenko Kh.V., Gutsalo I.V., Korobka Yu.V. STUDY OF CHEMICAL TRANSFORMATIONS IN SUNFLOWER OIL DURING HEAT TREATMENT

*The laboratory study results of chemical transformations of triglycerides of refined deodorized sunflower oil under prolonged heating to the temperature exceeding the smoke point of oil are considered in the article. The problem of uncontrolled temporary or local increase in the temperature of the thermal environment is faced by street food producers and household consumers that use sunflower oil to fry products in the fryer. This problem is caused by the lack of most consumers' adequate equipment for temperature control during frying. One of the features of edible oils is the high content of unsaturated fatty acids and, as a consequence, the ability to be oxidized and polymerized upon contact with air. The rate of these processes increases significantly with temperature rise, especially if it is close to the smoke point. The analysis of the results of the study is based on a quantitative and qualitative comparison of <sup>1</sup>H NMR spectra of the oil samples before heating and the oil samples, which were heated at 240 °C for 2 hours. <sup>1</sup>H NMR spectra contain unique information on the presence and molar ratio of residues of mono- and di-unsaturated acids in the triglyceride molecules of sunflower oil with prevailing of oleic and linoleic acids, respectively. <sup>1</sup>H NMR spectroscopy is one of the effective and express methods to control oil quality based on estimation of structural integrity of oil triglycerides. Mathematically processed spectral data prove that linoleates are undergone the biggest chemical changes during the heat treatment of sunflower oil. The destructive transformations of oleates occur to a lesser extent that is evidenced by slower decreasing of integral intensities of the corresponding signals in the spectra. In the processes involving high temperature treatment of edible oil, it is advisable to use oil blends composed of sunflower oil of ordinary and high-oleic varieties.*

**Key words:** sunflower oil, high-temperature processing, frying of vegetable oil, <sup>1</sup>H NMR spectroscopy, thermal stability of vegetable oils, oleic acid, linoleic acid, triglycerides of vegetable oils.

**Мироненко Л.С.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Тимченко В.К.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Перевалов Л.І.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Яковлева І.М.**

ДП «Харківстандартметрологія»

**Арутюнян Т.В.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЛІЇ З НАСІННЯ САФЛОРУ, АДАПТОВАНОГО В УМОВАХ СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

*Статтю присвячено дослідженню перспективної для України малопоширеної культури сафлору, колекцію якого розроблено в Інституті олійних культур НААН. У статті наведено системне дослідження джерел інформації щодо узагальнення наукових даних, які характеризують сафлорову олію як джерело незамінної лінолевої кислоти, вітамінів, фітостеринів. Показано, що опубліковані результати попередніх досліджень часто мають розрізнений та суперечливий характер, а для вітчизняних сортів сафлору і олії з неї досліді практично не проводились.*

*У статті досліджуються структурні показники сафлорової олії з насіння сорту Лагідний, адаптований до умов Східного Лісостепу. Вперше із застосуванням сучасних хроматографічних методів визначено склад жирних кислот, ацилгліцеринів, стеринової фракції неомилених речовин, вміст вітамінів А та Е. Показано, що основними жирними кислотами олії із сафлору сорту Лагідний є есенціальна лінолева кислота (74,4%), олеїнова (15,1 %) та пальмітинова (7,2%). Усього ідентифіковано дев'ять жирних кислот. Ацилгліцириновий склад досліджуваної кислоти сафлорової олії представлено шістьма групами ацилгліцеринів, ідентифікованих за вмістом вуглецевих атомів: С 48 – 1,7%, С 50 – 20,2%, С 52 – 72,7%, С 54 – 4,1%, С 56 – 0,9%, С 58 – 0,4%. Проаналізовано стериніву фракцію неомилених речовин сафлорової олії. Показано, що фітостерини олії сафлору представлені такими ізомерами: 39,0%  $\beta$ -ситостерину, 12,9% стигмастерину, 6,4% кампестерину та 3,5 % брасикастерину. Вітаміни сафлорової олії – це вітамін А (2,3 м.о. в 1 г) та вітамін Е (32,2 мг, %).*

**Ключові слова:** олія сафлорова, вітчизняні сорти, жирнокислотний склад, ацилгліцириновий склад, склад стеринової фракції, вітаміни.

**Постановка проблеми.** Основу вітчизняної колекції сафлору складають сорти Сонячний, Живчик, Лагідний, Добриня, які виведено в Інституті олійних культур НААН України (м. Запоріжжя) [1].

Попередніми дослідженнями [2, с. 64] було виявлено, що насіння сорту Лагідний в умовах вирощування Східного Лісостепу має найбільшу енергію проростання ( $\approx 68,0\%$ ) і схожість ( $\approx 77,0\%$ ) серед рекомендованих сортів, що є достатнім для практичних цілей. Технологічні властивості сафлору, зокрема висока олійність ( $\approx 37\%$ ) та значний вміст есенціальної лінолевої кислоти у сафлор-

ровій олії (72,9%), підтвердили перспективність сафлору як олійної культури для Східного Лісостепу. Широкий світовий досвід використання сафлорової олії у харчових, косметичних, лікувально-профілактичних та кормових продуктах прискорює зростання комерційного інтересу до сафлору в Україні і зумовлює напрям відповідних наукових досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільший інтерес з погляду цінності рослинної олії становить склад її жирних кислот та ацилгліцеринів. Практично всі дослідники сафлорової олії визначали її жирнокислотний склад

і відзначали його особливість – найвищий серед рослинних олій вміст лінолевої кислоти. У табл. 1 представлені дані щодо жирнокислотного складу сафлорової олії, одержаної дослідниками в районах вирощування сафлору [3, с. 205; 4, с. 1137; 5, с. 56; 6, с. 127; 7, с. 55; 8, с. 135].

Згідно з інформацією, що міститься у табл. 1, основними кислотами, ідентифікованими у складі сафлорової олії різних регіонів, є олеїнова (10,5–14,6%) та лінолева (69,3–78,5%) кислоти.

Слід зазначити, що за даними, викладеними у джерелі [9, с. 11], сафлорова олія містить до 0,7 мг/г кон'югованої лінолевої кислоти (КЛК). Це найбільше значення серед рослинних олій.

Зазначимо й інші структурні характеристики сафлорової олії. У складі неомиленої фракції сафлорової олії знайдено такі токофероли [6, с. 153]: 220–260 мг, %  $\alpha$ -токоферолу; 10–20 мг, %  $\beta$ -токоферолу; 0–15 мг, %  $\gamma$ -токоферолу. Кількість стеролів у фракції складає 64,5–73,5%, сквалену – 0,004–0,007%.

За даними, що містяться у джерелі [10, р. 1135], вміст токоферолів у сафлоровій олії не перевищує 40 мг, %, що є дуже низьким. Є навіть відомості, що на відміну від інших рослинних олій замість вітаміну Е в ній міститься переважно  $\gamma$ -токотрієнол у кількості 0,8 мг, %.

Інші автори [11, р. 2278] стверджують, що у складі сафлорової олії є також вітамін К, похідні серотоніну, інулін. Є також відомості [10, р.1133] про наявність у ній 12,6 мг/л  $\beta$ -каротину.

Що стосується ацилгліцеринового складу олії з насіння сафлору, то ці дані знайдені тільки у давніх дослідженнях [6, с. 136; 12, р. 532] (дані наведені в табл. 2).

Слід зазначити, що ацилгліцериновий склад сафлорової олії сучасних сортів практично не досліджувався.

**Постановка завдання.** Метою наших досліджень є вивчення особливостей жирнокислотного, ацилгліцеринового і стеринного складу олії, одержаної з насіння сафлору сорту Лагідний, адаптованого до кліматичних умов Східного Лісостепу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити склад жирних кислот олії з насіння сафлору сорту Лагідний;
- визначити ацилгліцериновий склад олії з насіння сафлору сорту Лагідний;
- визначити склад стеринової фракції олії з насіння сафлору сорту Лагідний;
- визначити склад вітамінів олії з насіння сафлору сорту Лагідний.

Таблиця 1

## Жирнокислотний склад сафлорової олії різних регіонів

Найменування жирної кислоти	Масова частка жирної кислоти, %				
	Сорти Казахстану	Сорти Поволжя	Сорти Лісостепу	Відомі закордонні сорти	Відомі сорти країн СНД
Міристинова С 14:0	0,2	0,2	0,1	0,8	0,1
Пальмітинова С 16:0	6,8	6,3	7,7	10,7	6,8
Пальмітоолеїнова С 16:1	-	0,1	0,3	0,6	0,1
Стеаринова С 18:0	2,8	2,8	2,5	7,0	2,3
Олеїнова С 18:1	13,6	10,5	14,6	10,8	12,0
Лінолева С 18:2	76,0	78,5	73,8	69,3	77,7
Ліноленова С 18:3	0,2	0,7	0,4	0,2	0,4
Арахінова С 20:0	0,4	0,1	-	0,6	0,3
Гадолеїнова С 20:1	-	0,4	-	сліди	0,1
Бегенова С 22:0	-	0,4	0,4	-	0,2
Лігноцерінова С 24:0	-	-	0,2	-	-
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблиця 2

## Ацилгліцериновий склад сафлорової олії

Джерело інформації	Масова частка ацилгліцеринів, %			
	тринасичених GS <sub>3</sub>	динасичених-мононасичених GS <sub>2</sub> U	мононасичених-диненасичених GSU <sub>2</sub>	триненасичених GU <sub>3</sub>
[6, с. 136]	0	0	18,0	82,0
[12, р.532]	0	2,0	26,0	72,0

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Жирнокислотний склад олії з насіння сафлору сорту Лагідний визначали методом газової хроматографії згідно з ДСТУ 5508 [13, с. 1–10] і ДСТУ 5509 [14, с. 1–8] у лабораторії хроматографічних досліджень ДП «Харківстандартметрологія». На рис. 1 зображена хроматограма жирнокислотного складу досліджених зразків сафлорової олії, у табл. 3 – кількісні результати цих випробувань.

Таблиця 3  
**Жирнокислотний склад олії сафлору з насіння сорту Лагідний**

Найменування жирної кислоти	Масова частка жирної кислоти, %	Збіжність
Міристинова С 14:0	0,2	0,2% абс.
Пальмітинова С 16:0	7,2	3,0% відн.
Стеаринова С 18:0	2,2	0,2% абс.
Олеїнова С 18:1	15,1	3,0% відн.
Лінолева С 18:2	74,4	3,0% відн.
Ліноленова С 18:3	0,1	0,2% абс.
Арахінова С 20:0	0,3	0,2% абс.
Гадолейнова С 20:1	0,2	0,2% абс.
Бегенова С 22:0	0,3	0,2% абс.
Всього	100,0	

Представлені в табл. 3 дані свідчать про те, що в олії сафлору сорту Лагідний ідентифіковано дев'ять жирних кислот. Основною жирною кисло-

тою є кислота лінолева, масова частка якої сягає величини 74,4%. Виявлено також значну кількість олеїнової кислоти (15,1%) та пальмітинової кислоти (7,2%). Масова частка інших кислот не перевищує 1%.

Ацилгліцериновий склад досліджуваного зразка сафлорової олії визначали відповідно до міжнародного стандарту 28298 [15, с.1–9] газохроматографічним методом, який дозволяє ідентифікувати ацилгліцерини за числом вуглецевих атомів. Результати експериментальних досліджень представлено у табл. 4 та на рис. 2.

Таблиця 4  
**Ацилгліцериновий склад олії сафлору з насіння сорту Лагідний**

Число вуглецевих атомів у ацилгліцерині	Масова частка ацилгліцерину, %	Збіжність
С 48	1,7	14,0% відн.
С 50	20,2	8,0% відн.
С 52	72,7	8,0% відн.
С 54	4,1	14,0% відн.
С 56	0,9	14,0% відн.
С 58	0,4	14,0% відн.

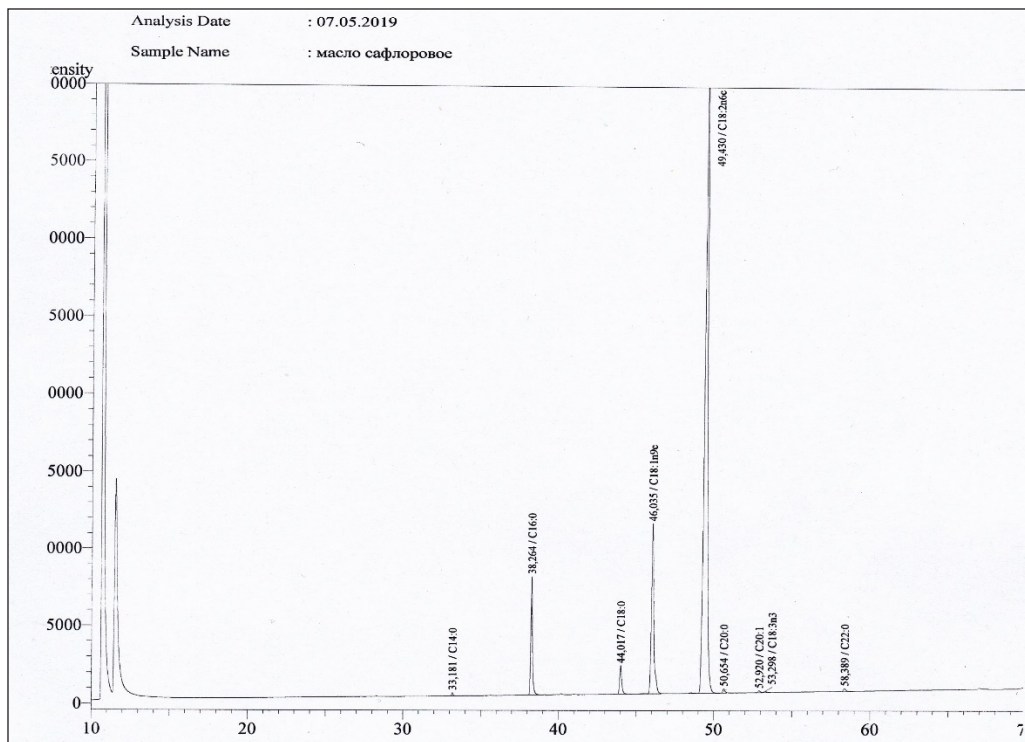


Рис. 1. Хроматограма жирнокислотного складу досліджених зразків сафлорової олії



Останнім часом дослідники все частіше використовують для ідентифікації рослинних олій метод визначення складу стеринової фракції неомилених речовин.

Газохроматографічне дослідження стеринової фракції неомилених речовин сафлорової олії, представлене на рис. 3, згідно з ДСТУ ISO 6799 [16, с. 1–6] виявило, що у складі фітостеролів є такі речовини: 39,0%  $\beta$ -ситостерину, 12,9% стиг-

мастерину, 6,4% компастерину та 3,5% брасикастерину.

Згідно з нашими даними вітамінний склад досліджуваного зразка такий: вітамін А – 2,3 м.о. в 1 г, вітамін Е – 32,2 мг, %. Ці дані отримані відповідно до міждержавного стандарту ГОСТ 30417 [17, с. 1–12].

**Висновки.** Із застосуванням сучасних газохроматографічних методів одержано нові наукові

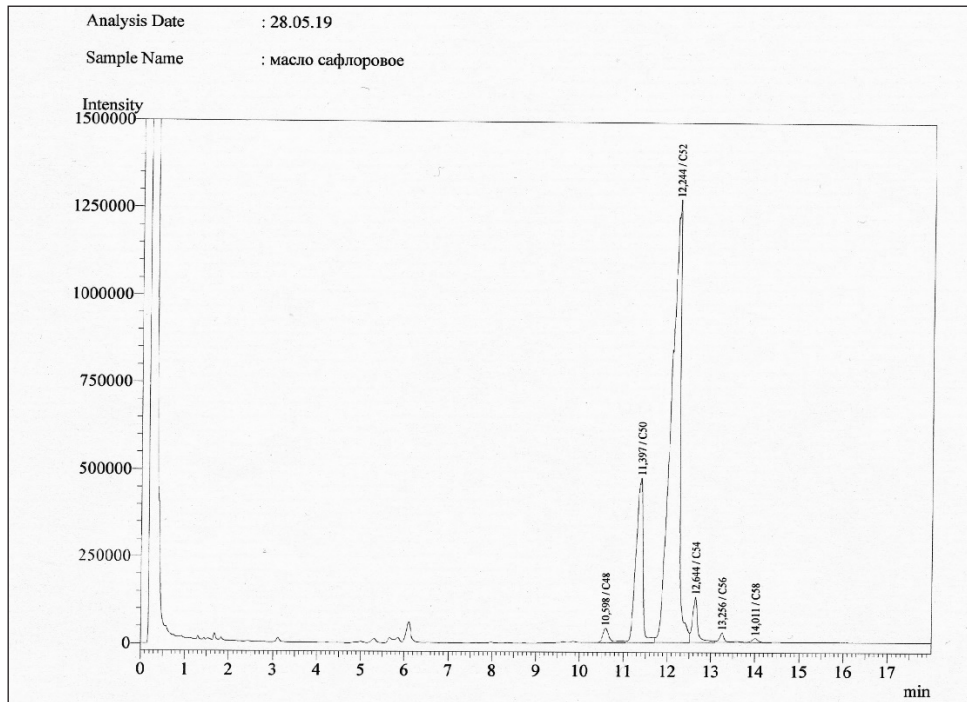


Рис. 2. Хроматограма ацилгліцеринового складу досліджуваного зразка сафлорової олії

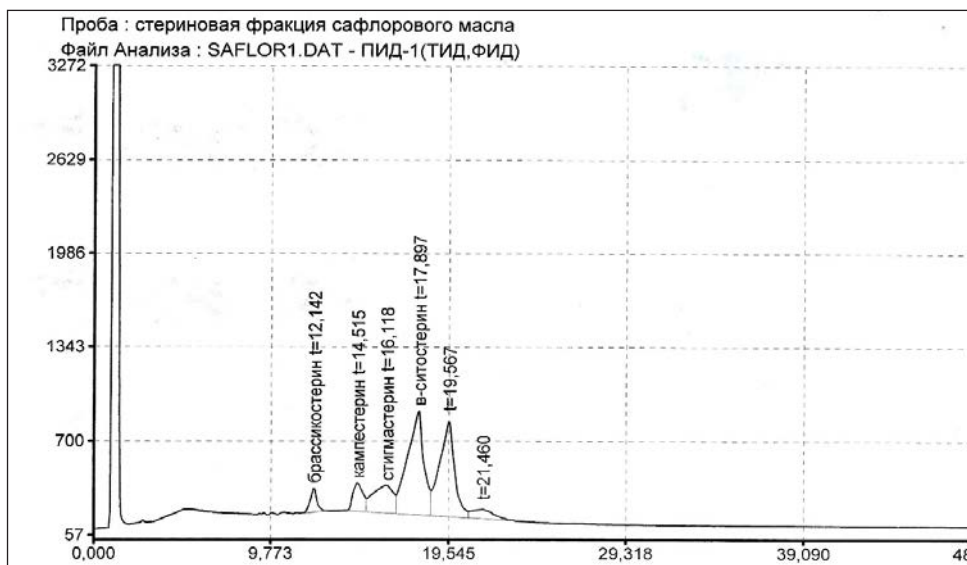


Рис. 3. Хроматограма дослідження стеринової фракції неомилених речовин сафлорової олії

дані щодо структурних показників сафлорової олії вітчизняного сорту Лагідний, а саме: стерінової фракції, вітамінів А та Е. Ці дані мають ознаку наукової новизни, тому що дослідження були виконані вперше в Україні.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначання показників безпеки (вміст токсичних елементів, пестицидів, мікотоксинів, бенз(а)пірену) сафлорової олії та її окиснювальної стабільності.

#### Список літератури:

1. Рижій, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури) / І.А. Шевченко та ін. ; Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя : Статус, 2017. 40 с.
2. Мироненко Л.С., Криштоп Є.А., Григорова Л.І., Тимченко В.К. Дослідження та аналіз технологічних властивостей насіння сафлору вітчизняних сортів. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2019. № 15. С. 61–65.
3. Алтайұлы С., Шагиrowa A., Муратхан М., Байгазов Н. Разработка инновационной технологии производства сафлорового масла. *Вестник Казахского агротехнического университета*. Астана : КАУ. 2018. С. 203–209.
4. Зубков В.В. Перспективы использования масла семян сафлора красильного в пищевой и фармацевтической промышленности. *Известия Самарского НЦ РАН*. 2014. Т.16. № 5 (3). С. 1135–1139.
5. Агротехника и химизация масличных культур : сборник научных трудов ВНИИ масличных культур. Краснодар, 1983. 112 с.
6. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под общ. ред. В.П. Ржежина, А.Г. Сергеева. Ленинград : ВНИИЖ, 1967. Т. 5. 501 с.
7. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / пер. с англ. Широковой В.Д., Бабейкиной Д.А., Селивановой Н.С. Санкт-Петербург : Профессия, 2007. 752 с.
8. Пузік В.К., Криштоп Є.А., Волощенко В.В. Вивчення жирнокислотного складу олії з насіння сафлору, культивованого в умовах Східного Лісостепу, та перспективи його використання. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Харків : ХНАУ, 2015. № 2. С. 133–141.
9. Ведмедева К.В. та ін. Характеристика колекції сафлору (*Carthamus Tinctorius L.*). Інститут олійних культур УААН. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур*. Запоріжжя, 2008. Вип.13. С. 10–16.
10. Patterson H.B.W. Handling and Storage of Oilseeds, Oils, Fats and Meal. *Elsevier Science*. Essex, 1989. P. 1135.
11. Velasco L., Fernandez-Martinez J.M. Registration of CR-34 and CR-81 Safflower Cermplasms with Increased Tocopherol. *Crop. Science*. 2004. Vol. 44. P. 2278.
12. Hilditch T.P. The Chemical Constitution of Natural Fats. London, 1964. 745 p.
13. ДСТУ ISO5508. Жири тваринні і рослинні та олії. Аналізування методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот. [Чинний від 2003-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 10 с.
14. ДСТУ 5509. Жири та олії тваринні і рослинні. Приготування метилових ефірів жирних кислот. [Чинний від 2003-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 8 с.
15. ГОСТ 28298. Заменители масла какао. Метод определения состава триглицеридов. [Введен 91-07-01]. Перевидання 02.2005. 9 с.
16. ДСТУ ISO 6799. Жири та олії. Тваринні і рослинні. Визначання складу стерінової фракції. Газохроматографічний метод. [Чинний від 2003-04-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 6 с.
17. ГОСТ 30417. Масла растительные. Методы определения массовых долей витаминов А и Е. [Чинний від 1999-01-01]. Москва, 1996. 12 с.

#### **Myronenko L.S., Tymchenko V.K., Perevalov L.I., Yakovleva I.M., Arutiunian T.V. ANALYSIS OF SAFFLOWER SEED OIL STRUCTURAL INDICES, ADAPTED IN CONDITIONS OF THE EASTERN FOREST-STEPPE**

*Article is devoted to the study of safflower – rare culture, perspective for Ukraine. Safflower collection was developed at the Oil-bearing Crops Institute of NAAS. This article presents a systemic study of information sources concerning general conclusion of scientific data that characterize safflower oil as a source of essential linoleic acid, vitamins, phytosterols. It is shown that published findings of previously investigations are often disparate and contradictory, while for domestic varieties of safflower and safflower oil studies were practically not conducted.*

*This paper presents safflower oil structural indices of safflower variety Lagidnyi, adapted to conditions of Eastern Forest-Steppe. For the first time, by the use of modern chromatographic methods, composition of fatty acids, acylglycerols, sterol fraction of unsaponifiable substances, content of vitamins A and E were*

determined. It have been shown that essential linoleic (74,4%), oleic (15,1%) and palmitic (7,2%) acids are main fatty acids of safflower oil variety Lagidnyi. In total, nine fatty acids were identified. The acylglycerin composition of observable acids in safflower oil is represented by six groups of acylglycerols identified by their carbon atoms content: C 48 – 1,7%, C 50 – 20,2%, C 52 – 72,7%, C 54 – 4,1%, C 56 – 0,9%, C 58 – 0,4%. Sterol fraction of unsaponifiable substances of safflower oil was analyzed. It have been shown that safflower oil phytosterols are represented by following isomers: 39,0%  $\beta$ -sitosterol, 12,9 % stigmasterin, 6,4 % campesterin, and 3.5 % brasicasterin. Safflower oil enclose such vitamins as Vitamin A (2,3 ppm in 1 g) and Vitamin E (32,2 mg, %).

**Key words:** safflower oil, domestic varieties, fatty-acid composition of oil, acylglycerin composition, composition of sterol fraction, vitamins.

**Савчук Ю.Ю.**

Національний університет харчових технологій

**Янчик М.В.**

Національний університет харчових технологій

**Усатюк С.І.**

Національний університет харчових технологій

## РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СМУЗИ НА ОСНОВІ НАПОЮ З ЯДЕР ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА З ДОДАВАННЯМ ШПИНАТУ ТА СПІРУЛІНИ

*Напої – це одна з основних груп харчових продуктів, яка здатна вирішити проблему мікронутрієнтного дефіциту в добовому раціоні людини. Слід зауважити, що природна рослинна сировина, яка може бути використана у технології напоїв, є цінним і практично незамінним джерелом безпечних біологічно активних речовин, адаптованих до фізіологічних функцій організму людини.*

*Актуальним напрямом у харчовій промисловості є розроблення білковмісних напоїв з рослинної сировини. Продукти з вмістом білків рослинного походження корисні для здоров'я і низькокалорійні. Сегмент споживачів білкових продуктів рослинного походження включає всі соціальні групи населення. Такі продукти дозволені для дієтичного харчування, для харчування людей, інтолерантних до лактози, та під час посту.*

*Для створення смузі з рослинних інгредієнтів, що мають високий вміст білка, проведено огляд джерел літератури та проаналізовано сучасні технології напоїв з білковмісної сировини рослинного походження. У даній статті обґрунтовано вибір сировини рослинного походження для приготування смузі на основі напою з ядер волоського горіха. Такою сировиною визнані шпинат та спіруліна.*

*Досліджено органолептичні показники зразків смузі за різних співвідношень інгредієнтів з урахуванням коефіцієнтів вагомості. Наведено порівняльну характеристику хімічного складу обраних зразків, що наочно демонструє всі переваги та недоліки різних співвідношень інгредієнтів. За результатами досліджень розроблено рецептуру та технологію виробництва смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни, що представлена у вигляді принципової технологічної схеми із зазначенням всіх параметрів.*

**Ключові слова:** *напій, волоський горіх, смузі, шпинат, спіруліна, хімічний склад, органолептичні показники, технологія, рослинний напій.*

**Постановка проблеми.** Створення нового покоління харчових продуктів і введення їх до раціону споживачів є істотною видозміною структури харчування, що традиційно склалась для кожного покоління нації. Тобто, з одного боку, необхідність виробництва інноваційних харчових продуктів є реальною потребою сучасності, а з іншого, – це потребує подолання певних стереотипів у харчовій галузі, більш високого рівня культури харчування і адаптації організму людини до нових харчових продуктів та інгредієнтів [1].

У щоденному раціоні людини повинні переважати продукти рослинного походження. Правильний раціон повинен містити помірну кількість жирів (не більше 25–30% енергетичної цінності), білків (1 г/кг тіла людини) та вуглеводів (пере-

важно складні вуглеводи). У раціоні має бути достатня кількість різних свіжих овочів та фруктів. Це забезпечить лужну орієнтацію харчування населення [2].

Дослідження структури харчування [3; 4; 5] показали суттєве зниження споживання білка, а потреба організму в енергії задовольняється через збільшення споживання вуглеводів і жирів. Тому важливим є збільшення кількості продуктів харчування з високою біологічною цінністю, рецептури яких ґрунтувалися б на положеннях теорії збалансованого харчування, а також враховували б економічні можливості споживача [6].

Особливу увагу варто приділяти вмісту білка у раціоні прихильників альтернативних видів харчування. Компенсації тваринних білків у раціоні



харчування потребують верстви населення, які за особистими переконаннями не вживають продукти тваринного походження, зокрема вегетаріанці та вегани.

Не менш вагомою передумовою для розширення асортименту білковмісних напоїв рослинного походження є непереносимість чи алергія на компоненти традиційних для України білковмісних напоїв тваринного походження, зокрема молочних напоїв.

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

Розробленням білковмісних напоїв із рослинної сировини та комплексним оцінюванням їх якості займаються спеціалісти харчової галузі всього світу. Наприклад, Аліна Флорентина Дан (Університет Лучіана Блага в Сібіу, Румунія) досліджувала способи отримання та збагачення мигдального молока. Вона розробила низку рецептур із додаванням до мигдального молока біологічно активних речовин. Це дало змогу розширити асортимент білкових продуктів рослинного походження. Ілана Фельберг (Інститут аграрної та харчової промисловості в Ріо-де-Жанейро, Бразилія) розробила та дослідила напій на основі соєвого молока з додаванням молока бразильського горіха. Для напою характерні комбіновані органолептичні властивості обох видів сировини та збалансований хімічний склад продукту. Сузу Джіанг (Університет Гонконгу) досліджував виробництво напоїв із пророщених бобів сої та встановлював вплив 384 біохімічних реакцій, які відбуваються під час пророщування, на фізико-хімічні властивості кінцевого продукту [7].

Базуючись на аналітичному огляді вітчизняних та закордонних публікацій, встановлено, що для виготовлення рослинних білковмісних напоїв доцільно орієнтуватися на сировину, поширену в різних регіонах. Серед традиційних рослинних білковмісних продуктів в Україні значне місце посідає волоський горіх. Висока харчова цінність волоського горіха дозволяє використовувати його як основну сировину для виготовлення харчових продуктів з високим вмістом біологічно активних речовин. Волоський горіх можна використовувати як нетрадиційне джерело білка рослинного походження, який може компенсувати тваринний білок у раціоні багатьох верств населення.

**Постановка завдання.** Метою статті є наукове обґрунтування та розроблення рецептури й технології смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни. Для досягнення поставленої мети були виконані такі завдання: проведено огляд джерел літера-

тури та проаналізовано сучасні технології напоїв з білковмісної сировини рослинного походження; обґрунтовано вибір сировини рослинного походження для приготування смузі на основі напою з ядер волоського горіха; досліджено органолептичні показники модельних зразків смузі за різних співвідношень інгредієнтів з урахуванням коефіцієнтів вагомості; розроблено рецептуру та технологію виробництва смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Смузі – це густий напій, коктейль, мус, приготований шляхом збивання у блендері до стану пюре натуральних інгредієнтів – свіжих або свіжозаморожених фруктів, овочів, ягід, молока, йогурту, кефіру, морозива, вершків. Він добре засвоюється організмом, що дозволяє віднести його до легких та дієтичних страв [8]. Наприклад, смузі з овочів і зелені прекрасно підходить для здорового сніданку, а завдяки харчовим волокнам людині не хочеться їсти досить довго. Також можна випити на сніданок повний протеїнів і калорійний напій (смузі) замість прийому твердої їжі. Через зручності та економію часу це є перспективним напрямом у сучасному ресторанному бізнесі.

Для створення смузі на основі напою з ядер волоського горіха були обрані інгредієнти з метою збалансування харчової цінності напою. Досліджувались лише інгредієнти рослинного походження, особливу увагу приділяли вмісту в них білка. Також враховувались органолептичні властивості кожного досліджуваного інгредієнта та їх сумісність з органолептичними властивостями напою з ядер волоського горіха та інших інгредієнтів.

Сьогодні визнаними джерелами білка, вуглеводів, вітамінів і мікроелементів є фотосинтезуючі одноклітинні організми – водорості. Найбільший інтерес становить мікроскопічна водорість *Spirulina platensis*, мукопротеїнова оболонка якої легко перетравлюється. Біомаса спіруліни є також цінним джерелом *b*-каротину (1700 мг/кг), вітамінів групи В (В1, В2, В3, В5, В6, особливо В12) і вітаміну Е, що дозволяє розглядати її як ефективний засіб боротьби з авітамінозом.

Наступним інгредієнтом було обрано шпинат, оскільки згідно з даними USDA Nutrient Database в 100 г свіжого шпинату міститься таких речовин: води – 91.4 г; білків – 2.86 г; жирів – 0.39 г; вуглеводів – 1.43 г; харчових волокон (клітковини) – 2.2 г; золи – 1.72 г. Ця сировина містить багато мінералів, серед яких фосфор, кальцій, залізо, магній,

мідь, калій, марганець, цинк, а також вона багата на такі вітаміни: провітамін А (β-каротин), С, В1, В2, В3, В6, D, Е, К, Р, РР, та солі заліза, йод.

З огляду на важливість для споживачів смакових властивостей продукції даної категорії першочергово досліджувались органолептичні показники 15-ти різних співвідношень інгредієнтів смузі, такі як зовнішній вигляд, консистенція, смак, запах та колір. Показники оцінювали за п'ятибальною шкалою з урахуванням коефіцієнту вагомості.

Результати органолептичного дослідження смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни представлено в табл. 1.

Серед досліджуваних зразків смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни було обрано три таких зразки з найвищими оцінками органолептичних властивостей: співвідношення (напій з ядер волоського горіха: шпинат: спіруліна) 94:5:1 (зразок 2), 95:4:1 (зразок 4), 93:5:2(зразок 7).

Оскільки всі зразки смузі з додаванням шпинату та спіруліни збагачені вітамінами та мінералами, наступним етапом дослідження було визначення та порівняння хімічного складу найкращих зразків, що були обрані за органолептичними дослідженнями. Результати порівняльної характе-

ристики хімічного складу зразків представлено у таблиці 2.

Порівняно з напоєм в усіх зразках смузі з додаванням шпинату та спіруліни спостерігається зниження вмісту жирової фракції та підвищення вмісту білка, що зумовлено використанням білковмісної рослинної сировини з низьким вмістом жирів.

Серед трьох досліджуваних зразків найкращим за хімічним складом є Зразок 7. Він характеризується вищим вмістом білка, золи, харчових волокон, вітамінів групи В, кальцію, заліза, магнію та має нижчий вміст жирів порівняно з напоєм та зразками 4 і 2.

Серед досліджуваних співвідношень інгредієнтів зразків смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни за органолептичними показниками було обрано три зразки (2, 4 та 7). Подальші дослідження хімічного складу дозволили обрати серед них зразок 7, який характеризується найкращим хімічним, вітаміним та мінеральним складом.

З урахуванням проведених досліджень розроблено рецептуру смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни, що представлена у табл. 3. Рецептуру смузі розробили на 10 кг готового продукту з урахуванням втрат при виготовленні, які складають 39, 45 г/10кг.

Таблиця 1

**Органолептична оцінка зразків смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни за різних співвідношень інгредієнтів**

	Співвідношення Напій : шпинат : спіруліна	Комплексна оцінка				
		Колір	Запах	Смак	Консистенція	Зовнішній вигляд
Зразок 1	94:4:2	4.65	4.3	4.8	3.8	3.8
Зразок 2	94:5:1	4.9	4.91	4.93	4.95	4.9
Зразок 3	95:3:2	4.75	4.65	3.86	4.8	4.7
Зразок 4	95:4:1	4.92	4.9	4.95	4.9	4.85
Зразок 5	94:3:3	4.85	4.6	4.85	4.75	4.65
Зразок 6	94:2:3	4.5	4.21	4.5	4.6	4.55
Зразок 7	93:5:2	4.9	4.85	4.9	4.95	4.87
Зразок 8	93:4:3	4.6	4.6	4.65	3.95	4.1
Зразок 9	92:5:3	4.65	3.8	4.8	3.8	3.8
Зразок 10	92:6:2	4.7	3.79	3.95	4.4	4.25
Зразок 11	92:7:1	4.65	4.85	4.5	4.25	4.6
Зразок 12	96:3:1	4.6	4.3	4.4	4.6	4.5
Зразок 13	96:2:2	4.75	4.5	3.88	4.65	4.7
Зразок 14	95:3:2	4.8	3.9	4.6	4.8	4.75
Зразок 15	95:2:3	4.75	4.75	4.4	4.74	4.7

Принципова технологічна схема виробництва смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни представлена на рис. 1.

Для виробництва напою використовують очищені ядра волоського горіха, які замочують очищеною питною водою у співвідношенні води до

сировини 1:1. Для замочування використовують воду температурою 20°C, процес замочування триває 5 год. В результаті замочування ядра горіхів розмокають.

Наступним етапом є відділення сировини від води. Воду після замочування утилізують або відправляють на очищення з повторним її викорис-

Таблиця 2

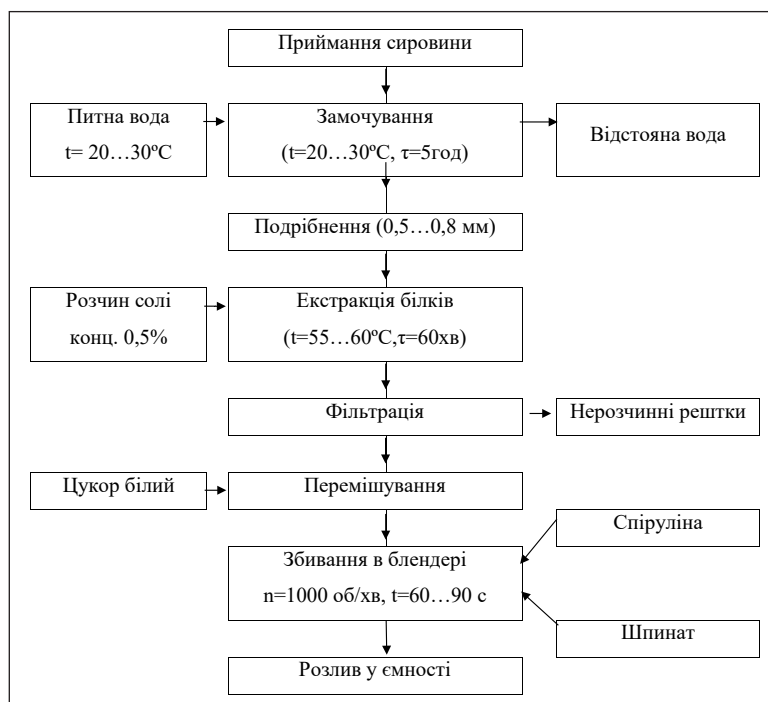
**Порівняльна характеристика хімічного складу зразків смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни**

Показник	Напій	Зразок 2	Зразок 4	Зразок 7
М.ч. жирів, %	4,13	3,90	3,99	3,96
М.ч. білків, %	1,62	1,73	2,31	2,95
М.ч. СР, %	7,33	7,33	7,32	7,26
Зола, %	0,68	0,74	0,79	0,86
Харчові волокна, %	0,13	0,19	0,20	0,23
β-каротин, мг/100 г		0,23	0,18	0,23
Вітамін В1 (тіамін), мг/100 г	0,019	0,05	0,33	0,64
Вітамін В2 (рибофлавін), мг/100 г	0,008	0,06	0,37	0,72
Вітамін В5 (пантотенова кислота), мг/100 г	0,016	0,04	0,13	0,23
Вітамін В6 (піридоксин), мг/100 г	0,017	0,02	0,03	0,04
Вітамін В9 (фолієва кислота), мкг/100 г	1,5	5,41	4,63	5,40
Вітамін Е, мг/100 г	0,002	0,13	0,10	0,13
Вітамін РР, мг/100 г	0,09	0,12	0,11	0,12
Са, мг/100 г	4,5	9,63	9,52	11,49
Mg, мг/100 г	6,7	10,44	10,05	11,13
Fe, мг/100 г	0,14	0,82	0,82	1,11
P, мг/100 г	59,43	60,10	60,68	61,22

Таблиця 3

**Рецептура смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни**

№	Сировина	Масова частка сухих речовин	Витрати сировини на напій		Нормативна документація
			в натурі	в сухих речовинах	
1	Напій: Вода	0,00	8554,7	0	ДСТУ 7525:2014
	Ядра волоського горіха	96,25	855,5	823,4	ГОСТ 16833-71
	Сіль кухонна	99,90	42,75	42,7	ДСТУ 3583-97
	Цукор білий	99,85	85,5	85,37	ДСТУ 4623-2006
2	Шпинат	8,8	401	35,29	ДСТУ 8061:2015
3	Спіруліна	95,32	100	95,32	ТУ У 20898991.001-99)
Разом			10039,45	1082,08	
Вихід готового продукту, г			10000		



**Рис. 1. Принципова технологічна схема виробництва смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни**

танням. Ядра після замочування відправляють на подрібнення до отримання пастоподібної маси, яка надходить на екстракцію. Екстрагентом є 0,5%-ий водний розчин хлориду натрію (кухонної солі). Співвідношення екстрагенту до маси сировини – 8:1.

Процес екстракції проходить за температури 55–60°C впродовж 60 хв при постійному перемішуванні. Після екстрагування екстракт у вигляді дрібнодисперсної суспензії відділяють від нерозчинних залишків шляхом фільтрації [9]. Отриманий напій має молочний колір зі світло-коричневим відтінком, виражений горіховий запах та рідку консистенцію.

Наступним етапом є збивання всіх компонентів. Підготований шпинат, спіруліну та напій з ядер волоського горіха у рецептурному співвідношенні поміщають у блендер з подальшим збиванням впродовж 60–90 с за частоти обертів 1000 об/хв.

**Висновки.** Згідно з проведеним аналітичним оглядом вітчизняних та закордонних публікацій встановлено, що вживання населенням білка є дефіцитним як в кількісному, так і в якісному відношенні. Серед можливих шляхів вирішення цієї проблеми головне і вирішальне місце належить залученню резерву протеїнів рослинного походження через використання нетрадиційних джерел рослинного білка.

Потенційними споживачами білковмісних напоїв рослинного походження, в тому числі й напою з ядер волоського горіха, є прихильники альтернативних видів харчування, населення, інтолерантне до лактози та з алергією на молочний білок.

З огляду на результати органолептичних досліджень, порівняльної характеристики хімічного складу та з урахуванням гармонійного поєднання обраних інгредієнтів розроблено рецептуру смузі на основі напою з ядер волоського горіха з додаванням шпинату та спіруліни у співвідношеннях 93:5:2.

#### Список літератури:

1. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Технологія оздоровчих харчових продуктів : підручник. Київ : НУХТ, 2015. 402 с.
2. Смоляр В.І. Фізіологія і гігієна харчування. Київ : Здоров'я. 2000. 336 с.
3. Dietrich I., Kuzmin O., Mikhaïlenko V. Comprehensive evaluation of the hot sweet soufflé dessert quality. *Ukrainian Journal of Food Science*. Kyiv : NUFT, 2017. Volume 5, Issue 1. pp. 92–102.
4. Kuzmin O., Levkun K., Riznyk A. Qualimetric assessment of diets *Ukrainian Food Journal*. Kyiv : NUFT, 2017. Volume 6, Issue 1. pp. 46–60.



5. Петухова Т.А., Рижих А.С. Дослідження впливу добового раціону спожитих продуктів харчування на забезпеченість організму студентів деякими біогенними елементами. *Молодий вчений*. 2016. № 4. С. 294–298.
6. Hilliam M. Heart Healthy Foods. *World Food Ingredients*. 2001. P. 98–103.
7. Савчук Ю.Ю., Усатюк С.І. Способи отримання білкових продуктів з рослинної сировини : збірник наукових праць. 2017. Кам'янець-Подільський : ПДАТУ. С. 64–71
8. Boseley Sarah. Smoothies and fruit juices are a new risk to health, US scientists warn. 2013. *The Guardian*. P. 25.
9. Савчук Ю.Ю., Усатюк С.І. Исследование процесса экстрагирования белка из грецкого ореха. *Вестник Алматинского технологического университета*. 2015. Выпуск 2. С. 22–26.
10. Савчук Ю.Ю., Усатюк С.І. Дослідження біологічної цінності напою з ядер волоського горіха. *Науковий вісник Львівського університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2017. Том 19. № 75. Львів. С. 124–128.
11. Савчук Ю.Ю., Усатюк С.І. Дослідження жирнокислотного складу білковмісного напою з ядер волоського горіха. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. пр. / редкол. : О.І. Черевко (відпов. ред.) та ін. Харків : ХДУХТ, 2017. Вип. 1 (25). С. 381–389.

#### **Savchuk Yu.Yu., Yanchyk M.V., Usatiuk S.I. DEVELOPMENT OF RECIPE AND TECHNOLOGY OF SMOOTHIE BASED ON DRINK OF WALNUT KERNELS WITH SPINACH AND SPIRULINA**

*Drinks are one of the main food groups that can solve the problem of micronutrient deficiency in a person's daily diet. It should be noted that natural plant raw materials, which can be used in beverage technology, is a valuable and practically indispensable source of safe biologically active substances, adapted to the physiological functions of the human body.*

*The current trend in the food industry is the development of protein-containing beverages from plant raw materials. Foods with plants proteins are good for health and low in calories. The segment of consumers of plant protein products includes all social sectors of the population. Such products are permitted for dietary, lactose intolerant and fasting diets.*

*In order to create a smoothie from plant ingredients containing a high protein content, a review of literature sources was conducted and modern technologies of beverages containing protein raw materials of plant origin were analyzed. This article substantiates the choice of raw materials of plant origin for the preparation of a smoothie based on a drink made from walnut kernels, namely spinach and spirulina.*

*The organoleptic characteristics of smoothie samples at different ratios of ingredients were studied, taking into account weight coefficients. The comparative characterization of the chemical composition of the selected samples is presented, which clearly demonstrates all the advantages and disadvantages of different ratios of ingredients. According to the results of research, a recipe and production technology of smoothies based on drink of walnut kernels with spinach and spirulina were developed, which is presented in the form of a basic technological scheme with specification of all parameters.*

**Key words:** *drink, walnut, smoothie, spinach, spirulina, chemical composition, organoleptic characteristics, technology, plant drink.*

УДК 658.5

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/20>

**Сподар К.В.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**Карбівнича Т.В.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**Лісніченко О.О.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**Соколова Є.Б.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

## **АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА РИБОПЕРЕРОБНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

*Безпечність та якість продукції є одними із найвагоміших показників конкурентоспроможності рибних товарів. Здоров'я та безпека населення значною мірою залежать від якості продукції, що виробляється та пропонується споживачам.*

*Конкурентоспроможність підприємства найчастіше пов'язують з такими властивостями, як здатність випускати якісну та безпечну продукцію, здатність задовольняти потреби споживачів краще, ніж це роблять основні конкуренти.*

*У статті наведено результати аналізу організації роботи з підвищення безпеки та конкурентоспроможності продукції у ТОВ "Klion Group".*

*Встановлено, що для ТОВ "Klion Group" доцільною є стратегія оборони й зміцнення, зміст якої полягає в тому, щоб ускладнити доступ на ринок новим фірмам, а претендентам на лідерство зміцнити позиції. Завданням міцної оборони є втримання частки ринку, зміцнення досягнутого положення на ринку, захист наявних у фірми конкурентних переваг.*

*Діагностика конкурентоспроможності досліджуваного підприємства свідчить про нагальну необхідність застосування профілактичних регулюючих заходів, основною метою яких є збереження частки ринку та недопущення втрати наявних конкурентних позицій.*

*За результатами проведеного стратегічного аналізу конкурентоспроможності підприємства, одним із методів якого був SWOT-аналіз, було виявлено певні загрози та слабкі сторони діяльності ТОВ "Klion Group", що зумовлені виробничими особливостями та високим рівнем конкуренції.*

*Встановлено, що для підвищення конкурентоспроможності рибопереробного підприємства необхідно вдосконалити комплексну систему заходів, спрямованих на забезпечення якості продукції. Підвищувати якість продукції на підприємстві слід через впровадження новітніх інноваційних технологій у процес обробки продукції та її пакування. Вітчизняним виробникам замороженої риби необхідно замінити вітчизняне устаткування з метою якісної обробки та заморожування, а також намагатись залучити необхідні фінансові ресурси для подальшого розвитку.*

**Ключові слова:** *якість, система НАССР, конкурентоспроможність, рибна продукція, безпека продуктів.*

**Постановка проблеми.** 85% рибного ринку України – це імпорт, який не завжди належної якості, а іноді й відвертий рибний сурогат, небезпечний для людини. У нас немає Сертифікату походження риби – державного документа, який відповідає за легальність продукту. Такий стан справ загрожує продовольчій безпеці країни в цьому сегменті. Україна імпортує рибу і морепродукти з 60 країн світу. За даними, опублікованими

Державною фіскальною службою, у 2018 році Україна імпортувала риби і морепродуктів на \$ 562 317 000. Щороку імпорт зростає [1].

М'ясо риби є джерелом біологічно активних і мінеральних речовин, має добре збалансований амінокислотний склад. На формування споживчих властивостей живої риби впливають такі чинники, як її вид і розмір, чистота водойми, кількість кисню у воді, вид і кількість кормів,

сезон вилову, фізіологічний стан риби, захворювання тощо [2].

Це питання є актуальним, бо безпека та якість продукції є одними із найвагоміших показників конкурентоспроможності рибної продукції. Здоров'я та безпека населення значною мірою залежать від якості продукції, що виробляється та пропонується споживачам.

Одним із основних інструментів досягнення відповідності мінімальним параметрам безпечності є система аналізу ризиків, небезпечних чинників і контролю критичних точок – НАССР. Ця концепція широко використовується на рибопереробних підприємствах та охоплює всі види потенційно небезпечних чинників, що можуть вплинути на безпечність харчових продуктів (біологічні, фізичні та хімічні чинники), незалежно від того, чи вони виникли природно з причин, пов'язаних із довкіллям, чи через порушення процесу виробництва [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням підвищення безпечності та конкурентоспроможності продукції на рибних підприємствах присвячено праці таких експертів та вчених, як Н.М. Богатко [4], В.А. Самофатова [5], О.В. Сидоренко [6], Д.Ф. Крисанов [7].

Автори проаналізували тенденції розвитку рибного господарства України, визначили проблемні аспекти забезпечення населення України вітчизняною рибою продукцією її переробки. У наукових працях досліджені проблеми відновлення функціонування внутрішніх водоемів України, виділені основні проблеми та перспективи їх вирішення у сучасних умовах. У статтях розглядаються основні чинники низької конкурентоспроможності продукції вітчизняних підприємств рибної промисловості.

**Постановка завдання.** Мета статті – проведення аналізу організації роботи з підвищення безпечності та конкурентоспроможності продукції у ТОВ “Klion Group”.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Компанія “Klion Group” – це найбільший український імпортер риби і морепродуктів. Основним напрямом діяльності цієї компанії є імпорт, виробництво і продаж риби та морепродуктів.

Компанія має власні виробничі потужності і переробні цехи, що забезпечують безперебійний випуск товарів. Підприємство оснащено обладнанням від світових лідерів технологічного забезпечення харчової промисловості. Усі процеси на виробництві відповідають найсуворішим європейським правилам контролю якості. Завод має сертифікацію НАССР та ISO 22 000.

Система управління безпеки продуктів харчування (Hazard Analysis and Critical Control Points) є провідною науковою установою, що спеціалізується на дослідженні безпечності харчових продуктів та впровадженні власної методології безпеки продуктів харчування на підприємствах, що виробляють харчові продукти та вводять їх в обіг. НАССР здійснює свою діяльність на основі розповсюдженої схеми сертифікації продуктів, яка полягає в сертифікації обладнання, що задіяне у виробництві харчових продуктів, матеріалу, сировини та послуг. Такий метод сертифікації спрямований підтвердити придатність продуктів харчування до вживання серед всіх виробників, які керується даною системою [7].

Таким чином, здійснення постійного контролю – від вилову, зберігання, переробки і транспортування до прилавків магазинів – дозволяє компанії контролювати якість продукції на всіх етапах.

Конкурентоспроможність підприємства найчастіше пов'язують з такими властивостями, як здатність випускати якісну та безпечну продукцію і послуги, спроможність до продуктивного та ефективного функціонування, здатність задовольняти потреби споживачів краще, ніж це роблять основні конкуренти [8].

Отже, конкурентоспроможність підприємства можна визначити як спроможність підприємства краще забезпечувати пропозицію товарів чи послуг порівняно із конкурентами завдяки наданню товарам чи послугам диференційованих властивостей за умов дотримання стандартів якості.

Ключовими факторами підвищення конкурентоспроможності підприємства стають зниження витрат, диференціація і системна інтеграція. Таким чином, для підвищення конкурентоспроможності підприємств необхідно розробляти і впроваджувати комплексну систему заходів, спрямованих на забезпечення якості продукції та послуг.

На даному етапі розвитку і за умов існування виявлених загроз для ТОВ “Klion Group” доцільною є стратегія оборони й зміцнення, зміст якої полягає в тому, щоб ускладнити доступ на ринок новим фірмам, а претендентам на лідерство зміцнити позиції. Завданням міцної оборони є втримання частки ринку, зміцнення досягнутого положення на ринку, захист наявних у фірми конкурентних переваг.

Конкретні оборонні дії для ТОВ “Klion Group” на ринку можуть бути такими: спроби підняти конкурентний бар'єр для претендентів на лідерство через збільшення витрат на рекламу, підвищення

рівня сервісного обслуговування та збільшення витрат на дослідження й розробку власних товарних марок; перехід до більш вираженої персоналізації обслуговування й використання інших доповнень для посилення лояльності споживачів та ускладнення або здорожчання їхнього переходу до продукції конкурентів; розширення параметричного ряду продукції, щоб закрити для конкурентів можливі вільні ніші; збереження розумних цін і привабливої якості; створення нових потужностей, щоб випередити зростання ринкового попиту й блокувати потенціал розширення дрібних конкурентів; здійснення інвестування, що забезпечує конкурентоспроможність за витратами і технологічним розвитком; укладення ексклюзивних контрактів з кращими постачальниками й дилерами.

За результатами проведеного стратегічного аналізу конкурентоспроможності підприємства, одним із методів якого був SWOT-аналіз (таблиця 1), було виявлено певні загрози та слабкі сторони діяльності ТОВ “Klion Group”, які зумовлені виробничими особливостями та високим рівнем конкуренції.

Діагностика конкурентоспроможності досліджуваного підприємства свідчить про нагальну необхідність застосування профілактичних регулюючих заходів, основною метою яких є збереження частки ринку та недопущення втрати наявних конкурентних позицій. Для цього підприємство має вивчити досвід конкурентів у зменшенні собівартості виробництва. Також необхідно використовувати наявні маркетингові та рекламні можливості, знаходити нових партнерів і розширювати ринки збуту.

**Висновки.** За результатами проведеного стратегічного аналізу конкурентоспроможності підприємства, одним із методів якого був SWOT-аналіз, було виявлено певні загрози та слабкі сторони діяльності ТОВ “Klion Group”, що зумовлені виробничими особливостями та високим рівнем конкуренції. Серед причин низької конкурентоспроможності продукції підприємства можна виокремити такі: погіршення технічного стану обладнання, модернізація якого відбувається дуже повільно; значний дефіцит потужностей з базової переробки риби, що призводить до недостатнього використання сировини та відходів основного виробництва; використання застарілих технологій; низькі темпи науково-технічного прогресу; відсутність моральних і матеріальних стимулів до підвищення якості продукції і розширення її асортименту, оновлення виробничого апарату і впровадження новітніх технологій виробництва; швидкі темпи морального та фізичного зношення основних виробничих фондів і технологій (65–70%); значні матеріальні витрати, які повинні бути передбачені в програмах розвитку галузей з огляду на потребу гармонізації українських стандартів, законодавчої та нормативної бази з вимогами європейських стандартів, норм і правил, невизначеність джерел фінансування; неготовність рибопереробного підприємства до об’єктивно необхідного технічного переоснащення, освоєння сучасних технологій, нового випробувального обладнання, впровадження та сертифікації систем управління якістю, що вимагають значних коштів (інвестицій, кредитів тощо) та державної підтримки в умовах нерозвинутого ринку, недостатньої внутрішньої конкуренції.

Таблиця 1

**SWOT-аналіз для ТОВ “Klion Group”**

S	Сильні сторони	Слабкі сторони	W
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– достатня сировинна база;</li> <li>– персонал з досвідом роботи;</li> <li>– значна відносна частка ринку (22% за результатами маркетингових досліджень);</li> <li>– значний асортимент продукції;</li> <li>– впровадження нових технологій;</li> <li>– наявність структурних підрозділів з маркетингу;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– низький рівень готовності працівників до змін;</li> <li>– невисокий термін зберігання продукції</li> </ul>	
O	Можливості	Загрози	T
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– збільшення числа лояльних споживачів;</li> <li>– розширення кола інформування потенційних покупців;</li> <li>– розширення ринку збуту продукції;</li> <li>– нарощування товарообігу;</li> <li>– підвищення рівня професійності кадрів;</li> <li>– розширення асортименту продукції;</li> <li>– удосконалення дилерської мережі;</li> <li>– експорт продукції в країни близького та далекого зарубіжжя</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– великий рівень конкуренції в галузі;</li> <li>– перенасичення ринку;</li> <li>– технологічне відставання;</li> <li>– зниження рівня кваліфікації кадрів</li> </ul>	



Для підвищення конкурентоспроможності рибопереробного підприємства необхідно вдосконалити комплексну систему заходів, спрямованих на забезпечення якості продукції. Підвищувати якість продукції на підприємстві слід через впровадження новітніх інноваційних технологій у процес обробки продукції та її пакування. Вітчиз-

няним виробникам замороженої риби необхідно замінити вітчизняне устаткування з метою якісної обробки та заморожування. Необхідно приділити увагу кваліфікації фахівців з технології заморожування, які здатні розвивати нові виробництва. Потрібно також залучати необхідні фінансові ресурси для подальшого розвитку.

#### Список літератури:

1. Криза в рибній галузі. *Діловий Переяслав* : вебсайт. URL: <https://dilovyi.info/kryza-v-rybnoyi-galuzi/> (дата звернення: 26.09.2019 р.).
2. Виявлення контрольних критичних точок для управління безпечністю виробництва замороженої риби / Д.М. Одарченко та ін. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2015. № 5/11 (77). С. 31–36.
3. Орленко О.В. Система управління безпечністю харчової продукції: запровадження системи HACCP на підприємствах круп'яної індустрії. *Економіка та управління підприємствами*. 2016. Вип. 1. С. 91–97.
4. Ветеринарно-санітарний контроль рибопродуктів у супермаркетах / Н.М. Богатко та ін. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. 2015. Т. 17. № 3. С. 371–376.
5. Самофатова В.А., Карпенко В.А. Ринкова стратегія розвитку підприємств рибопереробної галузі України. *Економіка харчової промисловості*. 2015. № 2. С. 47–51.
6. Сидоренко О.В., Тимофєєва О.В. Тенденції сучасного ринку рибних продуктів в Україні. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2005. № 5. С. 63–67.
7. Крисанов Д.Ф. Якість і безпечність харчової продукції. *Економіка і прогнозування*. 2010. № 3. С. 103–119.
8. Журило І.В. Конкурентоспроможність нової продукції промислово-виробничого призначення: теоретичні аспекти, методика прогнозування та забезпечення : монографія. Кіровоград : ПВЦ «Мавік», 2007. 186 с.

**Spodar K.V., Karbivnycha T.V., Lisnichenko O.O., Sokolova Ye.B.**

#### **ANALYSIS OF ORGANIZATION OF WORK ON IMPROVING THE SAFETY AND COMPETITIVENESS OF PRODUCTS ON THE FISHERIES ENTERPRISE**

*Product safety and quality are among the most important indicators of the competitiveness of fishery products. The health and safety of the population depends to a large extent on the quality of the products produced and offered to consumers.*

*The competitiveness of an enterprise is most often associated with such features as the ability to produce quality and safe products, the ability to meet the needs of consumers better than the main competitors.*

*The article presents the results of the analysis of the organization of work on improving the safety and competitiveness of products at the enterprise Klion Group LLC.*

*It has been found that for the Klion Group LLC it is advisable to have a strategy of defense and strengthening, the content of which is to complicate market access for new firms and to candidates for leadership to strengthen positions. The task of strong defense is to maintain the existing market share, to strengthen the achieved market position, to protect the competitive advantages of the company.*

*Diagnosis of the competitiveness of the studied enterprise indicates the urgent need to apply preventive regulatory measures, the main purpose of which is to maintain market share and prevent the loss of existing competitive positions.*

*According to the results of the strategic analysis of the competitiveness of the enterprise, one of the methods of which was SWOT-analysis, identified certain threats and weaknesses of Klion Group LLC activity, due to the production features and high level of competition.*

*It is established that in order to increase the competitiveness of the fish processing enterprise it is necessary to improve a comprehensive system of measures aimed at ensuring product quality. It is necessary to improve the quality of production at the enterprise directly through the introduction of the latest innovative technologies, first of all, in the process of processing and packaging it. Domestic producers of frozen fish need to be replaced with domestic equipment for the purpose of quality processing and freezing. Strive to attract the necessary financial resources for further development.*

**Key words:** quality, HACCP system, competitiveness, fishery products, product safety.

**Штена Є.П.**

Одеська національна академія харчових технологій

**Михайлова К.А.**

Одеська національна академія харчових технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИТНОЇ ВОДИ, СОКІВ ТА НАПОЇВ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБРОБКИ

*У статті розглядаються питання впливу електромагнітної обробки на зміни властивостей питної води і впливу її на деякі харчові продукти.*

*Викладено показники, які визначають якість питної води і поділяються на декілька груп. Серед них значна увага приділяється органолептичній оцінці води, у тому числі її смаковим характеристикам, запаху, прозорості.*

*Бальна оцінка органолептичних показників питної води показала позитивний вплив електромагнітної обробки на питну воду при оцінці за бальною системою. Під час органолептичного дослідження питної води визначали характер запаху (ароматичний, аптечний тощо) або присмаку (гіркий, солоний тощо), а також їх інтенсивність у балах: 0 – відсутність, 1 – дуже слабкий, 2 – слабкий, 3 – помітний, 4 – виразний, 5 – дуже сильний. Допустима інтенсивність запаху або присмаку – не вище 2 балів.*

*Отже, електромагнітна обробка покращує якісні показники і мінералогічний склад питної води, що дозволяє зробити воду та напої на її основі більш придатними для засвоєння організмом людини.*

*Наведені фото мікроструктури солей жорсткості води неомагніченої і омагніченої за оптимальної напруженості магнітного поля, що становить 32 кА/м.*

*З огляду на наведені в статті рисунки можна стверджувати, що під впливом електромагнітної обробки розміри кристалів солей жорсткості зменшуються, а відстань між ними зростає. Вочевидь, таку архітектуру водних випарів можна пояснити тим, що під дією електромагнітного поля проходить зміна міжмолекулярної взаємодії в структурі води.*

*Показано, що максимуми і мінімуми значень наведених показників активної кислотності та окисно-відновного потенціалу води збігаються у разі зміни напруженості магнітного поля.*

*Фізіологічно функціональні властивості питної води, отриманої шляхом електромагнітної активації, визначаються її структурою.*

*У статті наведені графіки результатів впливу омагніченої води на приріст паростків насіння дині, на показник активної кислотності та редокс-потенціал води, на редокс-потенціал яблучного, морквяного, гарбузового, мандаринового соків.*

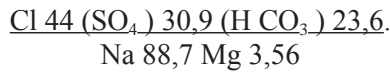
**Ключові слова:** вода, соки, напої, обробка електромагнітним полем, органолептична оцінка.

**Постановка проблеми.** Останніми десятиліттями дедалі актуальнішою стає проблема впливу електромагнітних полів (далі – ЕМП) на біологічні об'єкти. Це зумовлено невідповідним зростанням джерел електромагнітної енергії як в навколишньому середовищі, так і в галузі медицини, в сільському господарстві та харчовій промисловості. Вченими накопичено певний досвід із дослідження впливу ЕМП на біологічні об'єкти, який полягає у вибіркового сприйнятті їх до дії поля. Слід зазначити, що досі немає чіткої загальноприйнятої основи з цього питання. Зараз відбувається лише накопичення результатів експериментальних робіт і впроваджень, а також наукових гіпотез, які пояснюють сутність впливу ЕМП на водні системи [1, с. 135]. Вода є важливим чин-

ником процесів метаболізму. Якість питної води і води, що є складовою частиною всіх харчових продуктів, значною мірою визначає ефективність біоконверсії поживних речовин. Від її стану в багатьох випадках залежать властивості харчових систем. Найважливішою характеристикою води є її висока чутливість до різних фізико-хімічних і енергетично-інформаційних впливів завдяки низькоенергетичним водневим зав'язкам, здатним перебудовуватися під дією зовнішніх факторів. Стан біологічних систем є функціонально залежним від якості води, її безпечності. З огляду на це актуальним є пошук більш досконалих способів обробки водних об'єктів. Обробка води та водних систем електромагнітними полями є, безумовно, одним з новітніх наукових напрямів,

який потребує подальших досліджень взаємодії ЕМ-опромінення з водним середовищем.

Обробці піддавали воду мінеральну зі свердловини санаторію ім. Горького у м. Одеса [2, с. 1]. Мінеральна вода Одеська №1 належить до лікувальних питних вод малої мінералізації ( $M = 1,4-1,6$ ), містить хлориди, гідрокарбонати, сульфати, іони натрію:



Під час магнітної активації води використовували обертове магнітне поле статора трифазного електродвигуна [3, с. 1]. Замість ротора в статор помістили стаканчик хімічний ємністю  $100 \text{ cm}^3$ , в який наливали мінеральну воду. Статор приєднували до трифазної мережі через регулюючий трансформатор і проводили короткочасну (1–5 с) обробку при струмах напруженості магнітного поля 12 кА/м, 25кА/м, 32 кА/м, 50 кА/м.

Для визначення виду і розміру кристалів солей в обробленій та необробленій воді її відбирали в стаканчики хімічні ємністю  $50 \text{ cm}^3$  з предметним склом мікроскопа у кожному. Предметне скло зі зразками води одночасно піддавали термічній обробці. Мікроскопували при 600-кратному збільшенні. Результати дослідження мікроструктури солей води наведені на рис. 1.

З огляду на наведені рисунки можна стверджувати, що під впливом магнітної обробки розміри кристалів солей зменшуються, а відстань між ними зростає. Вочевидь, таку архітектуру водних випарів можна пояснити тим, що під дією магнітного поля проходить зміна міжмолекулярної взаємодії.

Мінеральні речовини води перебувають у іонно-молекулярному стані і мають розмір часток менше 1 нм або у колоїдному стані з розміром частинок 10–20 нм. У разі утворення кластерів колонії мінеральних солей мають більш виражений характер. У колоїдних системах розмір частинок

складає  $10^{-9}-10^{-7}$  м, тобто перебуває в діапазоні від нанометрів до долей мікрометрів.

Ступінь впливу електромагнітного поля на мікроструктуру солей мінеральної води залежить від напруженості магнітного поля. Найбільш суттєвий вплив на структуру мінеральних речовин має величина напруженості магнітного поля 32 кА/м.

Видимі мінеральні речовини води – це тонкі суспензії системи з проміжною дисперсністю ( $10^{-7}-10^{-6}$  м), оскільки вони проходять крізь паперові фільтри на відміну від грубо дисперсних систем з розміром частинок більше  $10^{-6}$  м, що не проходять крізь паперові фільтри. Крім цього, грубо дисперсні системи седиментаційно нестійкі.

Агрегативна стійкість системи (суспензії), яка характеризується здатністю частинок зберігати свої первинні розміри і не зливатися, залежить від густини поверхневого електричного заряду частинок, їх потенціалу (потенціал Штерна), товщини подвійного електричного шару, інтенсивності взаємодії частинок із середовищем, тобто ліофільності системи. Підвищення цих параметрів під впливом ЕМП призводить до збільшення агрегативної стійкості системи.

Розрізняють вільно дисперсні суспензії, частинки яких вільно пересуваються в середовищі, і зв'язано дисперсні, в яких частинки об'єднані у ланцюги, сітки і є нерухомими або переміщуються єдиною масою. Під час електромагнітної обробки зростає кількість вільно дисперсних частинок, що призводить до зміни наведених показників та зменшення в'язкості.

**Постановка завдання.** Метою нашої роботи є дослідження впливу електромагнітного поля на деякі показники якості води [4, с. 37].

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

### 1. Якість питної води

Показники, які визначають якість питної води, можна поділити на декілька груп. Значна увага

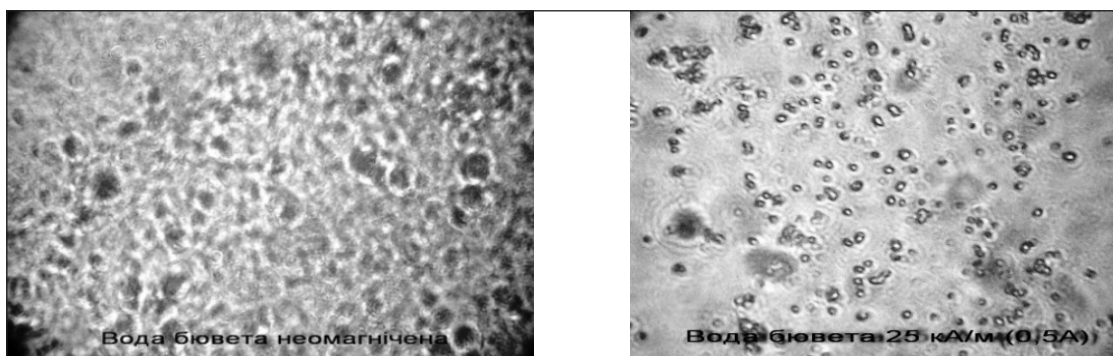


Рис. 1. Мікроструктура солей жорсткості води: а) вода неомагнічена; б) вода омагнічена, 32 кА/м



приділяється органолептичній оцінці води, у тому числі її смаковим характеристикам, запаху, прозорості тощо. Нами встановлено, що вода, яку піддавали обробці у електромагнітному полі, має значно кращі показники якості, ніж необроблена вода (рис. 2).

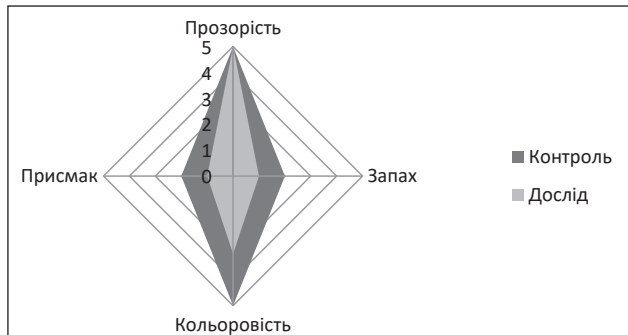


Рис. 2. Бальна оцінка органолептичних показників питної води

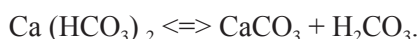
Під час органолептичного дослідження питної води визначали характер запаху (ароматичний, аптечний тощо) або присмаку (гіркий, солоний тощо), а також їх інтенсивність у балах: 0 – відсутність, 1 – дуже слабкий, 2 – слабкий, 3 – помітний, 4 – виразний, 5 – дуже сильний. Допустима інтенсивність запаху або присмаку – не вище 2 балів.

Прозорість води залежить від наявності в ній зважених часток і їх розмірів. За цим показником у досліджуваних зразках суттєвих змін не спостерігалось.

Підвищення органолептичної оцінки води під впливом ЕМО за показниками запаху, присмаку і кольоровості може бути пояснене теоретичними даними, які викладені нижче.

Кольоровість питної води, яку отримують з поверхневих і неглибоких підземних джерел, як правило, викликана наявністю гумінових речовин. Забарвлення питної води може також зумовлюватися розмноженням водоростей у водоймі (цвітінням), з якої здійснюють забір води, а також забруднення її стічними водами. Після активації або очищення води на водопровідних станціях її кольоровість зменшується. Очевидно, що під впливом ЕМО біологічні об'єкти розшаровуються, що впливає на дисперсність системи і сумарний ефект забарвлення.

Присмак води значною мірою визначається наявністю у ній макро- та мікроелементів, які не повинні надавати їй надто відчутної жорсткості. Під дією електромагнітних хвиль в діапазоні звукової частоти бікарбонат кальцію, що міститься у воді, переходить в нерозчинний карбонат кальцію:



Під час проходження води через вузол електромагнітної обробки її властивості покращуються [5, с. 38; 6, с. 2]. Магнітна обробка сприяє активації процесів адсорбції різних домішок органічного походження і суттєво впливає на електрокінетичний потенціал і агрегативну стійкість зважених часток. Отже, навіть короточасний електромагнітний вплив на воду з високою жорсткістю дозволяє знизити цей показник на 23%.

Електромагнітна обробка покращує якісні показники і мінеральний склад питної води, що дозволяє зробити воду та напої на її основі більш придатними для засвоєння.

### 2. Зміни біологічної дії води під час магнітної обробки

Фізіологічно функціональні властивості питної води, отриманої шляхом електромагнітної активації, визначаються її структурою. Під впливом ЕМП надмірно великі молекулярні утворення (кластери молекул  $\text{H}_2\text{O}$  від 3-х до декількох десятків) трансформуються, що поліпшує рухливість води у біологічних об'єктах.

### 3. Вплив магнітної обробки на пророщення насіння

Для підтвердження гіпотези щодо підвищення біологічної активності води після обробки у ЕМП було проведено дослідження, суть якого полягала у пророщенні насіння дині із застосуванням як обробленої, так і необробленої води.

Насіння взяте у рівних кількостях. Пророщування проводили в однакових умовах за кімнатної температури. Активовану та неактивовану воду змінювали у ємностях щодоби. Воду обробляли за різних значень напруженості МП і фіксували, за якого з них спостерігався більший приріст паростків. Вимірювання величини проростків здійснювали щоденно протягом двох тижнів. Результати експерименту, наведені на рис. 3, дозволили встановити рекомендований режим обробки води.

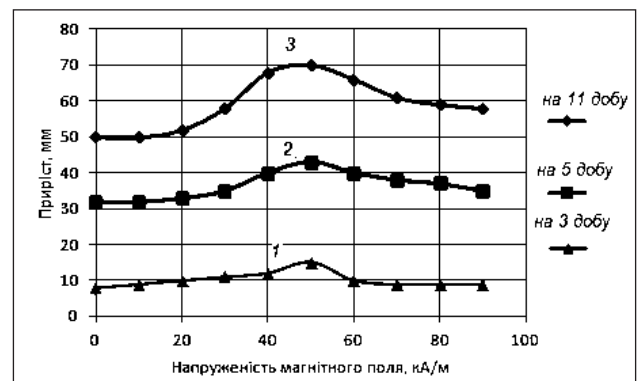


Рис. 3. Залежність приросту паростків насіння дині від напруженості ЕМП: 1 – на третю добу; 2 – на п'яту добу; 3 – на одинадцяту добу пророщування



Встановлено, що оптимальною можна вважати напруженість магнітного поля 55 кА/м.

Далі використовували воду, оброблену при 55 кА/м, і необроблену воду. Результати експерименту наведені в табл. 1.

Спостереження за дослідними зразками показало, що прокльовування проростків насіння, занурених у активовану воду, проходить раніше, ніж у звичайній воді, а приріст їх маси найбільш суттєво відрізняється у першій фазі процесу пророщування (на 34,4–38,5%). Швидкість проходження активованої води через біологічні мембрани значно зростає, що викликає у проростку суттєві зміни, які призводять до модуляції обміну.

Аналогічні результати отримані при впровадженні нанотехнологій у рослинництво. Біопробудження можна пояснити появою нових властивостей системи.

Отримані результати свідчать про те, що процеси проникнення і засвоєння поживних речовин в рослинах прискорюються, зростає швидкість набору маси проростків під час фотосинтезу, та про загальний позитивний вплив електромагнітного поля на біосистеми.

4. Вплив електромагнітної обробки на клітинну проникність

Метаболізм біологічних об'єктів функціонально пов'язаний з проникністю біомембран, які є важливим компонентом систем регуляції процесів у клітинах цілісного організму. У харчових продуктах процеси осмосу і дифузії є суттєво спрощеними і можуть лише віддалено слугувати

умовною моделлю дії водного середовища на клітини.

Для проведення експерименту з виявлення впливу електромагнітного опромінення на проникність рослинної клітини об'єктами дослідження обрано сухі яблука, чорнослив та грушу. Досліджуваний і контрольний екземпляри за однакових умов одночасно поміщали у воду, активовану у електромагнітному полі, та у водопровідну воду, що не піддавалася обробці. Гідромодуль (продукт : вода) для всіх досліджень перебував у діапазоні 1 : 5–1 : 10. Зразки залишали у воді протягом години, а через певний інтервал часу (10 хвилин) проводили зважування та визначали масу води, що була поглинута досліджуваними зразками. Перед зануренням у воду та після поглинання води проводили зважування з точністю до 95%. Аналогічно проведено дослідження з виявлення впливу електромагнітного поля на проникність тваринної клітини. Як сировину було обрано сушену рибу. Гідромодуль (продукт : вода) для досліджень перебував у діапазоні 1 : 7. Динаміка зміни маси зразків до та після поглинання води у простій та активованій ЕМП воді наведена у таблиці 2.

Результати проведених досліджень з виявлення впливу електромагнітного опромінення води на її проникність у клітини показали для всіх зразків більший приріст маси під час занурення у воду, активовану ЕМП. Найбільш суттєвий результат був відмічений для сушених яблук. Це зумовлено структурою тканин та більшою здатністю до

Таблиця 1

#### Вплив електромагнітної обробки на біометричні показники проростків насіння дині

	Довжина проростків, мм				
	На 3-ю добу	На 5-ю добу	На 7-ю добу	На 9-ю добу	На 11-ю добу
Контроль (без обробки у ЕМП)	8	19	29	41	57
Після обробки у ЕМП	13	29	40	55	69
Приріст, %	38,5	34,4	27,5	25,4	17,3

Таблиця 2

#### Визначення впливу обробленої у ЕМП води на проникність у клітини

Тривалість обробки у ЕМП, хв	Збільшення маси зразків, %							
	Яблука		Чорнослив		Груша		Сушена риба (бички)	
	Контроль	Оброблений зразок	Контроль	Оброблений зразок	Контроль	Оброблений зразок	Контроль	Оброблений зразок
10	16	29	6	8	8	13	12	16
20	26	35	10	12	9	16	20	24
30	31	40	13	16	10	17	24	27
40	35	43	17	18	12	18	28	30
50	38	45	19	20	12,5	18,5	31	33
60	41	47	20	21	13	19	32	34

поглинання цієї сировини. Діапазон зміни маси зразків відносно початкового значення становив 16–41% для зразків, що занурювали у звичайну воду; 29–47% для зразків, що були в активованій воді. Для інших дослідних зразків динаміка зміни цього показника була менш суттєвою і зумовлювалася видом сировини. Слід зазначити, що закономірність збільшення приросту маси екземплярів після набухання у активованій воді зберігалася.

Тобто практично доведено, що під час електромагнітного опромінення води проходять зміни в її структурі, які сприяють більш швидкому проникненню рідини у протоплазму клітин.

**5. Вивчення розчинної здатності води, обробленої електромагнітним полем**

Щоб виявити вплив ЕМП на розчинну здатність води, були обрані модельні системи, в яких як об'єкти досліджень застосовували таблетовану аскорбінову кислоту та цукор-рафінад. Досліджували екземпляри за однакових умов одночасно поміщали у воду, активовану у електромагнітному полі, та у водопровідну воду, що не підда-

валася обробці. Через певні проміжки часу (три хвилини) визначали масову частку сухих речовин у певних точках розчину аскорбінової кислоти та цукру (табл. 3).

Встановлено, що розчинні властивості води після її обробки у ЕМП підсилюються. Швидкість розчинення аскорбінової кислоти в омагніченій воді на перших етапах відчутно вища (різниця у точках контролю складає 30%), ніж у неомагніченій. Ефективність розчинення цукру-рафінаду у воді, обробленій ЕМП, дещо нижча, ніж ефективність розчинення аскорбінової кислоти.

Доведено, що електромагнітна обробка води підвищує її спорідненість з різними речовинами, що сприяє утворенню їх розчинів без застосування термічного або механічного впливу.

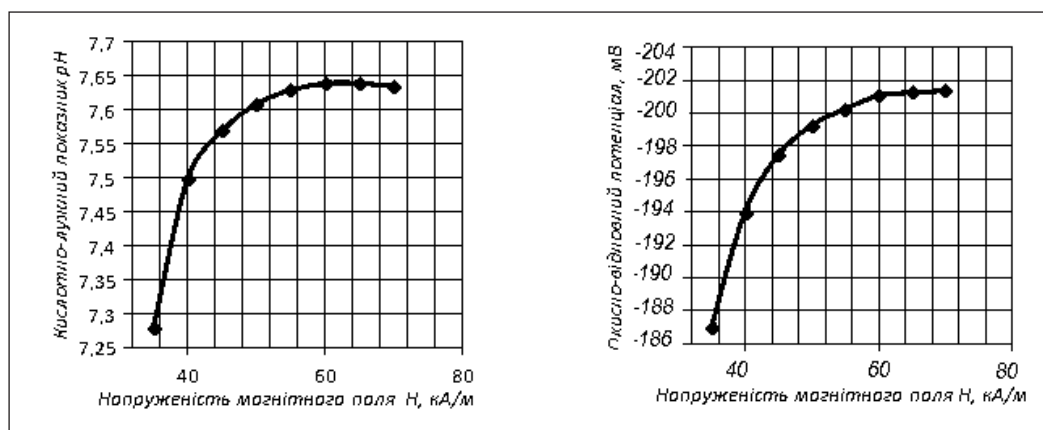
**6. Вплив електромагнітної обробки води на показник активної кислотності, редокс-потенціал та показник rH**

Вода, що є основою всіх біохімічних процесів, характеризується багатьма параметрами. Деякі

Таблиця 3

**Розчинна здатність води, обробленої в електромагнітному полі**

Період контролю, хв	Розчинна здатність води, обробленої у ЕМП, та необробленої, %					
	Аскорбінова кислота			Цукор-рафінад		
	Масова частка сухих речовин у точці контролю, %		Зміна розчинної здатності (%) до контролю	Масова частка сухих речовин у точці контролю, %		Зміна розчинної здатності (%) до контролю
	Вода, оброблена у ЕМП	Вода, необроблена у ЕМП		Вода, оброблена у ЕМП	Вода, необроблена у ЕМП	
3	30	0	+30	20	15	+5
6	35	5	+30	40	35	+5
9	40	20	+20	60	50	+10
12	70	40	+30	80	70	+10
15	80	60	+20	100	80	+20
18	100	80	+20	100	95	+5



**Рис. 4. Вплив електромагнітної обробки на рН та редокс-потенціал води**

показники, такі як кислотно-лужний показник ( $pH$ ), окисно-відновний потенціал (далі – ОВП) та показник  $rH$ , широко застосовуються, легко визначаються і є інформативними [7, с. 3].

Оптимальним і законодавчо затвердженим вважається рівень  $pH$  питної води в діапазоні від 6 до 9, що має суттєвий вплив на регуляцію кислотно-лужної рівноваги водних середовищ організму.

Показник ОВП характеризує процеси, пов'язані з перенесенням електронів, або направленість окисно-відновних реакцій у системі. У нормі ОВП внутрішнього середовища організму людини перебуває в межах від плюс 100 мВ до мінус 200 мВ, що відповідає переважним процесам відновлення. ОВП звичайної води (вода з-під крана, питна вода в пляшках тощо) практично завжди більший від нуля і перебуває у межах від +200 мВ до +300 мВ. Вказані відмінності значень ОВП свідчать про те, що активність електронів у внутрішньому середовищі організму людини набагато вища, ніж активність електронів у питній воді. Кореляція ОВП води в організмі відбувається завдяки витратам електричної енергії клітинних мембран, яка фактично є кінцевим продуктом біохімічного ланцюга трансформації поживних речовин.

Під час обробки води у ЕМП її окисно-відновний потенціал знижується. Ступінь зміни ОВП води залежить від її мінерального складу та параметрів обробки.

Нами були проведені дослідження впливу магнітної обробки на зміну  $pH$  і редокс-потенціалу води. Обробці піддавали питну воду за різних значень напруженості магнітного поля, яке створювали за допомогою статора асинхронного двигуна [8, с. 28]. Динаміку зміни цих показників наведено на рис. 4.

Зазначимо, що в результаті дії ЕМП вода стає більш лужною через підвищення водневого показника  $pH$ , що зумовлене її електролітним складом.

Доведено, що вода, оброблена у електромагнітному полі, проявляє відновлювальні властивості. Значення цього показника під час електромагнітної обробки зсувається у бік зменшення окисдантного впливу на 20 мВ. Однією з основних причин такого зниження ОВП може бути зміна вмісту розчинених газів у воді (наприклад, водню [9, с. 40]).

У активованій ЕМП води значення редокс-потенціалу значно ближче до редокс-потенціалу організму людини. Якщо питна вода, що надхо-

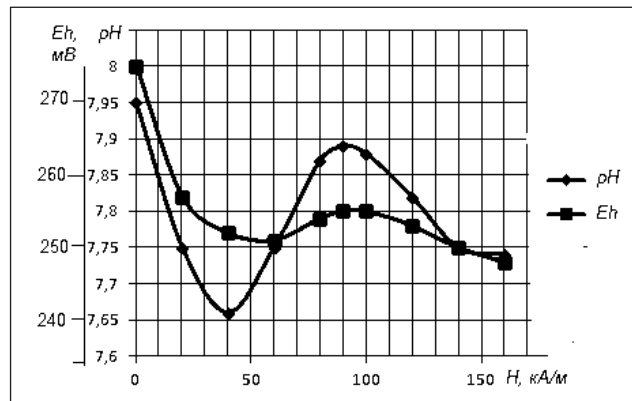


Рис. 5. Вплив електромагнітної обробки на показник активної кислотності та редокс-потенціал води

дить до організму людини, має ОВП, близький до значення ОВП її внутрішнього середовища, то електрична енергія клітинних мембран не витрачається на корекцію активності електронів води, вона одразу ж засвоюється, оскільки володіє біологічною сумісністю за цим параметром.

Встановлено поліекстремальну залежність редокс-потенціалу і  $pH$  активованої води від напруженості магнітного поля (рис. 5).

Показано, що максимумами і мінімумами значень наведених показників активної кислотності та ОВП води збігаються у разі зміни напруженості магнітного поля.

Редокс-потенціал, що є характерним для природних вод, свіжих соків з фруктів і овочів, за своїм значенням наближається до рівня високоорганізованих біологічних об'єктів.

Нами проведено серію дослідів з виявлення дії ЕМП на показник редокс-потенціалу свіжовичавлених соків та їх сумішей (рис. 6). Аналізуючи результати експерименту, який полягав у вимірюванні окисно-відновного потенціалу, ми дійшли до висновку, що омагнічена вода набуває властивостей відновлювача.

Редокс-потенціал, що є характерним для природних вод, свіжих соків з фруктів і овочів, за своїм значенням наближається до рівня високоорганізованих біологічних об'єктів.

**Висновки.** Проведені дослідження показали, що активація харчових рідинних продуктів пульсуючим або обертовим магнітним полем покращує мікробіологічні показники соків та напоїв. У таких рідинах відсутні великі колонії дріжджів і цвілевих грибів. Біологічна і колоїдна стійкість підвищується на 30–50%. Крім того, поліпшується процес фільтрування, адже прозорість напоїв підвищується на 20–50%.

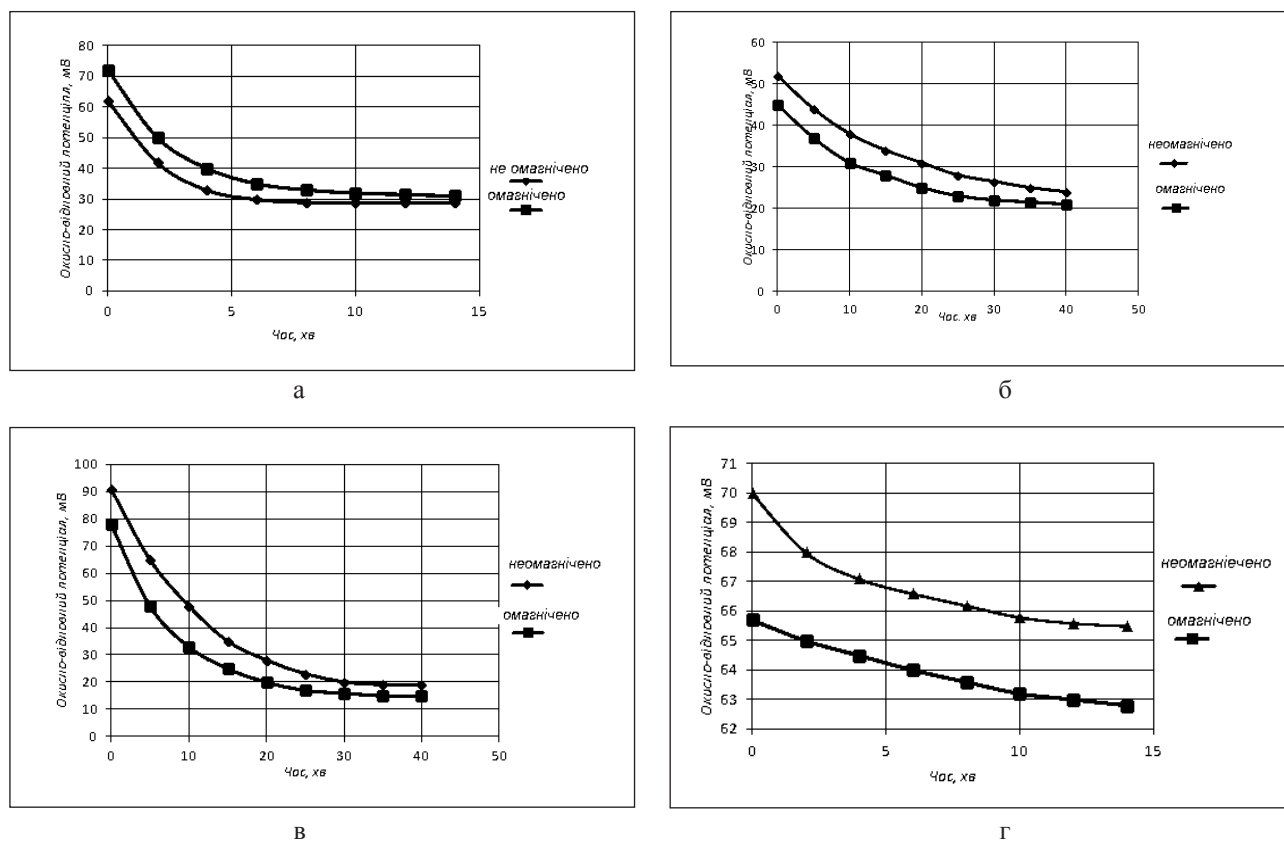


Рис. 6. Соки: а – яблучний; б – морквяний; в – гарбузовий; г – мандариновий

#### Список літератури:

1. Хасанов А.Т. Какая вода сохраняет здоровье? *Научный вестник КУЕИТУ. Нові технології*. 2013. № 3–4 (41–42). С. 135–138.
2. Спосіб активації мінеральних вод : патент Україна : № 40206 від 25.03.09 / Є.П. Штепа, К.А. Нурудінова (Михайлова). С. 1–4.
3. Пристрій для обробки обертовим магнітним полем рідинних харчових середовищ : патент Україна : № 75674 від 10.12.2012 / Є.П. Штепа, К.А. Михайлова. С. 1–4.
4. Михайлова К.А. Вплив магнітної обробки на біологічну дію води. *Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів та студентів*. Одеса, 2010, том 2. 220 с.
5. Штепа Е.П. Электромагнитная обработка воды в пищевой промышленности. *Пищевая пром-ть*. 1986. №1. С. 38–39.
6. Пристрій для обробки обертовим магнітним полем рідинних харчових середовищ : патент Україна : № 75674 від 10.12.12 / Є.П. Штепа, К.А. Михайлова.
7. Mikhaylova K.A., Telezhenko L.N., Shtepa E.P. Influence of the unfrozen omagnichenou water on juices. *The scientific and practical journal «Food Science and Technology»*, том.11, вип. 4. 2017. С. 3–8.
8. Тележенко Л.М., Штепа Є.П., Нурудінова К.А. Перспективи використання магнітоактивованих рідинних харчових продуктів. *Харчова наука і технологія*. 2009. №6. С. 28–30.
9. Аристова Н.А., Пискарев И.М., Ушканов В.А. Вода: химия и экология. 2009. № 12. С. 40–44.

#### Shtepa E.P., Mikhailova K.A. RESEARCH OF CHANGE OF PROPERTIES OF DRINKING-WATER, JUICES, AND MADE A DRUNK UNDER ACT OF ELECTROMAGNETIC TREATMENT

*In the article the questions of electromagnetic treatment are examined on the changes of properties of drinking-water and influence of it on some food products.*

*Indexes which determine quality of drinking-water and divided into a few groups are expounded. Among them considerable attention is spared the estimation of water, including it to taste descriptions, smell, transparency.*

*The ball estimation of indexes of drinking-water rotined influence of electromagnetic treatment on a drinking-water at an estimation on the ball system. During research of drinking-water determined character*



of smell (aromatic, pharmacy and ò. and.) or taste (bitter, salt and ò. and.), and also their intensity, in marks: 0 is absence, 1 – very weak, 2 – weak, 3 - noticeable, 4 - expressive, 5 marks - very strong. Possible intensity of smell or taste not higher 2 marks.

Thus, electromagnetic treatment improves high-quality indexes and mineralogical composition of drinking-water, that allows to do water and drinks on its basis more suitable for mastering of man an organism.

The photos of microstructure of salts of inflexibility of water of are resulted and at optimum of magnetic-field of 32  $\text{A}/\text{i}$ .

It is possible to assert taking into account resulted in the article, that under act of electromagnetic treatment the sizes of crystals of salts of diminish, and distance grows between them. Obviously, such architecture of water fumes can be explained that under the action of the electromagnetic field the change of cooperation passes in the structure of water.

It is rotined that maximums and minimums of values of the resulted indexes of active acidity and oxidation potential of water coincide at the change of tension of magnetic-field.

Physiological functional properties of drinking-water, got by the electromagnetic activating, are determined its structure.

In the article of are shown graphic arts of results of influence of magnetized of water on the increase of escapes of seed of melon, on the index of active acidity and redox potential of water, on redox potential of juices: apple, carrots, pumpkin, mandarins.

**Key words:** water, juices, drinks, treatment, organoleptic estimation, electromagnetic field.

## ТРАНСПОРТ

УДК 656.025(045)

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/22>

**Бердниченко Ю.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Стрелко О.Г.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Коробка А.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Данилюк О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Сидоренко О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

## **ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

*Підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом вимагає від першої всебічного розвитку по всіх напрямках та відповідності високим європейським стандартам. Одним із важливих напрямів є розвиток транспортної системи країни, як в цілому, так і по окремих видах транспорту. Недостатньо висока якість послуг на залізничному пасажирському транспорті в даний час є актуальною проблемою, особливо з урахуванням існуючої конкуренції з боку автомобільного та водного транспорту. У сфері надання послуг на залізничному транспорті важливо враховувати, що при наданні послуг потреби пасажирів зростають і необхідний новий підхід. Тому ця стаття орієнтована на нові рішення, щодо автоматизації процесів обслуговування населення України, моніторингу та контролю сфери приміських пасажирських перевезень залізниць.*

*У статті проаналізовані можливості сучасних автоматизованих систем управління пасажирськими перевезеннями, встановлені напрями та послідовність впровадження автоматизованих систем у процес організації перевезень пасажирів залізничним транспортом. Окресленні основні напрями розширення й удосконалення функцій автоматизованої системи керування пасажирськими перевезеннями.*

*Ефективність та якість пасажирських перевезень значною мірою визначається використанням сучасних інноваційних підходів, таких як логістика та інформатизація. На залізницях України логістичні підходи широке застосування знайшли у сфері вантажних і міжнародних пасажирських перевезень, але не достатньо уваги приділяється збитковим зі значним обсягом приміським перевезенням. Застосування інноваційних підходів організації і технології пасажирських перевезень на базі розширення й удосконалення функцій існуючої автоматизованої системи надає широкі можливості підвищувати ефективність обслуговування пасажирів та функціонування пасажирського комплексу в цілому, та приміських перевезень зокрема.*

**Ключові слова:** ефективність, пасажирські перевезення, автоматизовані системи, інформаційне забезпечення, транспорт.

**Постановка проблеми.** Інтеграція в європейський інформаційний простір залізничних перевезень висуває нові вимоги до транспортного обслуговування пасажирів, які ґрунтуються на найбільш повному та якісному задоволенні

попиту на перевезення й одночасно на забезпеченні ефективного функціонування і сталого розвитку галузевих підприємств.

Програмне та інформаційне забезпечення постійно розвивається і удосконалюється відпо-

відно до змін технології пасажирських перевезень, що визначає Укрзалізниця, а також до розвитку методів та засобів створення сучасних інформаційних технологій. Це означає, що розвиваючи та удосконалюючи напрацьоване програмне забезпечення продажу проїзних (перевізних) документів на бланках та електронних, необхідно враховувати європейські тенденції розвитку мережі міжнародних систем електронного резервування місць.

Автоматизована система керування пасажирськими перевезеннями Укрзалізниці (АСК ПП УЗ) – складна система, що забезпечує наскрізну автоматизацію всіх взаємопов'язаних процесів технології пасажирських перевезень залізничним транспортом України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемам підвищення якості транспортного обслуговування пасажирів, розвитку логістики пасажирських перевезень, підвищення ефективності пасажирських перевезень на залізничному транспорті присвячували свої дослідження Аксьонов І.М., Бакалінський О.В., Габа В.В., Грушевська Т.М., Гудков О.М., Гудкова В.П., Дикань В.Л., Єлагін Ю.В., Жарська І.О., Коробйова Р.Г., Познякова О.В., Приймук О.Р., Ревуцька О.Є., Семенов О.В., Сич Є.М. та багато інших вчених [1–7].

**Постановка завдання.** Визначити ключові напрями удосконалення функцій існуючої системи автоматизації пасажирських перевезень та особливості їх реалізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Перша вітчизняна система «Експрес-1», яка частково автоматизувала всі квитково-касові операції, почала працювати в 1972 році. Вона призначалась для масового обслуговування пасажирів і стала першою системою колективного використання електронних обчислювальних машин на залізничному транспорті в режимі реального часу. Основною метою створення системи «Експрес-1» було отримання результатів в автоматизації управління квитково-касовими операціями.

Це значно полегшило працю касира: відпала необхідність в розрахунку вартості проїзду та заповненні бланків проїзних документів, стало не потрібно складати довгі звіти про продані документи і відпала необхідність у запам'ятовуванні відомостей про місця, переданих диспетчером. Таким чином, праця квиткового касира зводилась до роботи оператора, що працює за пультом.

Вже через 10 років була розроблена і введена удосконалена система «Експрес-2», що включала сукупність адміністративних технологічних, програмних і технічних засобів, спрямова-

них на значне поліпшення організації перевезень пасажирів та культури їх обслуговування.

Якщо система «Експрес-1» була призначена для комплексної автоматизації квитково-касових операцій у великих залізничних вузлах, то АСУ «Експрес-2» управляла продажем квитків і пасажирськими перевезеннями в масштабі регіонів (полігонів), що виділяються на мережі залізниць. У регіон мережі, що обслуговується однією АСУ «Експрес-2», може входити територія однієї або кількох залізниць. В цьому і полягає їх основна відмінність, хоча більшість принципів обробки замовлень є загальним.

Ефективність роботи АСУ «Експрес-2» в основному визначається трьома показниками: скороченням часу, що витрачається пасажиром на придбання квитків; поліпшенням використання місць в пасажирських поїздах; поліпшенням обслуговування пасажирів, що їдуть з пересадками і купують квитки на зворотний поїзд [8].

Вперше на залізницях України автоматизована система керування пасажирськими перевезеннями була введена в 1984 році на базі «Експрес 2».

Одним із етапів переходу від системи «Експрес-2» до АСК ПП УЗ ( у 1999 році на Південно-Західній залізниці), був той етап, при якому експлуатувалася система «Експрес-УЗ». У період із жовтня 2005 року по квітень 2006 року на всіх залізницях України було введено пусковий комплекс нової АСК ПП УЗ, а вже з квітня 2006 року всі залізниці стали працювати в єдиній автоматизованій системі керування пасажирськими перевезеннями (АСК ПП УЗ), на єдиному програмному забезпеченні, за загальною технологією почали оформлювати проїзні документи, отримувати фінансову звітність та накопичувати нормативно-довідкові дані. З березня 2007 року з'явилась можливість оформити у квитковій касі не тільки вартість проїзду, а й вартість постільної білизни. З червня 2011 року єдина АСК ПП УЗ була введена в постійну експлуатацію [9]. Такий факт обумовив ряд особливостей, які слід враховувати при функціонуванні залізничного транспорту: своє законодавство у частині тарифної політики, податків, використання національної мови для забезпечення незалежної від іноземних спеціалістів автоматизації виробничих процесів, урахування особливостей структури залізничного транспорту України, організація пасажирських перевезень, місце розташування країни в Європі та інші. Метою створення АСК ПП УЗ є забезпечення виконання головного завдання залізничного

транспорту України, задоволення потреб населення в перевезеннях, створення безпечних та комфортних умов перевезення та обслуговування пасажирів за рахунок застосування інформаційних технологій і мереж, що працюють у режимі реального часу, автоматизації більшості процесів, які щоденно відбуваються в пасажирському господарстві залізниць України.

АСК ПП УЗ, що прийшла на зміну автоматизованим системам «Експрес-2» та «Експрес-УЗ», забезпечує обслуговування пасажирів щодо проїзних документів, у тому числі бронювання місць та продаж квитків на пасажирські поїзди, працює на потужному серверному комплексі IBM Z9 та дає можливість обслуговувати сотні запитів за секунду з мінімальною затримкою [10].

На залізницях України логістичні підходи широке застосування знайшли у сфері вантажних і міжнародних пасажирських перевезень, але не достатньо уваги приділяється збитковим зі значним обсягом приміським перевезенням.

За останні роки проведено заходи щодо підвищення доходності від приміських залізничних перевезень, але вони хоча і мали певні результати, проте не вирішували проблем, тому що в більшості випадків порушували один з основних принципів логістичного підходу – орієнтацію на вимоги споживача.

Особливостями приміських перевезень, які здійснюють вплив на організацію руху приміських поїздів, є:

- концентрація приміських перевезень у великих адміністративних та промислових центрах країни;
- масовість перевезень з великим числом поїздок на одного пасажера в рік;
- перевезення здійснюються на короткі відстані;
- різке падіння пасажиропотоку на ділянці в міру віддалення від головної станції;
- нерівномірність перевезень по сезонах року, днях тижня і по годинах доби;
- постійний потік пасажирів;
- наявність між зонної кореспонденції пасажиропотоків;

Ці особливості висувають наступні вимоги до організації приміського руху:

- встановлення достатніх розмірів руху як у цілому за добу, так і по годинах доби;
- зручний для пасажирів розподіл приміських поїздів у часі;
- необхідність улаштування зонних станцій обороту приміських поїздів.

Приміські пасажиропотоки мають особливі ознаки, які втілюють в собі масовість, нерівномірність розподілу по зонам, порам року, дням та годинам доби. У багатьох великих містах добовий потік пасажирів вимірюються десятками тисяч, обслуговування яких потребує значних розмірів руху приміських поїздів.

Основне навантаження як у плані обсягу перевезень, так і в фінансовому приходиться на залізничний транспорт, через те що він забезпечує доступний для різних соціальних категорій громадян тариф, надає можливість пільгового проїзду та інші послуги.

При цьому залізничний приміський транспорт відчуває дефіцит коштів через неповне фінансування з боку місцевих бюджетів.

Серед основних проблем сектору приміських перевезень, які потребують нагального вирішення, можна виділити:

- 1) застаріла матеріально-технічна база для організації приміських транспортних перевезень (зношеність поїздів та устаткування);
- 2) відсутність автоматизованого обліку витрат на приміські перевезення;
- 3) відсутність контролю продажу та обліку пільгових проїзних документів;
- 4) відсутність автоматизованого обліку завантаження маршрутів.

Для вирішення основних проблем сектору приміських перевезень необхідно:

Запропонувати нові підходи в схемі транспортного обслуговування залізничних приміських пасажирських перевезень;

Створити та ввести в експлуатацію автоматизовану систему керування приміськими перевезеннями, яка б дала змогу;

1. з єдиного центру керування проводити конфігурацію та моніторинг перевезень, включаючи контроль за розкладом та тарифами;
2. контролювати у реальному часі об'єми перевезень та завантаженість поїздів;
  - автоматизувати процес продажу квитків, включаючи пільгові проїзні документи.

Згідно Концепції Міністерства праці та соціальної політики України щодо створення та впровадження автоматизованої системи надання соціальних гарантій, пільг, послуг та виплат населенню на основі застосування електронної карти «Електронне соціальне посвідчення» (Протокол від 16.09.2010 № 8), одним з основних засобів електронної соціальної карти має бути апаратно-програмний комплекс, який би забезпечував персоніфікований облік наданих соціальних послуг.



Єдина система керування міжміськими перевезеннями дозволить вести облік соціальних послуг, а саме послуг із надання пільгових проїзних документів власникам соціальної карти.

Система дозволить контролювати та заносити до центральної бази даних інформацію про продаж пільгових проїзних документів в касах, терміналах самообслуговування та мобільних терміналах. Видача пільгових проїзних квитків повинна здійснюватися після пред'явлення соціальної картки.

Система дала б можливість:

1. Контролювати об'єми льотних перевезень.
2. У реальному часі надавати інформацію про об'єми наданих пільг.
3. Організувати персоналізований облік пільгових перевезень, з метою майбутнього переходу на моніторизацію пільг, заплановану урядом (концепція Мінпраці щодо створення та впровадження електронної карти «Електронне соціальне посвідчення» (Протокол від 16.09.2010 № 8).
4. Автоматизувати підготовку документів на відшкодування пільг відповідними бюджетами та пільгами.
5. У майбутньому організувати автоматичне відшкодування з бюджетів витрат на пільгові перевезення.

Система являє собою централізоване програмне рішення, яке підтримує генерацію і вивантаження звітів як періодично, так і за запитом, містить у собі всі дані про поточний стан міжміських перевезень, завантаженість маршрутів та необхідну фінансову інформацію.

Основним об'єктом автоматизації є комплексний процес обслуговування пасажирів приміського залізничного транспорту, який, у свою чергу, складається з наступних технологічних процесів: технологічні процеси продажу проїзних і перевізних документів та електронних проїзних карт:

- технологічний процес продажу та оформлення проїзних та перевізних документів на станціях, зупиночних пунктах, платформах;
- технологічний процес обліку, продажу та обробки (поповнення) електронних проїзних карт (ЕПК);
- технологічний процес продажу та оформлення проїзних та перевізних документів у поїздах;
- технологічний процес оформлення проїзних документів та електронних проїзних карт у бюро безкоштовних перевезень;
- технологічні процеси запобігання безквитковому проїзду:

- процес контролю доступу пасажирів на платформи;

- процес перевірки проїзних і перевізних документів та ЕПК у поїздах;

- процес аналізу ефективності контролю.

- технологічний процес збору фінансової і статистичної інформації;

- технологічний процес обробки та аналізу фінансової і статистичної інформації в центрах обробки пасажирських документів (ЦОП), в інформаційно-статистичних центрах залізниць та підрозділах залізниці, що являються користувачами АС ОППЗТ на рівні залізниці(пасажирська, локомотивна, фінансово-економічна служби, центри ревізій та інші);

- технологічний процес обліку руху бланків суворої звітності та ЕПК між підрозділами залізниць протягом усього їх життєвого циклу.

- технологічний процес підтримки працездатності технічного та програмного каркасу АСОППЗТ (мережа передачі даних, конфігурація технічного та системного програмного забезпечення АРМ, серверів та мікроелектронних пристроїв);

- технологічний процес керування нормативно-довідковою інформацією;

- технологічний процес керування технічним каркасом системи;

- перелік каркасних підсистем АСОП).

Цілі створення системи:

1. Підвищення якості обслуговування пасажирів за рахунок спрощення та прискорення процедур оплати проїзду.

2. Підвищення прибутковості приміських перевезень.

3. Зменшення обсягів ручної праці з боку обслуговуючого персоналу підприємств залізничного транспорту.

4. Створення умов для отримання детальної інформації про перевезення пасажирів, як джерела для прийняття управлінських рішень.

5. Створення умов та дієвого інструменту для повного обліку пільгових перевезень та послуги обґрунтованого механізму відшкодувань недоотриманих коштів.

6. Спрощення процедур отримання фінансової та статистичної звітності.

7. Максимальне використання ресурсів існуючих мереж передачі даних для сумісного використання підсистемами та комплексами задач автоматизованих систем обслуговування пасажирів.

8. Надання пасажиром широким можливостей щодо придбання проїзних та перевізних

документів (квитків), електронних проїзних карток на поїзди приміського сполучення залізничного транспорту з використанням будь-яких платіжних засобів, спрощення та автоматизація процесів продажу послуг обслуговуючим персоналом.

9. Сприяння створенню ефективного режиму запобігання безквитковому проїзду та незаконному використанню пільгових і службових посвідчень за допомогою розвинених засобів контролю.

10. Оформлення та реєстрації відповідно до чинного законодавства розрахункових операцій при продажу проїзних і перевізних документів для проїзду у приміському залізничному транспорті.

11. Усунення людського фактору та автоматизація процесів контролю доступу на платформи та запобігання безквитковому проїзду пасажирів.

12. Автоматизація процесів збору і обробки фінансової та статистичної інформації.

13. Зменшення рівня зловживань з боку обслуговуючого персоналу, причетного до розрахункових операцій, та підсилення контролю за дотриманням технології обліку коштів.

Для продажу квитків, отримання грошової виручки, контролю доступу на залізничному тран-

спорті України, в тому числі і на Південно-Західній залізниці, запроваджена система АС ОППЗТ. Її структурна схема наведена на рис. 1.

Функціональність системи повинна забезпечувати найбільш можливий контроль або моніторинг чинників, які впливають на прибутковість приміських перевезень.

Далеко не всі функції системи зараз реалізовані, а саме:

- повинен бути забезпечений якісний зворотній інформаційний зв'язок із процесом обслуговування пасажирів;
- повинно бути забезпечене оформлення розрахункових операцій у повній відповідності вимогам законодавства у галузі застосування реєстраторів розрахункових документів та нормативно-технічним документам Державної податкової адміністрації;
- повинні бути надані широкі можливості пасажирам щодо придбання проїзних і перевізних документів на станціях та у поїздах;
- пасажири повинні бути забезпечені можливістю оплати різними платіжними засобами;
- придбання квитків для пасажирів повинно бути зручним;

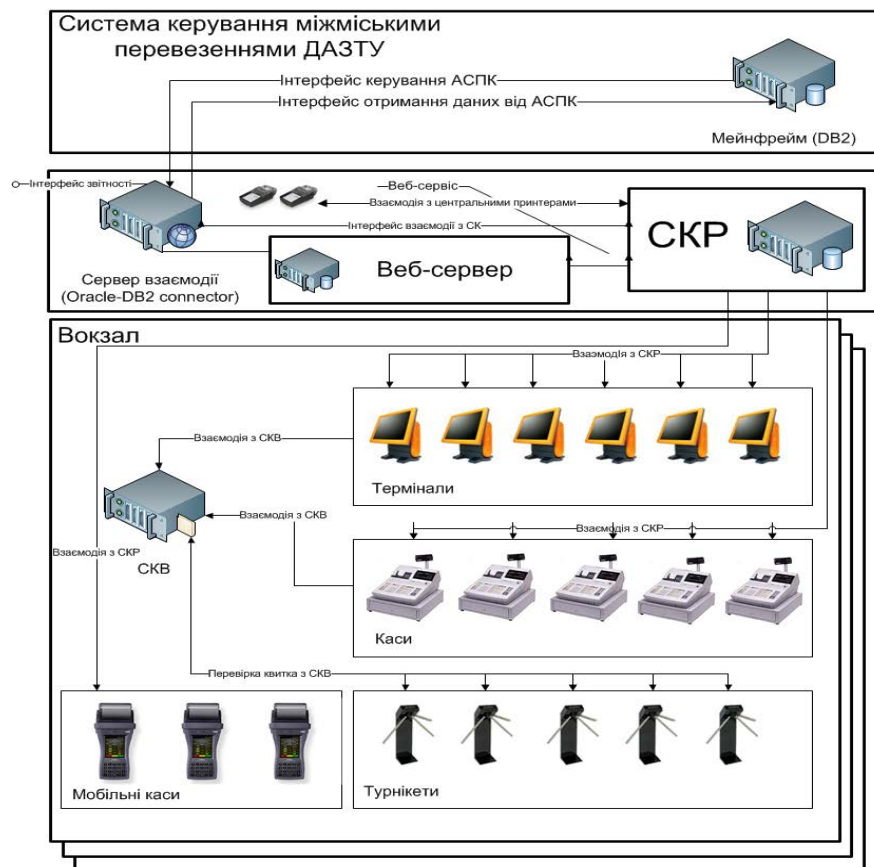


Рис. 1. Структурна схема системи АС ОППЗТ

– повинен бути забезпечений ефективний контроль проїзних квитків у поїздах та/або на платформах;

– повинні бути мінімізовані зловживання з боку працівників, що здійснюють продаж квитків;

– повинно бути забезпечено документально обґрунтований персоніфікований облік пільгових перевезень;

– повинні бути забезпечені інструменти для мінімізації використання пасажиромі фальшивих, чужих та недійсних службових або пільгових посвідчень.

**Висновки.** Підсумовуючи результати дослідження слід ще раз підкреслити, що в сучасних умовах на базі розширення й удосконалення функцій АС ОППЗТ надає широкі можливості

підвищувати ефективність обслуговування пасажирів і функціонування пасажирського комплексу в цілому, зокрема приміських перевезень. Зважаючи на значні кроки у напрямі запровадження ІТ у сфері пасажирських перевезень, враховуючи здобуті досягнення щодо автоматизації процесів управління перевезеннями та обслуговування пасажирів, існуюча в Україні система реалізації проїзних документів потребує подальших змін. На етапі галузевого розвитку з метою приведення рівня надання транспортних послуг до міжнародних стандартів якості, пріоритетними шляхами вдосконалення інформаційних технологій є покращення та повна реалізація функцій АС ОППЗТ щодо моніторингу та контролю сфери приміських пасажирських перевезень залізниць.

### Список літератури:

1. Аксенов І.М. Эффективность пассажирских железнодорожных перевозок: монография. Киев : Транспорт Украины, 2004. 284 с.
2. Габа В.В., Грушевська Т. М., Костюшко В.П. Дослідження впливу технології та організації залізничних приміських перевезень на їхні обсяги в умовах конкуренції. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія : Транспортні системи і технології*, 2016. Вип. 28. С. 223–233.
3. Гудков О.М., Бердніченко Ю.А., Поздняков А.А., Позднякова О.О. Логістичний підхід у створенні ефективного механізму управління пасажирськими перевезеннями. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія : Транспортні системи і технології*, 2015. Вип. 26–27. С. 262–267.
4. Гудкова В.П. Методологія забезпечення ефективної діяльності підприємств сфери пасажиро-перевезень : монографія. Київ : ДЕГУТ, 2013. 291 с.
5. Жарська І.О. Інформаційні системи й технології в системі маркетингу залізничного транспорту. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, 2013. № 1. С. 100–111.
6. Самсонкин В.М., Гудков А.М. Пути повышения эффективности пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. *Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Сер. Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*, 2003. Вип. 4. С. 135–142.
7. Дикань В.Л., Єлагін Ю.В. Інформаційні технології підвищення ефективності пасажирських перевезень. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 2015. № 52. С. 107–110.
8. Данько М.І., Ходаківський О.М., Серебринська Т.А., Кілович М.М., Матвійчук В.Л., Матвійчук Л.С. Дослідження особливостей інформатизації залізничного транспорту. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*, 2010. Вип. 112. С. 89–95.
9. Південно-Західна залізниця. «Експрес-2» – «Експрес-УЗ». Історія не закінчується [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://swrailway.gov.ua/rabslovo/?aid=924>.
10. ДП «Головний інформаційно-обчислювальний центр Укрзалізниці». Найважливіші автоматизовані системи та комплекси [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://gioc.uz.gov.ua/>.

**Berdnychenko Yu.A., Strelko O.H., Korobka A.A., Danyliuk O.V., Sydorenko O.V.**

### INNOVATIVE APPROACHES IN THE ORGANIZATION OF SUBURBAN PASSENGER TRAFFIC

*The signing of the Association Agreement between Ukraine and the European Union requires from the first comprehensive development in all areas and compliance with highest European standards. One of the important directions is the development of the country's transport system, as a whole and for individual modes of transport. Insufficiently high quality of services on railway passenger transport is currently an urgent problem, especially in view of the existing competition from road and water transport.*

*In the field of railway services, it is important to consider that when providing services, passenger needs are growing and a new approach is needed. Therefore, this article is focused on new solutions for automating the processes of servicing the population of Ukraine, monitoring and controlling the sphere of suburban passenger transportation on railways.*

*The article analyzes the capabilities of modern automated passenger transportation control systems, the established directions and the sequence of implementation of automated systems in the process of organizing passenger transportation by railways. The main directions on expansion and improvement of the functions of the automated passenger transportation management system have been outlined.*

*The efficiency and quality of passenger transportation is largely determined by the use of modern innovative approaches, such as logistics and informatization. Logistic approaches have been widely used on the railways of Ukraine in the field of freight and international passenger traffic, but insufficient attention is paid to a highly unprofitable suburban traffic. The application of innovative approaches and organization of passenger transport techniques based on expanding and improving the functions of the existing automated system provides ample opportunities to increase the efficiency of passenger service and operation of passenger transport in general and suburban traffic in particular.*

**Key words:** *efficiency, passenger traffic, automated systems, information support, transport.*



**Бражник И.Д.**

Национальный университет «Одесская морская академия»

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЕНТИЛЯЦИИ ГРУЗОВЫХ ТРЮМОВ ТАНКЕРА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

*У статті розглянута суднова технологічна операція, яка пов'язана з вентиляванням вантажних трюмів танкера за допомогою інертних газів і відповідно до міжнародного законодавства є обов'язковою. Таку процедуру необхідно виконувати кожен раз при отриманні судном нового типу вантажу.*

*Вентиляція трюмів в силу специфічних особливостей самого процесу і присутності на судах різних технічних проблем проводиться неякісно. Вона характеризується підвищеною тривалістю і дуже малою ефективністю. У більшості випадків такі недоліки відображаються у дуже значній тривалості процесу видалення повітря з вантажного трюму танкера, а також присутністю залишкової концентрації повітря вище встановлених міжнародним законодавством меж.*

*У статті показано, що під час науково-дослідних робіт було запропоновано використання процесу примусової вентиляції трюму за рахунок нової технології подачі інертних газів у трюм судна. Аналіз такого процесу вентиляції вантажного трюму танкера було проведено на підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень в реальних умовах роботи судна.*

*Встановлено, що створення безпечної мікроатмосфери з пожежної та вибухової точки зору всередині вантажного трюму танкера при проведенні вантажних операцій може досягатися за більш короткий період часу. Використання примусових механізмів збільшення швидкості процесу масообміну повітря і інертних газів базується на використанні технології подання інертних газів у вигляді струменів.*

*Показано, що при вентиляції трюму примусова подача інертних газів повинна ґрунтуватися на розподілі поля температур і структурі потоку, що рухається з невисокими швидкостями всередині жорстких стінок трюму, що обмежують його. Подача струменів інертних газів в ядро потоку, що витікає, призводить до турбулізації сталої течії в середній частині вантажного трюму танкера і скорочує час процесу його вентиляції.*

**Ключові слова:** танкер, система інертних газів, примусова вентиляція, концентрація кисню, вантажний трюм.

**Постановка проблеми.** Эксплуатация танкера всегда подразумевает использование процесса вентиляции его грузовых трюмов. Реализация этого процесса на судне обеспечивает главные требования к созданию и поддержанию безопасной с точки зрения возникновения пожаров и взрывов микроатмосферы в грузовых трюмах. На всех танкерах этот процесс является предварительным перед операцией получения нового груза. Использование системы инертных газов (ИГ) является обязательным и с 1978 года регламентируется решением ИМО [1, с. 457].

Все технологические контуры производства, обработки и подачи ИГ, входящие в систему ИГ танкеров являются универсальными. Они содержат однотипное оборудование и магистрали. По этой причине технические проблемы, возникающие при их эксплуатации, являются идентичными. Для их описания была разработана универсальная классификация. Она показана на схематическом рисунке 1 и состоит из трех направлений.

Первое направление – техническое. Оно определяется несовершенством конструкций используемых технических устройств. Второе направление – технологическое. Оно определяется проектировочными просчетами, а также наличием сильных недостатков в используемых технологиях подачи ИГ внутрь рабочего объема грузового трюма. Третье направление – метрологическое. Оно определяется качеством используемых средств измерения и контроля. В него также входят аварии, связанные с личностным фактором со стороны экипажа танкера.

При изучении причин аварий, возникавших в системах ИГ на танкерах, был выполнен анализ аварийных отчетов. В результате установлено, что наиболее часто, возникающие на танкерах проблемы связаны с техническими недостатками системы ИГ. К этим недостаткам относятся: плохая сепарация топлива и, как следствие, слабая фильтрация тяжелых фракций в сжигаемом мазуте, что выражается в уменьшении производимых

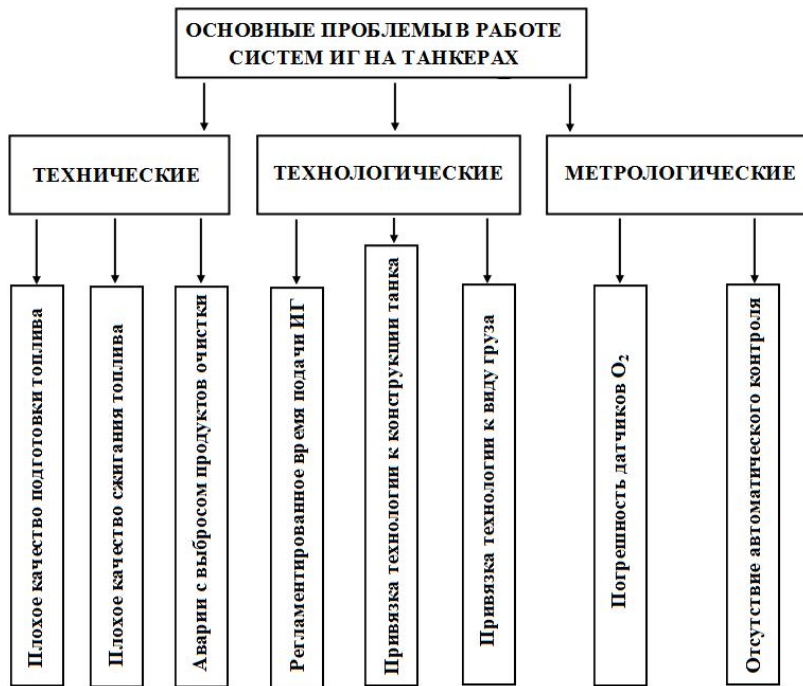


Рис. 1. Классификация проблем системы ИГ на танкерах

объемов ИГ и срыву процесса горения в рабочей камере генератора ИГ; некачественное сжигание топлива в генераторе ИГ, что выражается в повышенном генерировании сажи и заниженных объемах получаемого основного продукта горения в виде углекислого газа  $\text{CO}_2$ .

Устранение этих недостатков может быть проведено за счет совершенствования перечисленных технологических узлов. Возможна также модернизация системы подготовки топлива за счет установки дополнительного оборудования в линии предварительной подачи топлива.

Анализ технологических недостатков в работе систем ИГ на танкерах показал, что процесс создания пожаро- и взрывобезопасной микроатмосферы внутри трюма проводится с экономической точки зрения не эффективно. Самым главным недостатком является завышенная продолжительность процесса вентиляции.

Главной причиной большой продолжительности процесса вентиляции грузовых трюмов танкера является несовершенство используемых технологий. Вытеснение воздуха из всего рабочего объема трюма происходит только за счет процессов естественной конвекции и диффузии [2, с. 12; 3, с. 27; 4, с. 11]. Решение этих проблем может быть достигнуто путем исследования процесса вентиляции грузового трюма танкера за счет использования принудительных механизмов увеличения скорости процесса массообмена воздуха и ИГ.

С учетом вышеизложенного можно констатировать, что в работе своего решения требует очень актуальная проблема. Она заключается в разработке новых принципов функционирования системы генерирования и подачи ИГ в грузовые трюмы танкеров. Именно эти газы обеспечивают существенное повышение качества эксплуатации судна за счет изменения технологии вентиляции трюмов и снижении аварий, связанных с качеством и длительностью работы таких систем.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Основные принципы работы системы ИГ на танкерах базируются на сжигании дизельного топлива в генераторе ИГ. Он является отдельным устройством, которое не связано с судовым контуром подготовки топлива.

Получаемые при функционировании генератора ИГ продукты сгорания после проведения ряда операций по их очистке и снижению температуры направляются в грузовые трюма танкера.

В соответствии с Требованиями MORPOL [1, с. 457] система подачи ИГ должна обеспечивать в грузовых трюмах танкера: концентрацию кислорода в ИГ менее 5%; температуру ИГ – менее  $65^\circ\text{C}$  при подаче в грузовые трюма и менее  $50^\circ\text{C}$  при подаче в сухогрузные трюма; давление ИГ в точке входа в трюм не менее 0,11 МПа.

Восходящее вынужденное движение воздуха в трюме танкера всегда вызывается действием выталкивающей силы от подаваемых в трюм ИГ. Эта сила появляется из-за изменения плотности вследствие взаимосвязанных между собой процессов теплопереноса и передачи массы из-за различных концентраций ИГ и воздуха [5, с. 102]. Температурная стратификация потока ИГ в смеси с воздухом по высоте трюма также является одним из факторов, влияющих на скорость вытеснения воздуха из трюма судна [6, с. 107]. Именно она реализует механизм передачи энергии от ИГ к воздуху.

В работах [2, с. 215; 4, с. 357; 8, 132; 9, с. 97; 11, с. 168] показано, что в случае вынужденной конвекции поле течения в замкнутом объеме перестает зависеть от механизмов теплопередачи и текущего поля температур. Этот вывод указывает на целесообразность использования принудительной подачи ИГ в трюм судна.

В большинстве научных работ по теории конвекции обычно рассматриваются процессы тепло-массопереноса в неограниченной области без присутствия жестких границ [4, с. 29; 9, с. 45; 10, с. 19]. Только небольшое число работ описывает процесс смешанной конвекции или диффузии газов в замкнутых объемах, когда стенки, ограничивающие поток, оказывают существенное нестационарное влияние на механизм процесса переноса тепла или массы [3, с. 489; 5, с. 99; 6, с. 106; 11, с. 25]. В этих работах в основном рассматриваются потоки внутри цилиндрических труб или между плоскими вертикальными и горизонтальными стенками с различной температурой. Для решения проблемы вентиляции грузовых трюмов танкера со сложной формой поперечного сечения эти результаты подходят только в первом приближении.

В применении к вентиляции грузового трюма ИГ наиболее близкими являются результаты работы [5, с. 9]. В ней рассмотрена тепловая конвекция в трехмерном прямоугольном объеме с открытым верхом в диапазоне чисел Рэлея от 100 до  $10^8$ . Экспериментальным путем [5, с. 9] установлено, что:

1) при числах Рэлея  $Ra < 10^3$  в прямоугольном объеме возникает одна ячейка со слабой стационарной циркуляцией. Жидкость, нагретая у стенки, поднималась вверх, а затем опускалась вниз около холодной стенки. По ширине всего объема течение было направлено только вертикально (исключая повороты вблизи верхней и нижней границ);

2) при числах Рэлея  $10^3 < Ra < 10^5$  градиент температуры вблизи стенок возрастал, а во внутренней области течения оставался постоянным. Распределение скорости для чисел Рэлея от  $3 \cdot 10^4$  до  $3,6 \cdot 10^6$  характеризуется вертикальной симметричностью. Рост числа Рэлея свидетельствует о пространственном увеличении по ширине зоны ядра потока.

В работах [4, с. 247, 5, с. 100, 6, с. 115] в качестве нижней границы возникновения вторичных течений в замкнутом прямоугольном объеме приводятся различные числа Рэлея. Диапазон разброса полученных значений составляет от  $Ra = 2,1 \cdot 10^5$  до  $Ra = 3,9 \cdot 10^5$ . Более сложные структуры потока возникают согласно данным работы [5, с. 100] при числах Рэлея  $Ra > 10^6$ . В этом случае возникают многоячейстые структуры со слабыми сдвиговыми течениями на их границах.

В применении к процессу конвективно-диффузионного переноса ИГ в судовых грузовых

трюмах важными являются результаты работы [6, с. 106]. В ней показано, что во время процесса термогравитационной конвекции все коэффициенты переноса являются постоянными и не зависят от температуры.

Анализ приведенных работ показал, что продолжительность процесса вытеснения воздуха из грузовых трюмов судна напрямую определяется такими параметрами, как скорость подачи струй ИГ и число Прандтля  $Pr$ . Чем выше их значения, тем сильнее будет конвективный перенос, возрастание архимедовой силы и величина эжекции воздуха вдоль оси действия струи ИГ.

**Цель работы** заключается в повышении эксплуатационных характеристик танкеров путем совершенствования системы генерирования и технологии подачи инертных газов в грузовые трюма танкера.

**Изложение основного материала.** В ходе теоретических исследований процесса вытеснения воздуха из трюма танкера за счет подачи ИГ установлено, что при использовании принудительной вентиляции возможно получить сильное восходящее течение воздуха. Этот результат является автомодельным и при изменении объемного расхода подаваемых ИГ или размеров судового грузового трюма с учетом сохранения его геометрического подобия будет оставаться всегда неизменным. Получаемые конфигурации поля скорости и поля давления также будут оставаться идентичными.

Подача ИГ моделировалась конической струей. Ее источник располагался в центре дна трюма, что в расчетах соответствовало середине нижней границы расчетной области. Длина факела струи за счет граничных условий задавалась равной пяти процентам от высоты трюма.

Принудительная подача ИГ в трюм танкера для его вентиляции должна основываться на структуре движущегося с невысокими скоростями потока воздуха внутри ограничивающих его жестких стенок грузового трюма. Поскольку основное изменение в эпюрах скорости, завихренности и температуры наблюдается только в угловых зонах грузового танка то при проведении экспериментов подача струй ИГ производилась в ядро восходящего воздушного потока. В этом случае турбулизация устойчивого течения в средней части грузового трюма танкера приводила к сокращению времени процесса его вентиляции.

В ходе экспериментов, проведенных в условиях работы танкера, во время принудительной подачи ИГ были измерены значения величины

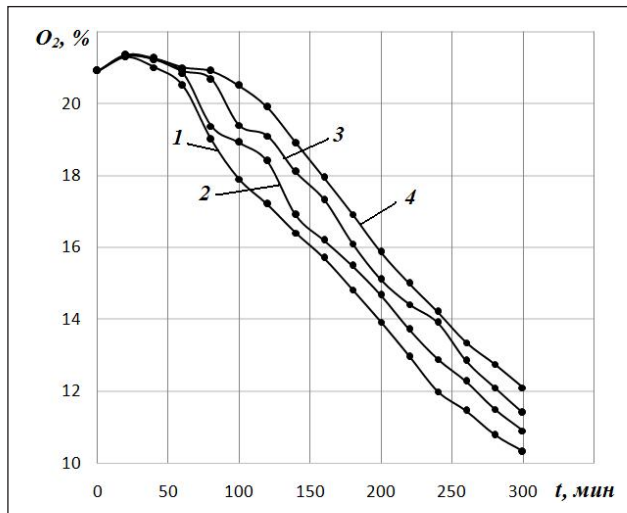


Рис. 2. Скорість змінення концентрації кисню в трюмі. Угол конусності струї ІГ: 1 – 30°; 2 – 90°; 3 – 160°; 4 – стандартна подача ІГ

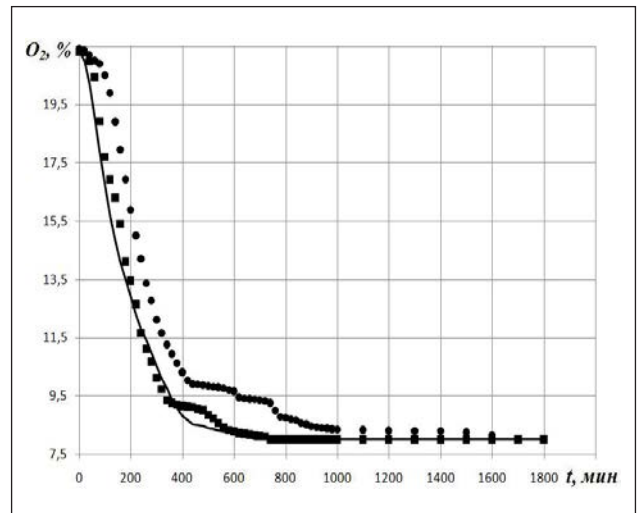


Рис. 3. Змінення концентрації кисню в трюмі танкера. Подача ІГ: ● – стандартна; ■ – примусовий; сплошна лінія – розрахунок

концентрації кисню на виході з грузового трюма. Вимірювання проводились одночасно в шести грузових трюмах. На рисунку 2 приведені графіки, які відповідають усередненню цих даних. Як видно на графіку найкращі результати були отримані при куті розпилення ІГ рівним 30°. В цьому випадку значення концентрації кисню всередині трюма були найменшими. Це пояснюється більшою дальністю дії струї вдуваних ІГ і відповідно збільшенням зони конвективного взаємодіяння ІГ з повітрям. Як видно на рис. 2 характер змінення концентрації кисню всередині трюма в усіх чотирьох випадках залишався ідентичним. Цей результат дозволяє зробити висновок, що вплив кутів розкриття струй ІГ на характер витіснення повітря з трюма не є основним, а сам процес залежить в основному від ступеня щільної стратифікації ІГ всередині робочого простору трюма.

В ході експериментів була отримана залежність, що відображає характер зменшення в часі концентрації кисню в трюмі судна при примусовій подачі ІГ. Її порівняння зі стандартною вентиляцією трюма танкера і результатами розрахунків на основі математичної моделі показано на рисунку 3. Експериментальні дані на цьому графіку, були отримані одночасно, коли два трюма заповнювались ІГ за стандартною технологічною схемою і з використанням примусової вентиляції.

Аналіз результатів показує, що використання примусової подачі призводить до кількісному, а не якісному розходженню в

зміненнях в часі концентрації кисню всередині трюма. Використання процесу примусової подачі ІГ призвело до отримання самого головного і основного результату – скорочення часу, витрачаємого на вентиляційну обробку трюмів танкера перед отриманням нового вантажу. На графіку видно, що розходження між кривими починається через 80 хвилин після початку процесу вентиляції трюма. Вихід на стаціонарне значення концентрації кисню менше 8% спостерігається через 740 хвилин після початку процесу вентиляції трюма. Аналогічна величина концентрації в ході природної вентиляції трюма за цей період часу була більшою і становила 9,25%. Її вихід на стаціонарне значення спостерігався приблизно через 1700 хвилин після початку процесу вентиляції трюма. В процентному відношенні покращення процесу вентиляції трюма при переході від природної до примусової вентиляції трюма становило 13,5%. Скорочення витраченого часу при інших рівних умовах становило 56,47%.

**Висновки.** 1. Однотипність технологічних контурів і обладнання, використовуємого для виробництва, обробки і подачі ТГ на танкерах проявляється в ідентичності технічних проблем, що виникають при їх експлуатації.

2. На танкерах цілесообразно використовувати примусову подачу ІГ в трюмі судна з кутом розпилення в сопловій насадці рівним 30°. Через збільшення зони конвективного взаємодіяння ІГ з повітрям значення концентрації кисню всередині трюма будуть найменшими.



3. Использование процесса принудительной подачи ИГ приводит к сокращению времени вентиляционной обработки трюмов танкера на 56,47%.

4. Основная направленность дальнейших исследований должна быть связана с совершен-

ствованием системы подготовки топлива, используемого в судовом генераторе инертных газов. Повышение степени диспергирования может быть достигнуто за счет использования процесса кавитационной обработки топлива перед его сжиганием.

#### Список литературы:

1. Гидрогазодинамика и процессы теплопереноса: Сб. науч. тр. / Ред. кол. Н.Д. Коваленко. Киев : Наукова думка, 1986. 152 с.
2. Годштик М.А., Штерн В.Н., Яворский Н.И.. Вязкие течения с парадоксальными свойствами. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1989. 336 с.
3. Андерсон Дж. Таннехилл Р. Плетчер. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. М. : Мир, 1990. Т. 1-2. 726 с.
4. Джалаурия Й. Естественная конвекция. Тепло- и массообмен. М. : Мир, 1983. 400 с.
5. Elder J.W. Turbulent free convection in a vertical slot. Journal of fluid mechanics. March 2006. Volume 23. Issue 1. pp. 99–111.
6. Eckert E.R.G., Carlson W.O. Natural convection in an air enclosed between two vertical plates with different temperatures. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2 (1961), 2, pp. 106–120.
7. Международная конвенция MARPOL 73/78.
8. Теплофизические свойства технически важных газов при высоких температурах и давлениях : Справочник / В.Н. Зубарев, А.Д. Козлов, В.М. Кузнецов и др. М. : Энергоатомиздат, 1989. 232 с.
9. Белов И.А. Моделирование турбулентных течений / Белов И.А., Исаев С.А. // СПб. Судостроение. 2001, 108 с.
10. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. Г.Н. Абрамович. М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. 715 с.
11. Абрамович Г.Н. Турбулентное смешение газовых струй / [Г.Н. Абрамович, С.Ю. Крашениников, А.Н. Секундов, И.П. Смирнова]. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1974. 272 с.

#### **Brazhnik I.D. MODERNIZATION OF THE VENTILATION PROCESS OF THE TANKER CARGO HOLDS WITH THE AID OF THE INERT GAS SYSTEM**

*In the article ship technological operation was considered. It is connected with the ventilation process of the cargo holds of the tanker by means of inert gases and in accordance with international law is obligatory. This procedure must be performed each time when ship receives a new type of cargo. Due to the specific features of the process and the presence of various technical problems on the vessels, the ventilation of the holds is provided with low quality. It is characterized by high duration and very low efficiency. In most cases, such shortcomings are reflected in the very long duration of the process of air remove from the cargo hold of the tanker, as well as the presence of residual air concentrations above the levels established by international law.*

*It is shown in the article that during the research works it was proposed to use the forced ventilation of the hold due to the new technology of supplying inert gases to the hold of the vessel. The analysis of this ventilation process of tankers cargo holds was carried out on the basis of the results of theoretical and experimental studies in the real conditions of the vessel operation.*

*It is stated that the safe micro-atmosphere creation, from a fire and explosive point of view, inside the cargo hold of the tanker during cargo operations can be achieved in a shorter period of time. The use of forced mechanisms to increase the speed of the process of mass exchange of air and inert gases is based on the use of inert gas submission technology in the form of jets.*

*It is shown that the forced ventilation of the hold must be based on the distribution of the temperature field and the structure of the flow, that is moving at low speeds inside the rigid walls of the hold, which limit it. The flow of inert gas jets into the core of the flow causes a turbulence in a steady flow in the middle area of the tanker's cargo hold and shorten its ventilation process.*

**Key words:** tanker, inert gas system, forced ventilation, oxygen concentration, cargo hold.

**Кожушко А.П.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ РУХУ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ З АГРЕГАТАМИ ЗМІННОЇ МАСИ

Сьогодні колісні трактори використовуються в агропромисловому комплексі держави під час як виконання транспортних робіт, так і технологічних робіт. Це зумовлено загальною функціональністю цих транспортних засобів. До складу транспортних робіт у будь-якому фермерському угідді входить перевезення рідких вантажів тракторними цистернами. Ці цистерни мають від'ємність порівняно з автомобільними – це відсутність внутрішніх перегородок усередині цистерни. Така конструктивна особливість зумовлена меншою транспортною швидкістю тракторних перевезень, ніж автомобільних. З постійним нарощуванням продуктивності перевезень рідких вантажів виникає проблема, а саме – виникнення суттєвих власних коливань рідини, що впливає на експлуатацію під час руху колісного трактора та цистерни. Рух рідини в тракторній цистерні призводить до поздовжньої та поперечної нестабільності, що сприяє підвищенню як енергетичних витрат, так і аварійних ситуацій (відбувається вплив на вібрацію, керованість і стійкість транспортного засобу, підвищення динамічної навантаженості ходової системи тощо). Метою роботи є представлення методики експериментального дослідження визначення динамічних характеристик руху колісного трактора з агрегатами змінної маси (причипними та напівпричипними тракторними цистернами). Окрім того, виконання спектрального аналізу отриманих експериментальних даних, який надасть інформацію щодо наявності резонансних частот під час руху трактора. Під час вирішення поставленої мети використовувалась методика, яка передбачала проведення експериментальних досліджень визначення динамічних характеристик під час виконання транспортної роботи перевезення рідких вантажів причипними та напівпричипними тракторними цистернами. Для фіксації експериментальних даних використовувався вимірювально-реєстраційний комплекс, до складу якого входили чотири акселерометри Freescale Semiconductor моделі MMA7260QT та безконтактний (радіолокаційний) датчик для вимірювання зміни дійсної швидкості транспортного засобу. Як результат, отримано дані експериментального дослідження, на основі яких стає можливим підтвердження теоретичних викладок автора з попередніх робіт, а саме: встановлення значень резонансних частот транспортного засобу під час аналізу вільних коливань трактора з агрегатами змінної маси. Практична значення роботи полягає в підтвердженні теоретичних з експериментальними значеннями резонансних частот транспортного засобу. Резонансні частоти з експериментальних даних лінійних прискорень (вертикальних і горизонтальних) отримано шляхом використання спектрального аналізу та побудови амплітудно-частотної та фазочастотної характеристик.

**Ключові слова:** колісний трактор, цистерна, коливання рідини, експериментальні дослідження, спектральний аналіз.

**Постановка проблеми.** Використання колісних тракторів під час виконання транспортних робіт в агропромисловому комплексі держави досить популярне. Це зумовлено багатофункціональністю виконання сільськогосподарських робіт. До складу транспортних робіт у будь-якому фермерському угідді входить перевезення рідких вантажів тракторними цистернами. Ці цистерни мають від'ємність порівняно з автомобільними – це відсутність внутрішніх перегородок усередині цистерни. Така конструктивна особливість зумовлена меншою транспортною швидкістю тракторних перевезень, ніж автомобільних. Але сьогодні в умовах постійного нарощування продуктив-

ності тракторних агрегатів транспортна швидкість підвищується [1], що призводить до функціональної нестабільності транспортного засобу. Тому вирішення проблематики функціональної стабільності колісних тракторів під час виконання транспортних робіт з агрегатами змінної маси є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Є низка наукових робіт [2–6], які присвячені дослідженню характеристик робіт колісного трактора з агрегатами змінної маси. Зокрема, в роботах [2; 3] автори вирішують питання керованості та стійкості засобу з агрегатами змінною масою, додаткові енергетичні втрати таких

транспортних засобів [4], питання стабілізації роботи такого агрегату шляхом створення моделі визначення швидкості руху [5; 6]. Отже, з упевненістю можна стверджувати, що дослідження руху колісного трактора з агрегатами змінної маси є доцільним.

Розгляд динамічних характеристик у контексті побудови лінеаризованої та нелінійної математичної моделі руху трактора з цистерною наведено в роботах [7–9]. Але отримані теоретичні залежності повинні бути підтверджені експериментальним шляхом. Це твердження зумовлює мету роботи.

**Постановка завдання.** Метою статті є представлення методики експериментального дослідження визначення динамічних характеристик руху колісного трактора з агрегатами змінної маси (причіпними (П) та напівпричіпними (НП) тракторними цистернами). Окрім того, виконання спектрального аналізу отриманих експериментальних даних, який надасть інформацію щодо наявності резонансних частот під час руху трактора.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Будь-які наукові виклади, які покликані вирішувати різного роду проблеми та завдання, повинні підтверджуватися експериментальними дослідженнями. В роботі [7] наведено динамічний аналіз колісного трактора під час виконання транспортної роботи з перевезення тракторних цистерн із рідиною. Динамічний аналіз ґрунтується на побудові лінеаризованої математичної моделі власних повздовжніх коливань, яка дає змогу оцінити наявність резонансних частот та аналізувати відповідні форми пов'язаних коливань транспортного засобу. На основі цього аналізу виділено групи вимушених коливань, наявність резонансних частот яких необхідно підтвердити експериментальним шляхом.

Об'єктами випробувань виступають (рис. 1):

– трактор John Deere 8310 (США) з номінальною потужністю двигуна внутрішнього згоряння 310 к.с. (228 кВт) в зчпці з П-цистерною МЖТ-16 (Білорусь) вантажопідйомністю 16 т;

– трактор ХТЗ-150К (Україна) з номінальною потужністю двигуна внутрішнього згоряння 129 к.с. (94,9 кВт) в зчпці з НП-цистерною МЖТ-10 (Білорусь) вантажопідйомністю 10 т.

Експериментальні дослідження проводилися у фермерських угіддях Харківської області, де як полігон обиралася ділянка укоченої ґрунтової дороги, яка мала довжину 200 м, а її нахил становив не більше 2%.

Порядок проведення експериментальних досліджень:

1. Зовнішнім оглядом перевіряється технічний стан колісних машин.

2. На колісний трактор встановлюється вимірювальна апаратура.

3. Встановлена вимірювальна апаратура проходить процес калібрування та перевіряється її працездатність після фіксування затискачами на елементи агрегатів трактора.

4. Виконуються пробні заїзди, які надають інформацію щодо необхідності додаткового калібрування вимірювальної апаратури.

5. На перехідних режимах руху (розгоні та гальмуванні) та на сталому режимі руху відбувається фіксація експериментальних даних.

6. До колісного трактора чіпляється П-цистерна та на неї встановлюється вимірювальна апаратура.

7. Повторюється пункт 4. Заїзди виконуються з порожньою цистерною.

8. МТА разом із цистерною (яка заповнюється рідиною до рівня 1,7 м для П-цистерни) транспортується до місця проведення експериментів.

9. Після фіксації результатів із повністю заповненою цистерною проводиться злив 15% рідини (тобто для П-цистерни до 1,45 м), після чого повторюється операція 5.

10. Наступним кроком також проводиться злив 20% рідини (для П-цистерни до 1,15 м), після чого повторюється операція 5.

11. На завершальній стадії випробувань проводиться тестовий заїзд із порожньою цистерною для виконання порівняння результатів з операцією № 7, що дасть змогу стверджувати про похибку приладів.

Потім наведений порядок повторюється, тільки замість НП-цистерни в зчпці з трактором виступає НП-цистерна, яка має максимальну висоту заповнення рідиною 1,6 м.

Експериментальні заїзди для пунктів випробувань № 6, 7 та 8 проводилися не менше трьох разів згідно з ГОСТ 7057-2003 [10], 24055-2016 [11], СОУ-П УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого 71.2-37-046043090-017:2015 [12].

Вимірювально-реєстраційний комплекс (рис. 2, 3) складається з комплексу «ВДВММ 4-001» Паспорт 4-001.000.00 ПС [13] (4-ох акселерометрів Freescale Semiconductor моделі ММА7260QT) та з безконтактного (радіолокаційного) датчика [14], який призначено для фіксації дійсної швидкості транспортного засобу. На рис. 4 показано приклад отриманих експериментальних даних лінійних прискорень остова трактора.





а



б

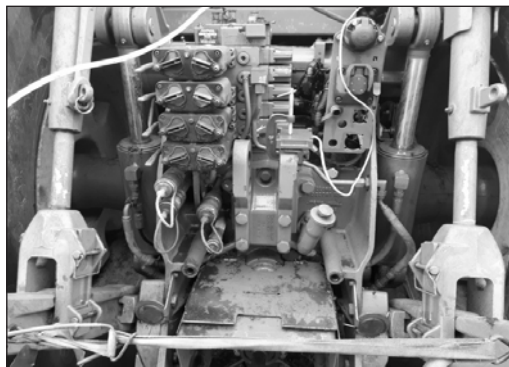
Рис. 1. Об'єкти експериментальних досліджень:  
а – John Deere + МЖТ-16; б – ХТЗ-150К + МЖТ-10



а



б



в



г

Рис. 2. Розміщення датчиків на тракторі John Deere з МЖТ-16: а – акселерометр на передньому мосту; б – акселерометр на задній частині остова; в – акселерометр спереду цистерни; г – безконтактний датчик



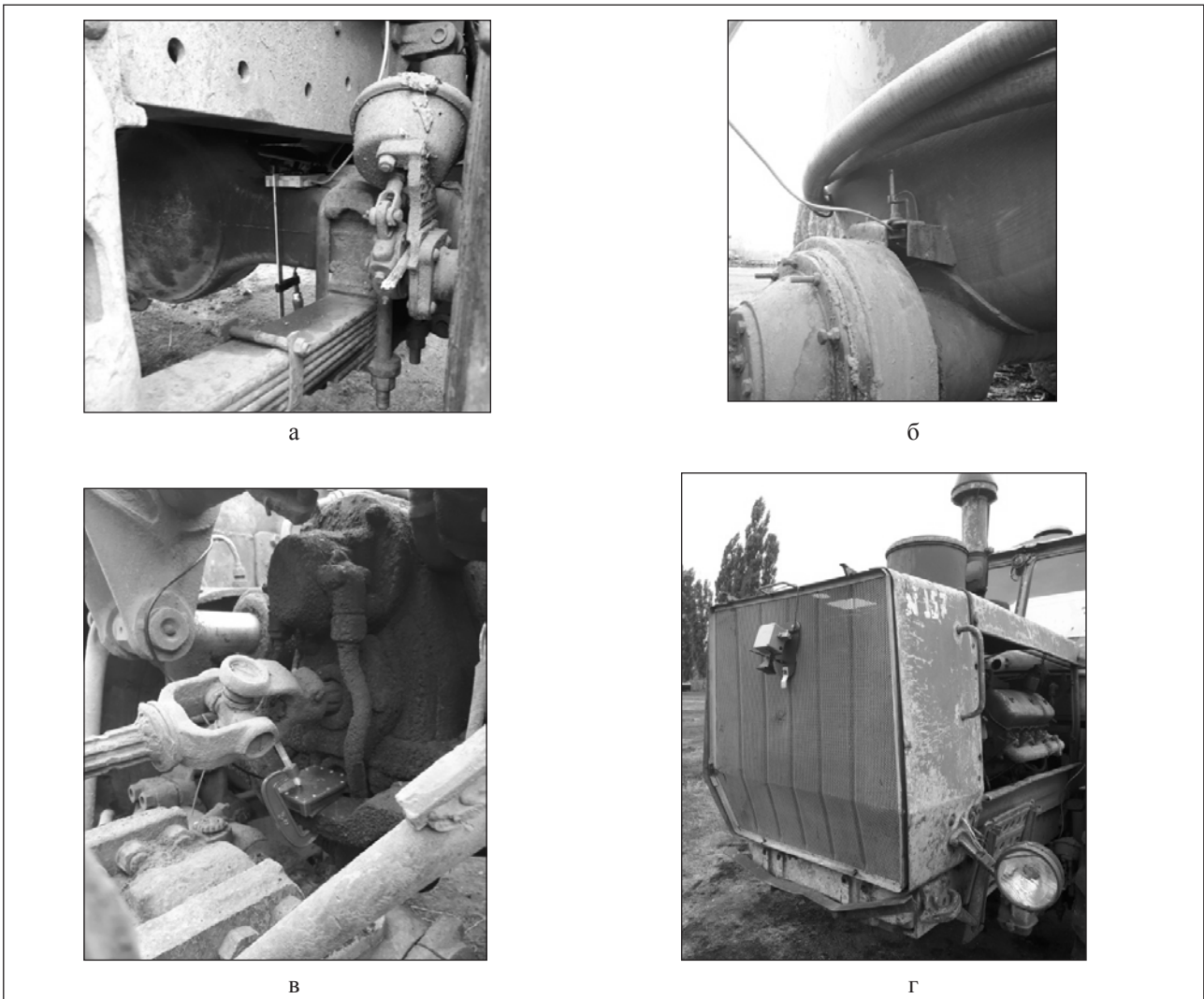


Рис. 3. Розміщення датчиків на тракторі ХТЗ-150К з МЖТ-10: а – акселерометр на передньому мосту; б – акселерометр на задній частині остова; в – акселерометр спереду цистерни; г – безконтактний датчик

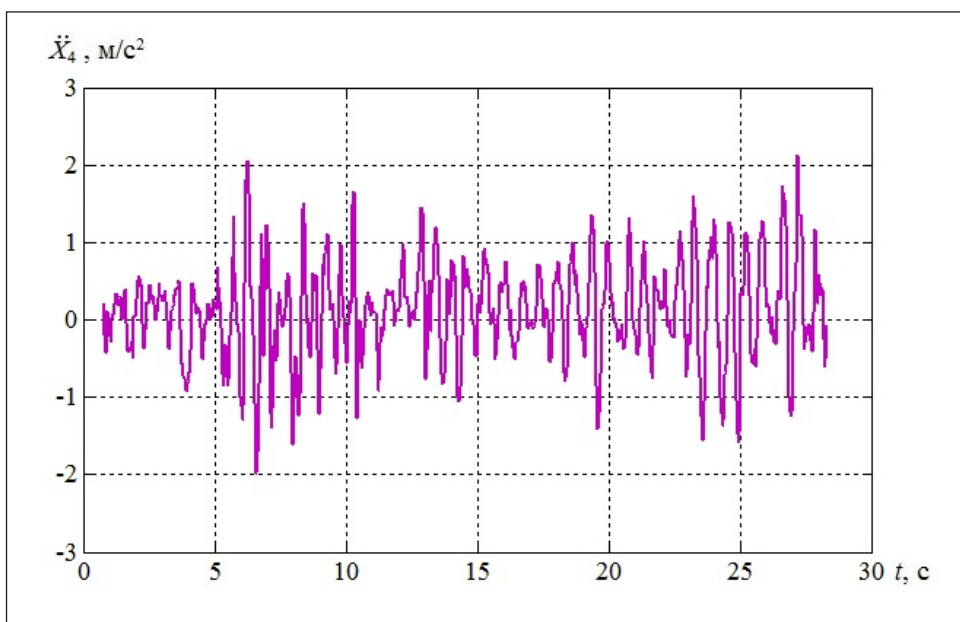


Рис. 4. Приклад отриманих лінійних прискорень під час випробувань

Наступним кроком виконується спектральний аналіз отриманих експериментальних даних. В основі спектрального аналізу сигналів лежить перетворення Фур'є (яке базується на рядах Фур'є), що призначено для роботи з різними видами сигналів (періодичних і неперіодичних).

Під час дослідження спектра періодичного (або неперіодичного) сигналу можливе представлення результатів за допомогою різних характеристик. У табл. 1 зведено характеристики спектрів.

На рис. 5 представлено амплітудно-частотну характеристику (далі – АЧХ) лінійних прискорень у вертикальній та горизонтальній площинах руху з повністю заповненою цистерною.

Проводячи аналіз АЧХ, звернемо увагу на піки коливальних спектра, адже їхні величини характеризують енергетичність системи на відповідній гармоніці (резонансній частоті). По графічному виду піку (резонансу) можна стверджувати про зосередженість великої частки запасу механічної енергії. Звернемо увагу на те, що резонанси АЧХ (рис. 5) під час дослідження вертикальних прискорень трактора мають більшу амплітуду, що підтверджує висновки [17] щодо теоретичного визначення енергетичності системи.

Оскільки АЧХ також вказує на величину резонансних частот коливальної системи, то доцільно провести порівняльний аналіз між результатами динамічного аналізу [7] та частотами, які отримано під час експериментальних досліджень.

На основі принципу динамічного аналізу встановлено резонансні частоти для John Deere з МЖТ-16. В табл. 2 наведено низькі та найнижчі частоти, тому що вони є небезпечними для самопочуття оператора-водія.

Як видно з рис. 6, 7, розбіжності між значеннями амплітуди значні, що і не дивно, адже вони характеризують енергетичність системи в різних площинах. А ось збіжність значень горизонтальних і вертикальних резонансних частот не перевищує 2,6%. Порівнюючи експериментальні та теоретичні значення величин резонансних частот, зауважимо, що збіжність не перевищує 1,7%; це дає змогу стверджувати про коректність складання лінійної моделі трактора з цистерною [7].

АЧХ неможливо розглядати без фазочастотної характеристики (далі – ФЧХ), то на рис. 8, 9 наведено ФЧХ горизонтальних і вертикальних прискорень.

Згідно з рис. 8, 9, графіки ФЧХ представлено у вигляді криволінійних залежностей, які підпорядковані зміні різноманітних інтегрованих частот зі змінним фазовим відношенням. Отримані ФЧХ описують зсув фаз гармонік, як видно, цей зсув не має явного характеру, тому з впевненістю можна стверджувати, що фазовий зсув є коротко-строким.

Спектральний аналіз показав, що, окрім власних (резонансних) і вимушених частот, в експериментальних сигналах, отриманих з акселерометрів, присутні перешкоди (зашумлений сигнал); для боротьби з ними необхідно використовувати так звані фільтри нижніх частот.

**Висновки.** У статті наведено вимірювальний комплекс, який дає змогу фіксувати в реальному часі динаміку руху колісного трактора з агрегатами змінної маси. Представлено порядок проведення експериментального дослідження з вимірюванням прискорень на перехідних і сталих рухів.

Таблиця 1

Характеристики спектрів [15; 16]

Характеристика	Періодичний сигнал	Неперіодичний сигнал
Комплексний спектр	$f(n\omega) = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cdot e^{-jn\omega x} dx$	$f(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot e^{-2\pi j\omega x} dx$
Амплітудний спектр	$ A_n  = \frac{1}{2} \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$	$A(\omega) =  f(j\omega)  = \sqrt{(\text{Re}[f(j\omega)])^2 + (\text{Im}[f(j\omega)])^2}$
Фазовий спектр	$\varphi_n = \text{arctg}\left(-\frac{b_n}{a_n}\right)$	$\varphi(j\omega) = \text{arctg}\left(\frac{\text{Im}[f(j\omega)]}{\text{Re}[f(j\omega)]}\right)$

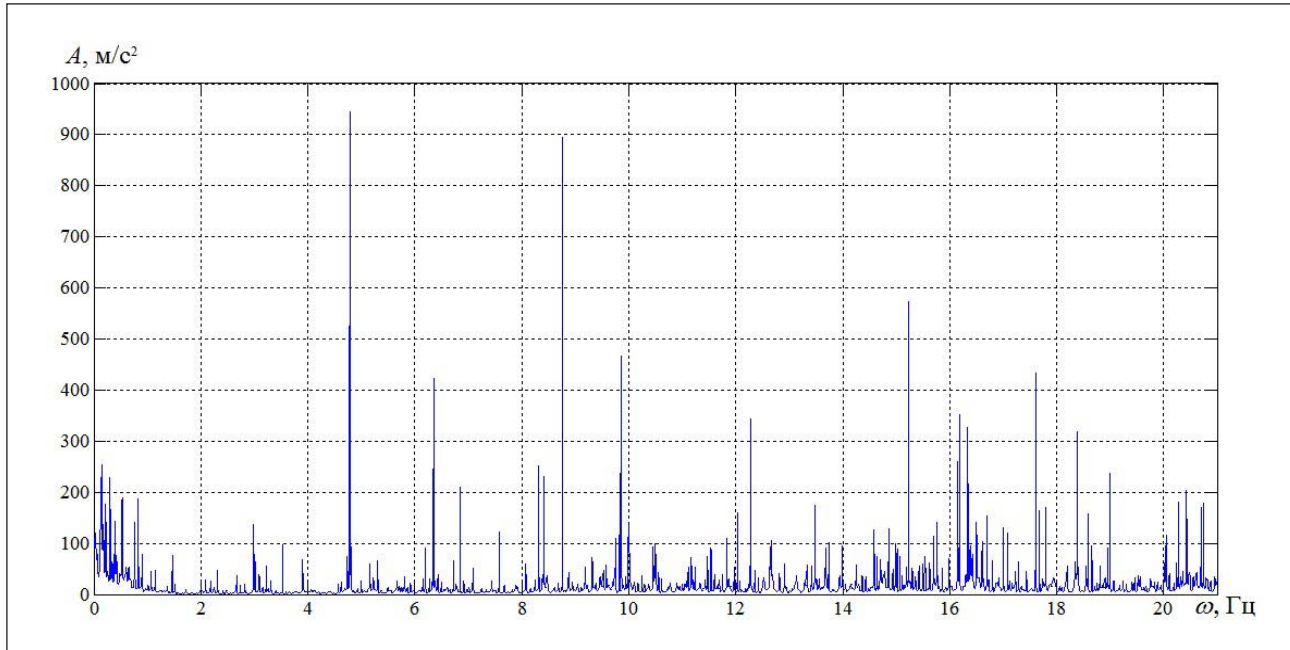
Таблиця 2

Значення резонансних частот John Deere з МЖТ-16 (із заповненою)

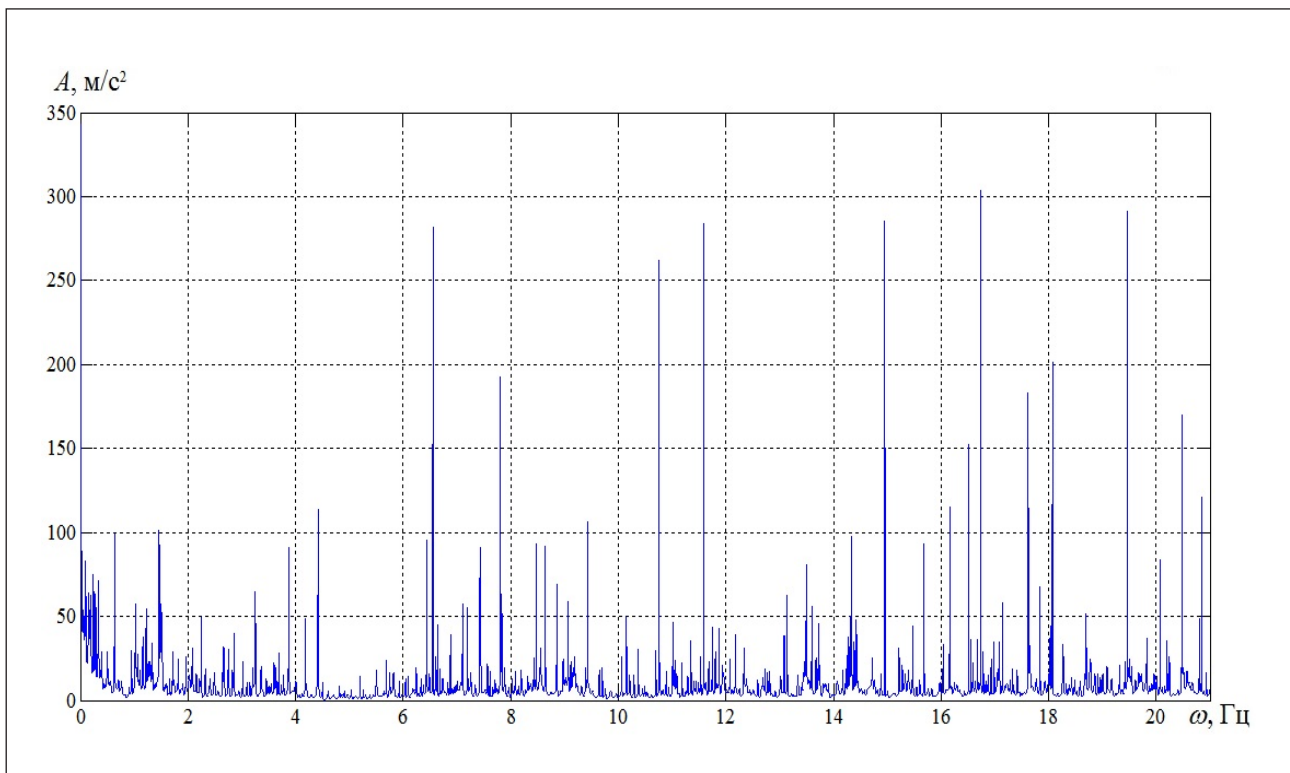
№ гармоніки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Частота, Гц	0	0,15	0,3	0,53	0,77	0,83	0,91	1,06	1,14	1,46	1,51	1,72

На основі спектрального аналізу побудовано АЧХ та ФЧХ лінійних прискорень колісного трактора з агрегатом змінної маси. На основі порівняння теоретичних (згідно з принципами динамічного

аналізу лінійної системи [7]) з експериментальними значеннями резонансних частот встановлено, що збіжність не перевищує 1,7%, що дає змогу стверджувати про коректність складання лінійної моделі.



а



б

Рис. 5. АЧХ лінійних прискорень трактора з агрегатом змінної маси:  
а – горизонтальних; б – вертикальних

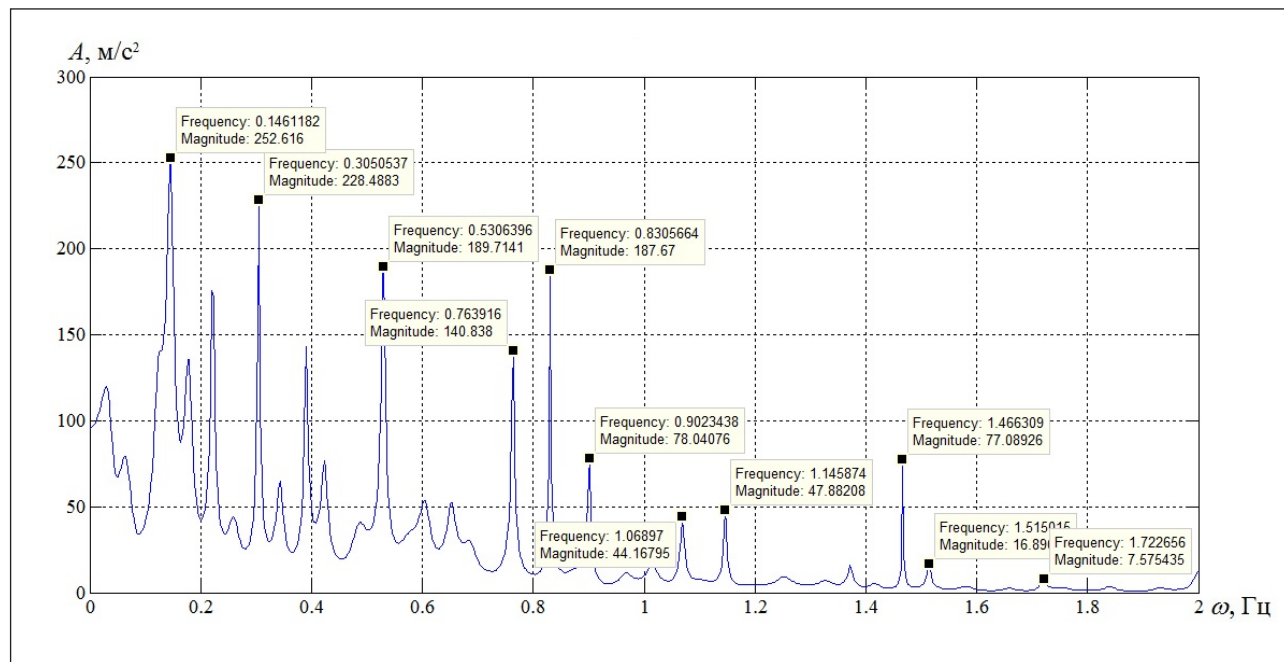


Рис. 6. АЧХ низьких і найнижчих частот горизонтальних прискорень, отриманих під час експериментального дослідження John Deere + МЖТ-16 (із заповненою): Frequency – частота; Magnitude – амплітуда

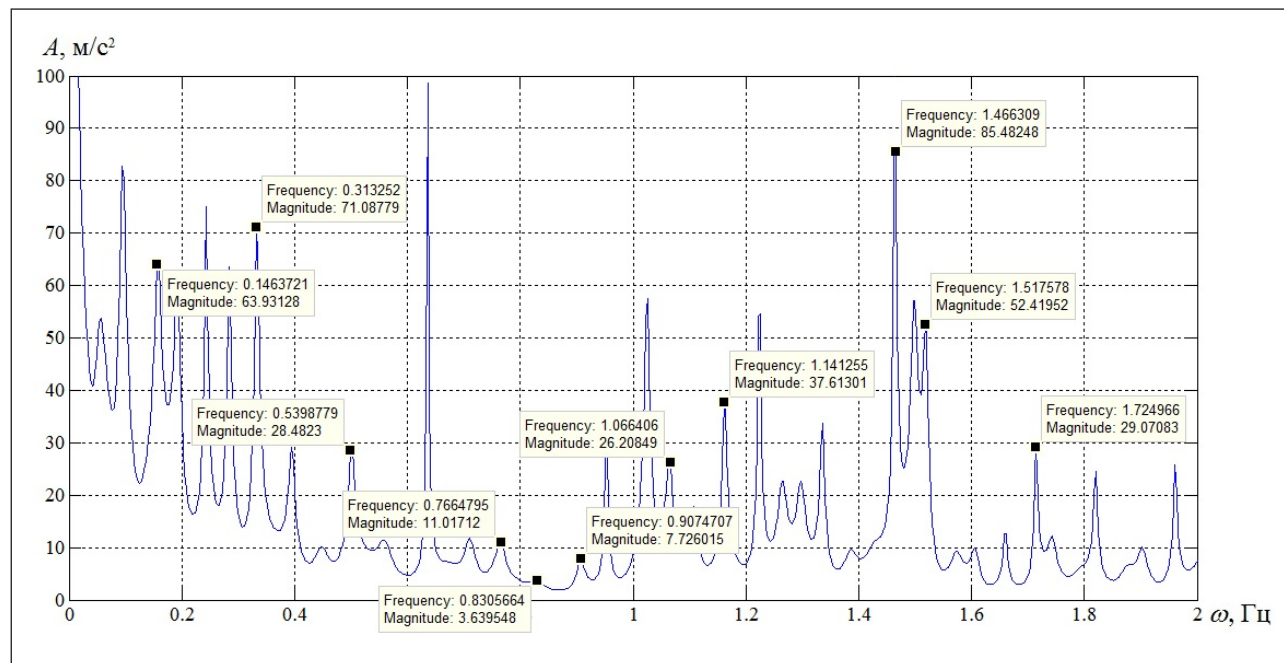


Рис. 7. АЧХ низьких і найнижчих частот вертикальних прискорень, отриманих під час експериментального дослідження John Deere + МЖТ-16 (із заповненою): Frequency – частота; Magnitude – амплітуда



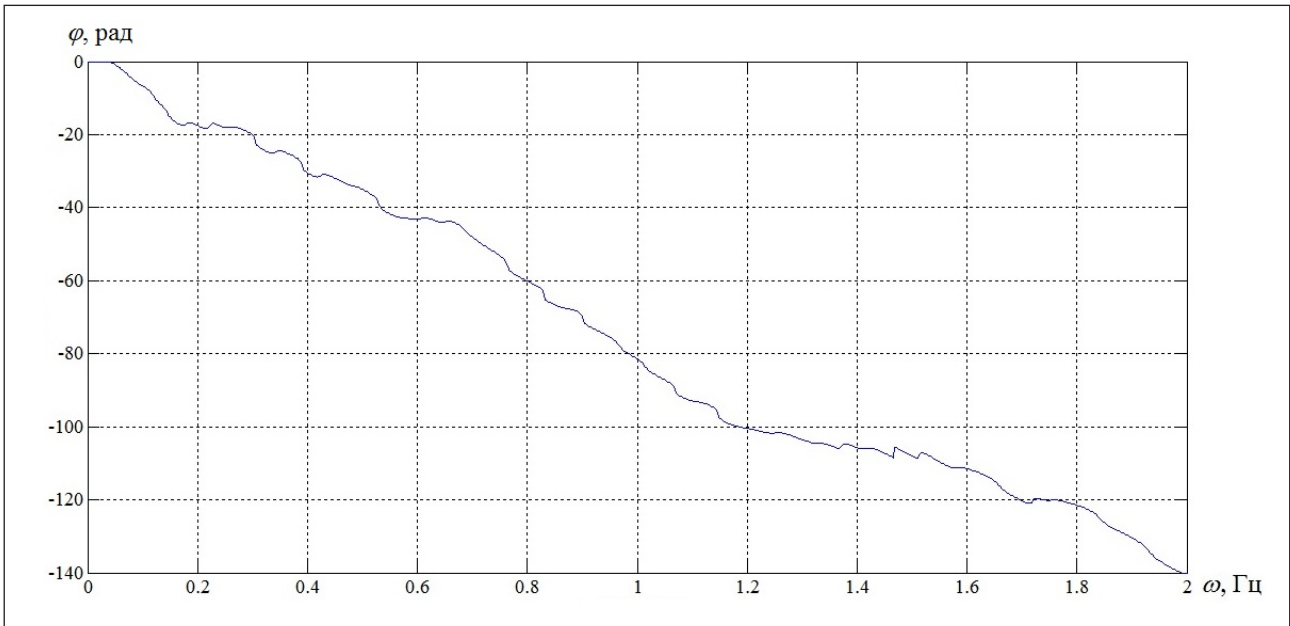


Рис. 8. ФЧХ горизонтальних прискорень у зоні низьких і найнижчих частот

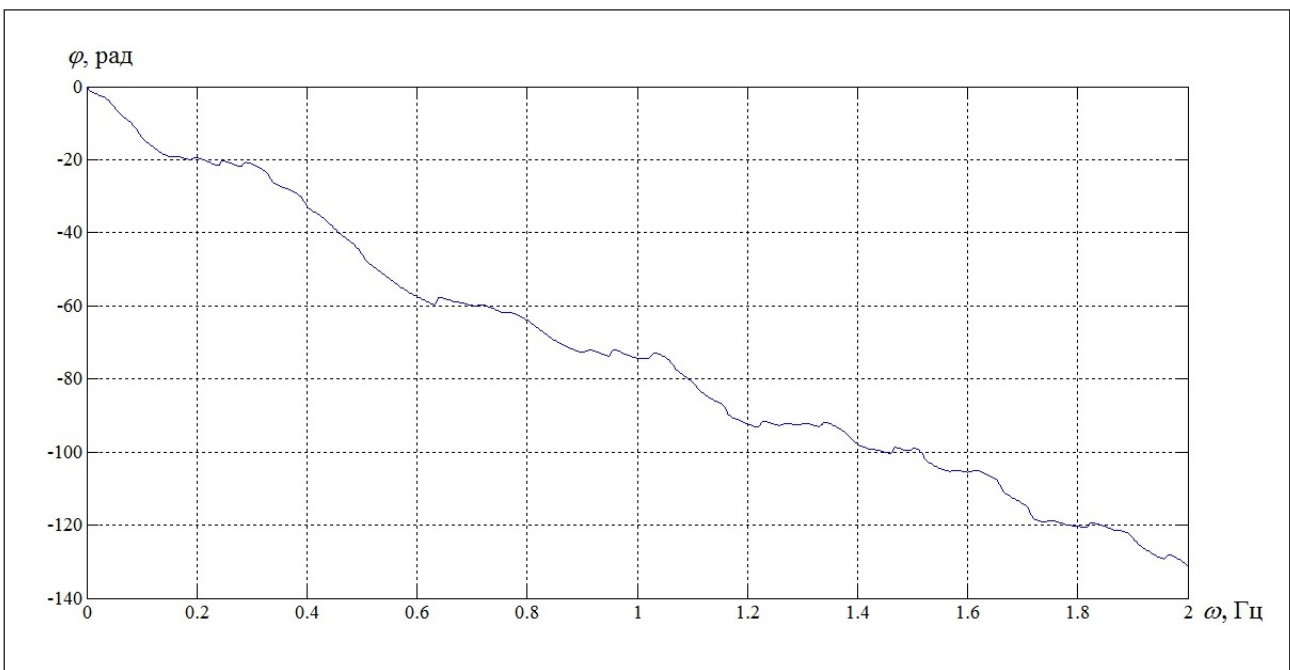


Рис. 9. ФЧХ вертикальних прискорень у зоні низьких і найнижчих частот

**Список літератури:**

1. Надикто В.Т., Кюрчев В.М., Аюбов А.М., Масалабов В.М., Кістечок О.Д. Перспективи зростання продуктивності роботи машинно-тракторного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. № 8 (2). С. 1–12. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-1.
2. Лебедев А.Т., Артьомов М.П., Шуляк М.Л., Лебедев І.А. Забезпечення стійкості і керованості сільськогосподарських агрегатів із змінною масою. *Технічні науки : зб. наук. пр. ВНАУ*. 2015. Вип. 1 (89). С. 57–62.
3. Колесник І.В., Шуляк М.Л., Шевченко І.О. Визначення керованості транспортного агрегату залежно від зміни маси вантажу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. № 160. С. 255–260.
4. Шуляк М.Л. Підвищення ефективності експлуатації енергонасиченого трактора в агрегаті з сільськогосподарською машиною змінної маси. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. № 148. С. 280–286.
5. Леженкин А.Н., Григоренко С.М. Моделирование процесса движения агрегата с переменной массой. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2012. № 2 (2). С. 80–86.
6. Кравченко А.П., Ноженко Е.С., Вершина Г.А., Пилатов А.Ю. Общая методика минимизации функции расхода топлива машинотракторного агрегата с прицепом переменной массы. *Вісник СевНТУ*. 2013. № 143. С. 215–219.
7. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Моделивання пов'язаних коливань колісного трактора та цистерни з рідиною на прямому шляху зі складним рельєфом. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2018. № 27 (1303). С. 34–61.
8. Кожушко А.П. Дослідження плавності руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою при виконанні транспортної роботи. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2019. № 15. С. 50–57. DOI: 10.30977/VEIT.2019.15.0.50.
9. Кожушко А.П., Кравченко С.С., Мамонтов А.Г., Болжаларський О.О. Шляхи зменшення впливу поздовжніх коливань транспортного засобу з агрегатами перемінної маси. *Двигатели внутреннего сгорания*. 2019. № 2. С. 59–65. DOI: 10.20998/0419-8719.2019.2.10.
10. ДСТУ ГОСТ 7057-2003 Трактори сільськогосподарські. Методи випробувань (ГОСТ 7057-2001, IDT). Київ, 2003. 15 с.
11. ГОСТ 24055-2016 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Межгосударственный стандарт, 2018. 27 с.
12. СОУ-П УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого 71.2-37-046043090-017:2015 «Сільськогосподарська техніка. Визначення тягових показників тракторів. Метод парціальних прискорень». Дослідницьке : Укр НДІПВТ, 2015. 10 с.
13. Бондаренко А.І., Кожушко А.П., Мітцель М.О., Самородов В.Б. Методика експериментального дослідження процесу розгону трактора Fendt 936 Varіo при виконанні польових та транспортних робіт. *Вісник Житомирського державного технічного університету*. 2014. № 2 (69). С. 48–55.
14. Шуляк М.Л., Лебедев А.Т., Артьомов М.П., Мальцев В.П. Експериментальне дослідження алгоритму керування режимами роботи транспортного агрегату. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. № 3. С. 38–42.
15. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях : в 2-х т. / пер. с франц. Москва : Мир, 1983. Т. 1. 312 с.
16. Тропченко А.Ю., Тропченко А.А. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки: учебное пособие по дисциплине «Теоретическая информатика». Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2009. 100 с.
17. Кожушко А.П. Енергетичність системи машинно-тракторного агрегату з перемінною масою за сталого руху. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки»*. 2019. Т. 30 (69). Ч. 2. № 3. С. 161–166. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/27.

**Kozhushko A.P. SPECTRAL ANALYSIS OF THE EXPERIMENTAL DATA MOVEMENTS TRACTORS WITH VARIABLE MASS UNITS**

*Nowadays, wheeled tractors are used in the state agro-industrial complex, both in the performance of transport and technological work. This is due to the general functionality of these vehicles. Transportation work in any farming households includes transporting liquid cargoes by tractor tanks. Tractor tanks have a distinctive feature compared to automobile ones – the absence of internal partitions inside the tank. Such design feature is caused by the lower transport speed of tractor transport movement than automobile. With the constant increase of the productivity of liquid cargo transportation there is a problem of the onset of*

significant own liquid oscillations which affect the operation during the movement of a wheeled tractor with a tank. The motion of liquid in the tractor tank causes longitudinal and lateral instability, and increases both energy costs and emergency situations (there is an effect on the vibration, controllability and stability of the vehicle, increasing the dynamic loading of the undercarriage, and etc.). The main objective is to present the experimental research methodology for determining the dynamic characteristics of the movement of a wheeled tractor with variable mass units (trailed and semi-trailer tractor tanks) and in addition, the spectral analysis of the obtained experimental data, which will provide information on the presence of resonant frequencies during tractor movement. Solving the problem, we have used a methodology for carrying out experimental studies to determine the dynamic characteristics during performing transport work on liquid cargoes transportation by trailer and semi-trailer tractor tanks. The measurement and registration complex was used to record the experimental data. It included four MMA7260QT Freescale Semiconductor accelerometers and a contactless (radar) sensor for measuring change in the actual speed of the vehicle. As a result, data from an experimental study have been obtained. Based on them it becomes possible to confirm the author's theoretical analysis from previous works, such as the determination of the values of the resonant frequencies of a vehicle in the analysis of free oscillations of a tractor with variable mass units. The practical importance of the study is to confirm the theoretical by experimental values of the resonant frequencies of the vehicle. Resonant frequencies of the experimental data of linear accelerations (vertical and horizontal) have been obtained by using spectral analysis and constructing the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics.

**Key words:** wheeled tractor, tank, fluid oscillations, experimental research, spectral analysis.

УДК 656.212.5.

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/25>

**Стрелко О.Г.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Бердніченко Ю.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Петриковець О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Грушевська Т.М.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Круглик М.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

*У статті досліджуються наявні варіанти удосконалення роботи сортувальних станцій шляхом впровадження інформаційно-керуючих та автоматизованих систем. Запропоновані нові ідеї щодо вирішення цього питання. Авторами досліджені можливості єдиної інформаційної системи «Автоматизована система керування вантажними перевезеннями», яка надає змогу вирішувати складні завдання, пов'язані із забезпеченням експлуатаційної роботи залізничного транспорту в умовах реформування галузі, що сприятиме покращенню взаємодії Укрзалізниці з вантажовласниками та вантажовідправниками завдяки спрощенню роботи з електронними перевізними документами у внутрішньому та транзитному сполученні.*

*Проведено аналіз застосування єдиної інформаційної системи. Вивчено вплив автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями на підвищення достовірності інформації через скасування обміну даними між залізницями, підвищення достовірності та оперативності розрахунків і звітів, зменшення кількості різних довідок завдяки концентрації інформації в єдиній інформаційній базі. При впровадженні єдиної системи обробки даних стає можливою організація роботи з переадресування вантажів на шляху прямування, напрацьовується інформація для проведення маркетингових досліджень, здійснюється контроль за вантажними (зокрема, контрейлерними) поїздами на всьому шляху прямування, надається можливість здійснювати єдиний контроль за логістикою та уніфікацією роботи залізничного транспорту, а також можливість безпосередньо бачити стан вагонного парку (без обміну інформацією між залізницями). У сфері транзитних перевезень станції входу та виходу, що зазвичай перебувають на різних залізницях, користуючись спільною інформаційною базою, тепер безпосередньо бачать роботу одна одної в режимі реального часу.*

**Ключові слова:** сортувальна станція, інформаційна система, автоматизація, транспортні технології, вагонопотоки.

**Постановка проблеми.** За майже 120 років функціонування позакласної двосистемної сортувальної станції Дарниця Південно-Західної залізниці в її інфраструктурі відбулося чимало змін. Активна стадія розбудови в усіх її господарствах залишилась у минулому, але це ніяк не свідчить про те, що у колійній сфері, а також у підгалузях сигналізації та зв'язку й електропостачання кількість проблем щодня зменшується. Тримати руку

на пульсі функціонування 419 стрілкових переводів, що розміщені на 114 головних, сортувальних, приймально-відправних, з'єднувальних, станційних коліях, – справа не з легких.

Якісне виконання завдань, що покладені на сортувальні станції, вимагає відповідного технічного оснащення, ефективних технологій роботи, необхідного штату працівників з відповідною фаховою підготовкою. Станція Дарниця – це потужна



сортувальна система, що забезпечує ефективну переробку вагонопотоків із значної кількості прилеглих дільниць. Однак станція потребує як удосконалення ефективності технічного оснащення, так і впровадження нових технологій роботи [1], які б зменшили простій вагонів на в очікуванні вантажних операцій, час їх переробки.

Одним із основних механізмів підвищення ефективності операційної діяльності залізничної станції є автоматизація процесів перевезень. Автоматизація – це вирішальна ланка технологічної роботи станції. За умов відсутності значних капітальних вкладень у розвиток інфраструктури багато проблем можна вирішити, створивши якісну систему управління рухом поїздів, що дозволить підвищити безпеку руху, пропускну спроможність, прискорити швидкість перевезень вантажів і пасажирів, покращити точність та надійність перевізного процесу. Автоматизація технологічних процесів – це етап комплексної механізації, що характеризується звільненням людини від безпосереднього виконання функцій управління технологічними процесами і передачею цих функцій автоматичним пристроям [2; 3]. При автоматизації технологічних процесів отримання, перетворення, передача і використання енергії, матеріалів і інформації виконуються автоматично за допомогою спеціальних технічних засобів і систем управління.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Завдання, пов'язані з розробкою, модернізацією та впровадженням сучасних систем автоматизації, свідчать про актуальність пошуку відповідей на проблемні питання. У низці досліджень розглянуто питання впровадження сучасних інформаційних технологій [4–6], зокрема автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями (далі – АСК ВП УЗ-Є), яка ґрунтується на електронному документообігу. Також

досліджено характеристики сучасної інтегрованої єдиної системи АСК ВП УЗ-Є, відзначено потенційні проблеми в її розвитку та шляхи їх вирішення [7–11].

**Постановка завдання.** Мета статті – визначення шляхів удосконалення сортувальної роботи станції Дарниця шляхом впровадження єдиної інформаційної системи АСК ВП УЗ-Є.

**Виклад основного матеріалу.** На залізницях України автоматизація перевезень набула високого рівня розвитку.

Функції складових частин автоматизованих робочих місць:

1) автоматизоване робоче місце чергового по станції (АРМ ДСП), який призначений для вирішення завдань, пов'язаних з технологічним процесом, – прийому, відображення та зберігання інформації про положення на станції, ідентифікації і відстеження рухомих одиниць, оповіщення людей, що працюють на коліях. Автоматична система встановлюється безпосередньо на робочому місці чергового по станції (або оператора);

2) автоматизоване робоче місце оператора станційного технологічного центру (АРМ СТЦ) дозволяє автоматизувати такі процеси: складання сортувальних листків, безперервний номерний облік наявності і розташування вагонів на шляхах накопичення, підрахунок довжини і маси накопичувальних груп вагонів і складів, внесення змін до кількості і розташування вагонів на шляхах накопичення, складання натуральних листів на сформовані склади, підготовку і передачу в товарну контору і клієнтурі даних про очікуване прибуття вагонів під навантаження, підготовку та видачу довідок для заповнення маршруту машиніста, ведення форм обліку та звітності вагонного парку на станції;

3) автоматизоване робоче місце оператора пункту технічного огляду (АРМ ПТО) відображає

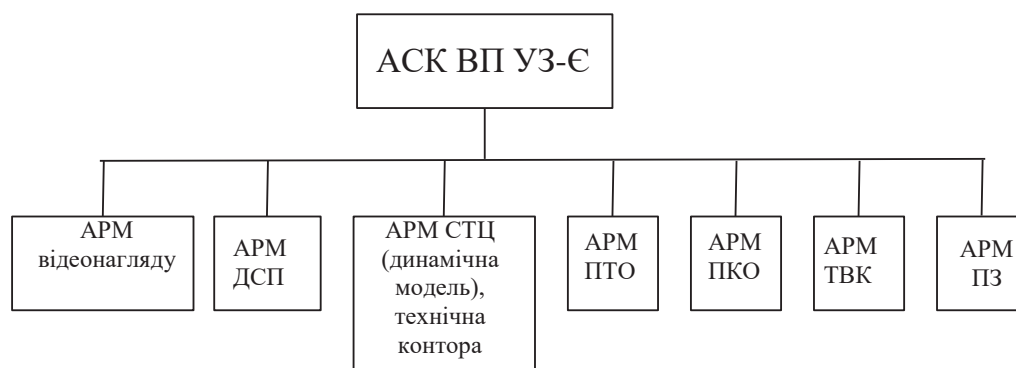


Рис. 1. Складові частини АСК ВП УЗ-Є

технічний стан вагонів, контролює оформлення актів форми ВУ-36, ВУ-22;

4) автоматизоване робоче місце оператора пункту комерційного огляду (АРМ ПКО) призначене для працівників станції, зайнятих складанням актів загальної форми ГУ-23. Тут автоматизується вирішення таких завдань: складання актів загальної форми ГУ-23 на вагони з комерційними несправностями (оформлення, друк акта, корегування та повторна роздрукування, видалення складеного акта), видача оперативних повідомлень на складені акти загальної форми; отримання журналу реєстрації вагонів з комерційними несправностями форми ГУ-98;

5) автоматизоване робоче місце товарного касира (АРМ ТВК) призначене для розрахунку провізної плати; автоматичного формування звітів ГУ-3, ГУ-5, ГО-1, ГО-2, ГО-3; формування та друку книги прибуття ГУ-42; ведення та друку накопичувальних карток; ведення особових рахунків клієнтів; друку платіжного доручення і формування картотеки платіжних доручень; введення конвенційних заборон (на прийом вантажу до перевезення, на прийом вантажу вантажоодержувачами, карантинна заборона тощо); ведення архіву відправок; ведення книги ГУ-34/ГУ-42;

6) автоматизоване робоче місце прийомоздавальника (АРМ ПЗ) є частиною комплексної системи «Автоматизована система обліку роботи під'їзних колій», яка призначена для ведення обліку інформації про фактичне місце дислокації вантажних вагонів, нарахування плати за користування вагонами та інших зборів, пов'язаних з користуванням вагонами на підприємствах. За допомогою АРМ ПЗ працівники станцій мають можливість обліковувати такі операції: подавати та забирати вагони на під'їзних коліях промислових підприємств та структурних підрозділів залізниці; на підставі введеної інформації про подавання та забирання вагонів нараховувати плату за користування вагонами, плату за подавання-забирання, а також збір за маневрову роботу; виконувати запит вагонних листів на відправлення [12, 13].

Автоматизація перевізного процесу передбачає оформлення всіх або майже всіх документів в електронному вигляді.

Проблема автоматизації на станції полягає у нерациональному використанні робочого часу та дублюванні інформації при передачі даних [14; 15], оскільки товарний касир веде журнал прийому вагонів на станції вручну і переписує інформацію з автоматизованої системи до книги ГУ-48, а потім працівники станції відносять

книгу до станційного технологічного центру. Ці дії займають багато часу. Набагато краще було б зробити це автоматизовано, щоб не вести журнал прийому вручну, а мати електронну версію, яка забезпечить швидкість передачі інформації у підрозділи [16; 17].

Розробка інформаційної взаємодії автоматизованих робочих місць працівників станцій при виконанні технологічних операцій прибуття та відправлення вантажу пропонується як частина автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями на залізничному транспорті України.

Метою розробки є безпаперова технологія роботи з електронними документами в процесі передачі відомостей про вантаж та вагони, що прибувають на станцію, а також формування відомостей про вантаж та вагони, що прийняті до перевезення [13; 16].

Пропонується такий склад інформації, яка буде автоматично формуватись для товарного касира для оформлення документів на час прибуття (1):

- номер та індекс потяга, в якому прибули вагони на станцію призначення;
- номер вагона, який прибув в складі потяга на станцію призначення;
- рід вагона;
- номер документа, яким був оформлений вантаж;
- ознака єдиного перевізного документа;
- дата прибуття вагонів на станцію призначення у складі потяга;
- код вантажу;
- вага вантажу;
- код вантажоодержувача.

Що стосується відправлення вантажу, то інформування працівників станцій про обробку та оформлення нових електронних перевізних документів в АРМ ТВК на вагони, які перебувають на станційних та під'їзних коліях (2), проводиться за такими параметрами:

- номер вагона;
- код вантажу;
- маса нетто та брутто;
- номер документа.

Формування книги ГУ-48 в електронному вигляді про передачу документів з технічної контори в товарну та навпаки пропонується за такими подіями:

- прибуття вагонів на станцію;
- забирання вагонів з під'їзної колії.

На рис. 2 схематично зображена схема виконання операцій з місцевими вагонами, де

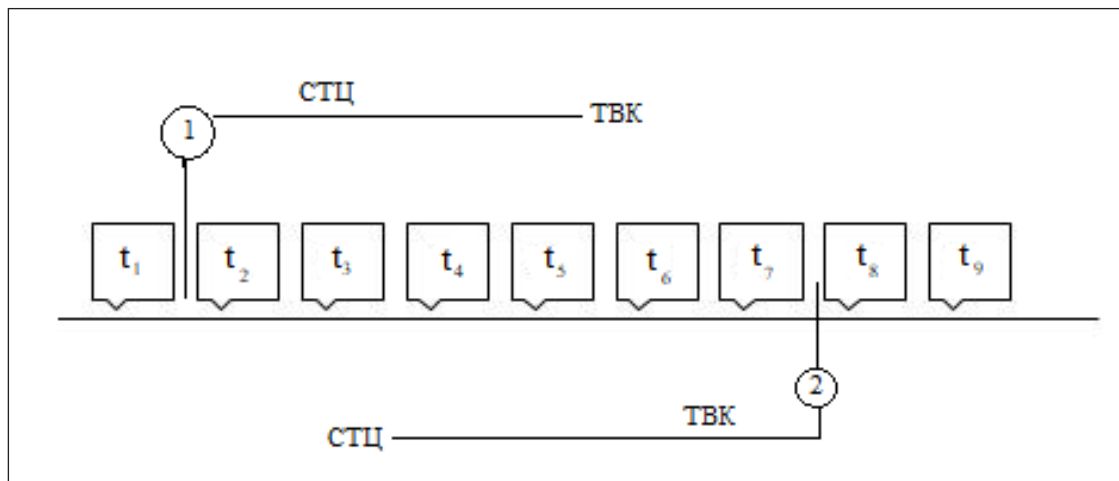


Рис. 2. Послідовність виконання операцій з місцевими вагонами

$t_1$  – повідомлення про прибуття вантажу «201», яке може формуватися на підставі повідомлення чергового по станції «201», яке є підставою для формування ГУ-48 для товарного касира;

$t_2$  – повідомлення «203» про розформування вагонів;

$t_3$  – повідомлення «1379» вантажовласника або власника під'їзної колії про подавання /забирання вагонів (за формою ГУ-2);

$t_4$  – формування акта форми ГУ-23;

$t_5$  – повідомлення про закінчення вантажних операцій з вагоном та готовність до забирання, внесення інформації у відповідну графу пам'ятки форми ГУ-45;

$t_6$  – акт форми ГУ-23;

$t_7$  – забирання вагонів, оформлення пам'ятки ГУ-45, формування ГУ-48 для станційного технологічного центру;

$t_8$  – формування звітності про навантаження/вивантаження вагонів;

$t_9$  – відправлення вагонів.

**Висновки.** Розробка інформаційної взаємодії автоматизованих робочих місць працівників станцій при виконанні технологічних операцій прибуття та відправлення вантажу має забезпечити прискорення обробки поїздів за їх прибуттям, прискорення формування та відправлення поїздів, прискорення оформлення технологічних документів на поїзди та збереження комерційної інформації про вантажі, прискорити обіг вагонів на станції.

Розробка повинна надати працівникам станційного технологічного центру та маневровому диспетчеру станції достовірну інформацію про стан місцевих вагонів у частині оформлення електронних перевізних документів з моменту прибуття їх на станцію до відправлення зі станції для організації виконання технологічних операцій з інформування вантажоодержувачів про надходження вантажів на їх адресу, організації операцій навантаження та вивантаження, формування поїздів і організації маневрової роботи в умовах безпаперового обігу електронних перевізних документів.

Впровадження програмного забезпечення дозволить виконати такі дії:

- розширити можливості контролю за станом місцевих вагонів без додаткового збирання інформації працівниками товарної контори та працівниками технічної контори під час відправлення та прибуття вантажу на станцію призначення;

- підвищити достовірність інформації про стан місцевих вагонів;

- поліпшити оперативність прийняття рішень робітниками товарної контори, маневровим диспетчером та робітниками технічної контори станції на підставі автоматичного отримання інформації на робочих місцях.

Система може використовуватись операторами станційного технологічного центру та маневровими диспетчерами станцій, які виконують технологічні вантажні операції.

#### Список літератури:

1. 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.
2. Вернигора Р.В., Єльнікова Л.О. Структура та принципи функціонування прогнозу моделі роботи залізничного напрямку. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2015. Вип. 9. С. 16–22.

3. Чернецька-Білецька Н.Б., Павлюченко В.О., Кононенко С.В. Аналіз систем автоматизації управління технологічними процесами на станціях залізничного транспорту. *Вісник Інженерної академії України*. 2013. Вип. 3–4. С. 185–187.
4. Лаврухін О.В. Формування підходів щодо реалізації системи підтримки прийняття рішень оперативного управління поїздопотоками з розподіленим штучним інтелектом. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2014. Вип. 8. С. 88–99.
5. Bardas, O., Skovron I., Demchenko Y. and others. Influence research of traffic prediction accuracy on effective management of the trains breaking-up order. *Transport Problems. International scientific journal*. 2017, Volume 12, Issue 1. Gliwice, 2017. P. 151–158.
6. Бардась О.О. Удосконалення інтелектуальних технологій виконання поїзної роботи на сортувальних станціях. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. Вип. 11. С. 9–15.
7. Bux M., Leser U. Parallelization in Scientific Workflow Management Systems. *Distributed, Parallel, and Cluster Computing*. 2013. № 1. P. 24.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Жуковицкий И.В., Егоров О.И. Процедура идентификации поездов с использованием информации АСК ВП УЗ Е. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 6 (115) С. 61–66.
12. Ададунов С.Е. Комплексная система автоматизации сортировочных процессов. *Железнодорожный транспорт*. 2008. № 6 С. 37–38.
13. Гапанович В.А., Шабельников А.Н. Разработка автоматизированных сортировочных систем. *Железнодорожный транспорт*. 2010. № 7. С. 23–25.
14. Данько М.І., Мойсеєнко В.І., Панченко С.В. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «Каскад»: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 176 с.
15. Данько М.І., Бутько Т.В., Березань О.В. Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень на залізничному транспорті: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2009. 183 с.
16. Грицунов О.В. Інформаційні системи та технології: навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2010. 222 с.
17. Тулупов Л.П., Лецкий Э.К., Шапкин И.Н., Самохвалов А.И. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте: учебник для вузов. Москва: Маршрут, 2005. 467 с.

**Strelko O.H., Berdnychenko Yu.A., Petrykovets O.V., Hrushevska T.M., Krulyk M.V.**  
**IMPROVEMENT OF THE SORTING YARDS OPERATION TECHNOLOGY**  
**BY APPLYING A UNIFIED INFORMATION DATABASE**

*The article investigates the existing variants for improving the work of the sorting yards by introducing information-control and automated systems, and proposes new ideas for solving this problem. The article examines the existing options for improving the work of the sorting yard by introducing information database and automated systems, and proposes new ideas for solving this problem. The authors investigate the possibilities of a unified information system of “Automated freight management system”, which allows solving complex problems of ensuring the operational work of railway transport under industry reforming, which will improve the interaction of Ukrzaliznytsia with cargo owners and shippers by facilitating the use of electronic shipping documents in local and transit traffic.*

*The analysis on application of a unified information database, namely the influence of automated freight management system on increasing the accuracy of the information by canceling the exchange of data between the railways, improving the reliability and efficiency of calculations and reports, reducing the number of various certificates due to the information concentration in a unified information database has been carried out. With the introduction of a unified data processing system (“Automated Freight Management System”), it becomes possible to organize work on forwarding goods along the route; information is generated for conducting marketing research; control over freight, in particular, piggyback trains along the route; the opportunity is given to exercise unified control over the logistics and unification of the work of the railway transport; the ability to directly see the state of the wagon fleet (without exchanging information between railways); in the field of transit traffic, entry and exit stations, usually located on different railways, using a common information base, now directly see each other’s work in real time.*

**Key words:** sorting yard, information database, automation, transport technologies, car traffic volumes.



УДК 629.114

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/26>**Третяк В.М.**

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

**Оляднічук Р.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Кравченко В.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Ковальчук Ю.О.**

Уманський національний університет садівництва

**Третяк М.К.**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИ РУСІ ТРАКТОРА НА РІЗНИХ ОПОРНИХ ПОВЕРХНЯХ

Авторами проведені експериментальні дослідження для визначення витрат енергії на взаємодію колісних рушіїв з опорною поверхнею.

У статті представлені результати досліджень споживаної потужності, яка витрачається на рух трактора на різних опорних поверхнях (дорога з асфальтовим покриттям, стерня зернових культур та рілля). На тракторі заводської комплектації доволі складно визначити складники величини витрат потужності на його рух. З огляду на це дослідження проводили на електричному тракторі ХТЗ-2511Е, який розроблений фахівцями ННЦ «ІМЕСГ» спільно з ПАТ «Харківський тракторний завод».

Методика досліджень базується на прямих вимірюваннях споживаної потужності, яку електротрактор споживає безпосередньо з акумулятора. Для цього за допомогою аналогово-цифрового перетворювача реєстрували величину напруги на ПК, сигнал отримували з паралельно приєданого подільника напруги. Значення сили струму знімали з додатково встановленого шунта. Таким чином, величину споживаної потужності в часі отримували множенням показників напруги на силу струму. Вимірювана величина споживаної потужності на акумуляторі трактора включає такі складники: енергію, що витрачається на роботу електродвигуна та контролера при перетворенні постійного струму на змінний; механічні втрати в трансмісії трактора; потужність, що витрачається на взаємодію шин з опорною поверхнею. Аналіз результатів експериментальних досліджень споживаної потужності показав значну варіацію змін величини потужності залежно від опорної поверхні та тиску повітря в шинах. Під час руху на поверхні, яка деформується, значна частина енергії витрачається на утворення колії.

У статті обґрунтовується необхідність застосування обладнання, яке б дозволяло контролювати та коригувати тиск повітря в шинах відповідно до умов роботи.

**Ключові слова:** колісний трактор, споживана потужність, шини, опорна поверхня, тиск повітря в шинах.

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності роботи колісних тракторів є пріоритетним напрямом розвитку механізації сільського господарства. Взаємодія пневматичного колеса з опорною поверхнею призводить до значних енергетичних витрат, які характеризують економічність та тягово-зчіпні властивості сільськогосподарських тракторів. Відомо, що тяговий ККД коліс-

них тракторів складає 58–68%. Значна частина цих витрат залежить від конструкційних особливостей трактора, а на втрати в ходових системах, які складають до 20%, можна впливати.

Процес взаємодії колісного рушія з опорною поверхнею характеризується, з одного боку, параметрами рушія (ширина та діаметр колеса, тиск повітря в шинах, рисунок протектора та його величина

і розміщення) та навантаженням на нього, а з іншого, – фізико-механічними властивостями поверхні руху (вологість, щільність, пористість). Під час контакту колеса з ґрунтом виникає його деформація у вертикальному, поздовжньому та бічному напрямках. Вертикальні деформації ґрунту призводять до витрат енергії на утворення колії, тобто кочення колеса. Поздовжні (горизонтальні) деформації характеризують зчеплення з ґрунтом. Численні деформації елементів шини супроводжуються великими втратами енергії, в результаті чого шина нагрівається та змінює свої експлуатаційні властивості.

Визначення даних втрат на різних поверхнях за різних експлуатаційних умов досить складне, тому, як правило, виконують його на стендах без врахування реальних умов кочення колеса. Застосування електротрактора дозволяє виконати прямі вимірювання витрат потужності ходовими системами на перекочування та утворення колії на різних фонах.

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

У класичній теорії руху тягово-транспортних засобів величина потужності, що витрачається на деформацію опорної поверхні, визначається на підставі визначення сили опору руху  $P_f$  за допомогою коефіцієнтів опору руху  $f$  різних типів рушіїв на різних опорних поверхнях [1, с. 32; 2, с. 27; 3, с.44]. Здебільшого під час теоретичного дослідження процесів, які відбуваються при русі колеса опорною поверхнею, яка деформується, математичні моделі є досить складними для практичних розрахунків [4, с. 7].

Автор навчального посібника [5, с. 46] запропонував методику визначення сили опору кочення  $P_f$ , аналізуючи величину роботи, яка витрачається на утворення колії колесом. Дослідження показали, що опорна поверхня еластичного колеса при коченні його пластичною поверхнею близька до циліндричної. Отже, при наближеній теоретичній оцінці  $P_f$  еластичне колесо умовно можна замінити жорстким зі збільшеним діаметром порівняно з реальним. Розраховані значення коефіцієнту опору кочення  $f$  даним методом є наближеними, і в деяких випадках їх значення суттєво перевищують реальні значення. Однак теоретичний підхід дозволяє спрогнозувати ступінь впливу зміни параметрів колеса або стану ґрунту на зміну глибини колії та силу опору коченню колеса  $P_f$ .

У роботі [6, с. 69] подано методику визначення механічної потужності, яка витрачається на утворення колії ходовою системою тягово-транспортних засобів, та результати теоретич-

них досліджень зміни енергетичних складників руху. Методика ґрунтується на зміні енергетичних показників кочення колеса залежно від швидкості утворення колії, яка залежить від глибини колії, швидкості руху тягово-транспортного засобу та радіуса кочення колеса. Відповідно до прийнятих припущень, що  $V=\text{const}$  та  $R=\text{const}$ , час на утворення колії буде залежати від довжини шляху ущільнення та швидкості руху.

Дослідження показали, що потужність стрімко зростає на перших 5 см утворення глибини колії, а потім спостерігається майже лінійна залежність. Величина потужності більше залежить від радіуса колеса, ніж від глибини колії. З огляду на отримані дані для зменшення втрат енергії необхідно встановлювати якомога більшого діаметру передні колеса тракторів з колісною формулою 4К2 та 4К4а.

У роботі [7, с. 58] автори для виявлення впливу ходових систем тягово-транспортних засобів на ґрунт застосували метод визначення зміни механічних та електричних властивостей ґрунту залежно від зміни його внутрішнього тиску. З допомогою методів геофізичної електророзвідки вирішувалась зворотна задача – визначення зміни тиску в ґрунті від реєстрації зміни його електропровідності.

У роботі [8, с. 74] автори запропонували пристрій, який дозволяє проаналізувати гістерезисні втрати та тиск повітря в шинах під час експлуатації. Робота приладу базується на зміні внутрішнього об'єму шини під час деформації. Згідно з результатами досліджень встановлені такі складники енергетичних втрат: гістерезисні втрати в шині (до 90% всіх втрат), втрати під час ковзання шини на поверхні дороги (5–9%) та втрати енергії на подолання аеродинамічного опору (1–5%).

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження витрат енергії на взаємодію колісних рушіїв з опорною поверхнею.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Відомо, що основна частина навантаження, яке діє на пневматичну шину, сприймається внутрішнім повітрям, а інша частина – матеріалом самої шини. Що більша кількість повітря в шині і його тиск, то більше навантаження може сприйняти шина, при цьому фіксуються менші гістерезисні втрати та втрати на перекочування шини. Якщо ж розглядати роботу шини на пластичній поверхні (пухкий ґрунт), то за високого тиску утворюється глибока колія та погіршуються тягово-зчепні властивості колеса. Саме тому для покращення властивостей пневматичних шин на м'яких ґрунтах

знижують тиск в шинах, завдяки чому шина стає еластичнішою, збільшується радіальна деформація, а також площа контакту з ґрунтом, унаслідок чого утворюється менш глибока колія. Здебільшого досягнення необхідної еластичності (зниження тиску) обмежується величиною радіальної деформації шини, за якої відбувається руйнування шини та збільшення гістерезисних втрат.

На тракторі заводської комплектації доволі складно визначити характер розподілу споживаної потужності, тому дослідження проводили на електричному тракторі ХТЗ-2511Е (рис. 1), який розроблений фахівцями ННЦ «ІМЕСГ» спільно з ПАТ «Харківський тракторний завод» [9, с. 202]. На тракторі встановлений трифазний електродвигун компанії “Golden Motor” номінальною потужністю 10 кВт, оснащений контролером для перетворення постійного струму на змінний та забезпечення частотного регулювання роботи електродвигуна. Маса трактора становить 2045 кг, розмірність передніх шин 6,5-16НС6, задніх – 9,5R-32НС6.



Рис. 1. Електротрактор на базі трактора ХТЗ-2511

Для визначення величини витрат енергії на переміщення електротрактора вимірювали потужність, яку він споживає безпосередньо з акумулятора. Для цього за допомогою аналогово-цифрового перетворювача реєстрували величину напруги на ПК, сигнал отримували з паралельно приєднаного подільника напруги. Значення сили струму знімали з додатково встановленого шунта. Таким чином, величину споживаної потужності в часі отримували множенням показників напруги на силу струму. Вимірювана величина споживаної потужності на акумуляторі трактора включає такі складники: енергію, що витрачається на роботу електродвигуна та контролера під час перетворення постійного струму на змінний; механічні втрати в трансмісії трактора; потужність, що витрачається на подолання опору коченню (деформація шин та опорної поверхні, подолання перешкод).

Визначення величини витрат потужності проводили на трьох таких видах опорних поверхонь: асфальтова дорога, стерня нормальної вологості після зернових колосових культур, рілля. Механічна потужність – це добуток сили опору перекочуванню  $P_f$  та поступальної швидкості. Щоб визначити силу  $P_f$ , необхідно стабілізувати швидкість. Для підтримання постійної швидкості руху на рівні 10 км/год вмикали круїз-контроль в контролері електричного двигуна. Змінюючи тиск в шинах від 60 до 160 кПа, проводили заїзди на різних поверхнях.

Час руху на асфальтовій поверхні складав 125 с, при цьому сумарні витрати потужності становили від 3,8 до 4,4 кВт (рис. 2). Найменше споживання спостерігаємо при тиску в шинах 120–140 кПа, що пов'язано з мінімальними гістерезисними втратами в шинах. Структуру розподілу споживаної потужності подано на рис. 3 за тиску повітря в шинах 100 кПа, при цьому сумарні витрати енергії становлять 4,0 кВт. Визначення величини енергії, яка витрачається на перетворення з електричної на механічну, виконували при вмиканні реверса трансмісії трансмісії в нейтральне положення. При цьому, на роботу електродвигуна та контролера витрачається 1,318 кВт, що становить 33% від сумарних витрат. Під час визначення механічних втрат в трансмісії трактора він був піднятий таким чином, щоб ведучі колеса не торкались опорної поверхні, при цьому втрати потужності в трансмісії склали 0,947 кВт. Отже, потужність, яка витрачається на подолання опору кочення коліс, становить 1,735 кВт. Оскільки асфальтова поверхня не деформується, то будемо вважати, що 1,735 кВт – це витрати на деформацію шин.

Під час руху стернею зернових колосових культур нормальної вологості витрати на рух трактора без навантаження склали від 6,5 до 7,5 кВт (рис. 2). Найменші значення отримали при тиску в шинах 80–120 кПа, найбільші – при значеннях тиску менше 80 кПа та більше 120 кПа. Аналіз структури споживаної потужності на даному на даному агрофоні або на даній поверхні (при 100 кПа) показав зростання витрат на взаємодію шини і опорної поверхні до 4,235 кВт (рис. 4). Дана енергія, крім деформації шини, витрачалась на деформацію ґрунту (2,5 кВт). При цьому перші два складники споживаної потужності залишились без змін – 1,318 та 0,947 кВт. Потрібно також зазначити, що під час руху трактора стернею без навантаження значне ущільнення ґрунту відбувалось після проходження передніх коліс, а задні колеса перекочувались лише з зануренням шипів шин.

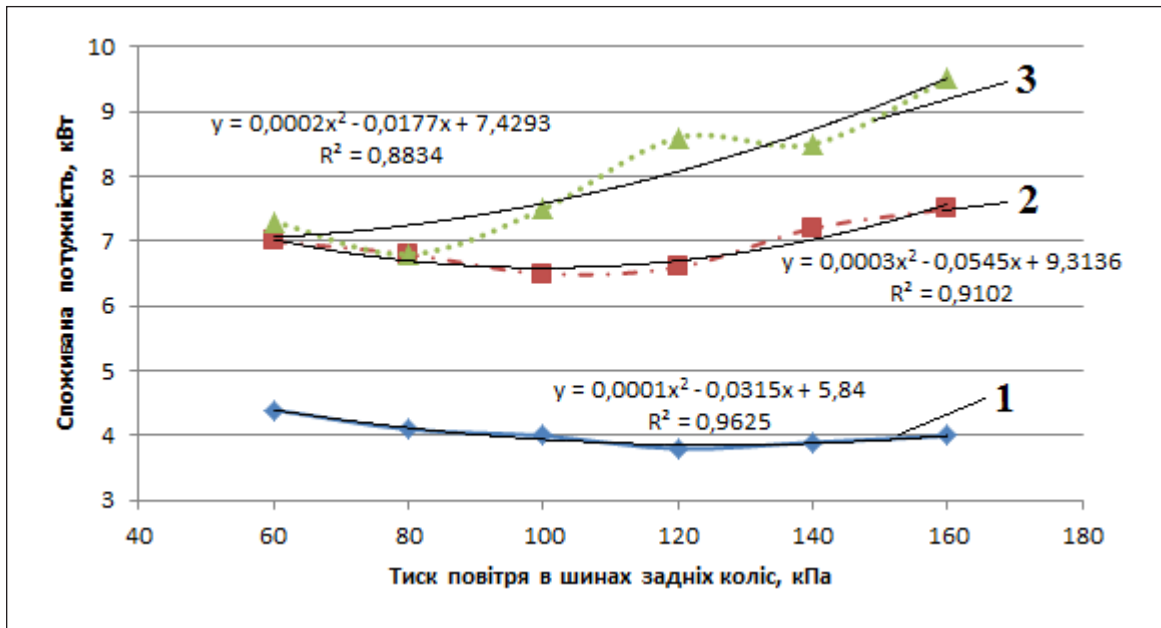


Рис. 2. Залежність необхідної споживаної потужності від АКБ на рух трактора від виду опорної поверхні та тиску повітря в шинах: 1 – асфальтова дорога; 2- стерня після зернових колосових культур; 3 – рілля.

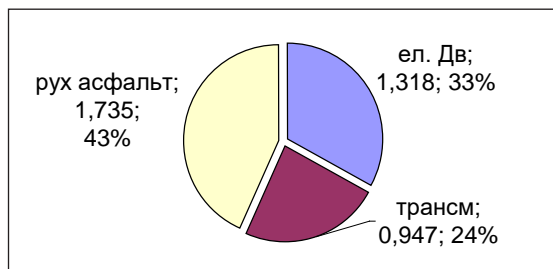


Рис. 3. Розподіл потужності на асфальті на швидкості 10 км/год

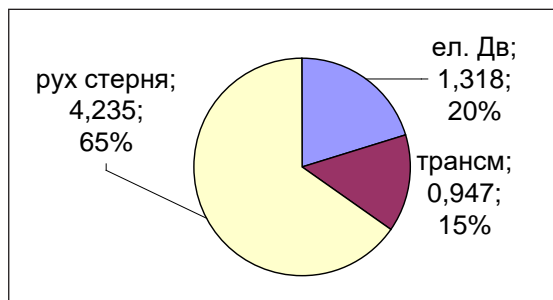


Рис. 4. Розподіл потужності при русі стернею зернових на швидкості 10 км/год

Під час руху ріллею зафіксували найбільше споживання потужності – від 6,8 до 9,5 кВт (рис. 2). При цьому мінімум витрат отримали при тиску в шинах нижче 100 кПа, оскільки за таких умов збільшується площа контакту шини з опорною поверхнею. У разі встановлення тиску більше 120 кПа збільшується глибина колії та деформація ґрунту в горизонтальному напрямку,

що призводить до зростання висоти ґрунтового клину попереду коліс. Такий ефект найчастіше спостерігається на перезволожених та пластичних ґрунтах. Що більша щільність ґрунту, то менша кількість ґрунту виштовхується убік. У структурі споживаної потужності витрати на подолання опору коченню складають від 5,235 кВт (рис. 5).

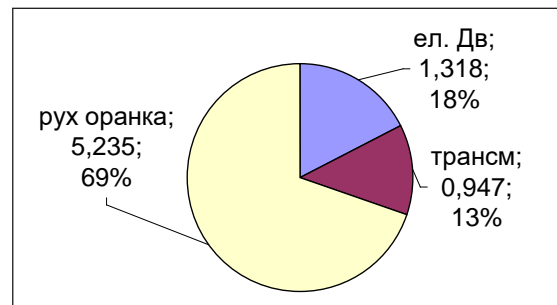


Рис. 5. Розподіл потужності під час руху ріллею на швидкості 10 км/год

На підставі експериментальних досліджень підтверджено та визначено величини витрат енергії залежно від тиску в шинах на різних опорних поверхнях. Для підвищення економічності тягово-транспортних засобів необхідно застосовувати пристрої для регулювання та контролю тиску повітря в шинах, оскільки на різних поверхнях значення оптимального тиску в шинах також є різними.

**Висновки.** Зміна тиску повітря в шинах трактора під час руху на різних опорних поверхнях суттєво впливає на витрати енергії і палива.



Під час виконання транспортних робіт трактором ХТЗ-2511 бажано підтримувати тиск повітря в шинах в межах 120–140 кПа, а під час польових робіт на стерні зернових колосових культур – в межах 80–120 кПа. Під час роботи на пухких ґрунтах, які деформуються, необхідно встановлювати тиск повітря в шинах не більше 100 кПа.

Залежно від умов експлуатації трактора ХТЗ-2511 (комунальні роботи у місті, обслуговування ферм чи польові роботи) бажано його комплектувати шинами з різними втратами на гістерезис.

Для оперативного контролю тиску повітря в шинах під час експлуатації при конструюванні нових тракторів доцільно встановлювати системи керування тиском в шинах.

#### Список літератури:

1. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства. Москва : ИНФРА-М, 2016. 504 с.
2. Рославцев А.В. Теория движения тягово-транспортных средств : учебное пособие. Москва : УМЦ «ТРИАДА», 2003. 172 с.
3. Гуськов В.В. Тракторы. Теория / под. общ. ред. В.В.Гуськова. Москва : Машиностроение, 1988. 376 с.
4. Гуськов В.В. Динамическая характеристика многоцелевых колесных машин при движении по грунтовым поверхностям. Минск : БНТУ, 2018. 38 с.
5. Савочкин В.А. Тяговая динамика колесного трактора : учебное пособие. Москва : МГТУ «МАМИ», 2005. 97 с.
6. Мінімізація втрат потужності тягово-транспортних засобів при русі по опорній поверхні, яка деформується / О.О. Можасв та ін. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2019. № 1 (97), Vol 1. P. 69–74. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156721.
7. Третьяк В.М., Болдовский В.Н., Потапов Н.Н. Метод определения воздействия ходовых систем тягово-транспортных средств на почву. *Вестник национального технического университета «ХПИ»*. 2007. Вып. 12. С. 58–62.
8. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Калугин А.А., Гальянов И.В. Исследование гистерезисных потерь при взаимодействии пневматического колёсного движителя с несущей поверхностью. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 3 (59). С. 74–77.
9. Мельник Р.В. Ефективність роботи мобільних електрифікованих засобів сільськогосподарського призначення. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Кіровоград : КНТУ, 2016. Вип. 29. С. 202–208.

#### **Tretiak V.M., Oliadnichuk R.V., Kravchenko V.V., Kovalchuk Y.O., Tretiak M.K.** **EXPERIMENTAL RESEARCH ON POWER DISTRIBUTION IN TRACTOR MOVEMENT ON DIFFERENT SUPPORTING SURFACES**

*The authors conducted experimental studies to determine the costs of energy for the interaction of wheels with the reference surface.*

*The article presents the results of studies of the power consumed by the movement of the tractor on various supporting surfaces: the road with asphalt, the stubble of cereals and arable land. On the tractor of the factory complete set it is quite difficult to determine the components of the power losses on its movement. Therefore, the research was carried out on an electric tractor HTZ-2511E, which was developed by the specialists of the National Scientific Center "IAEE" together with the PJSC "Kharkiv Tractor Plant".*

*The research methodology is based on direct measurements of power consumption consumed directly by the electric motor from the battery. For this purpose, using an analog-to-digital converter, the amount of voltage was recorded on a PC, the signal of which was obtained from a parallel connected voltage divider. The value of the current was removed from the additionally installed shunt. Thus, the amount of power consumed over time was obtained by multiplying the voltage readings by the current. The measured power consumption of the tractor battery includes the following components: energy expended on the operation of the motor and the controller when converting direct current to alternating current; mechanical losses in transmission of the tractor; the power consumed by the interaction of the tires with the support surface. The analysis of the results of the experimental studies of the power consumption showed a considerable variation of the changes in the power value depending on the support surface and the air pressure in the tires. When moving on a surface that is deformed, much of the energy is spent on track formation.*

*The necessity to use equipment that would allow to control and adjust the air pressure in the tires according to the working conditions is justified.*

**Key words:** wheeled tractor, power consumption, tires, support surface, tire pressure.

**Фомін О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Прокопенко П.М.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Бурлуцький О.В.**

Український державний університет залізничного транспорту

**Фоміна А.М.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

## КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

*За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, у тому числі вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів. Сьогодні на залізницях України перебувають в експлуатації вагони-цистерни з терміном служби, який перевищує встановлений заводом-виробником. Аналіз технічного стану вагонів-цистерн після проведення планових видів ремонту показує, що значна їх частина перебуває в задовільному стані. Для вирішення питання про можливість подальшої безпечної експлуатації з вичерпаним терміном служби проводиться їхнє технічне діагностування та контрольні випробування.*

*Проаналізувавши парк та технічний стан вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів, ми виявили, що основну частину парку складають вагони-цистерни моделі 15-1407 для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597, 15-1619 для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 для перевезення пропану-бутану, проте ці моделі вагонів перебувають у гарному технічному стані. Перелічені вагони-цистерни конструктивно відрізняються один від одного за такими ознаками: матеріал, з якого виготовляється котел цистерни; діаметр котла; кількість обичайок в котлі; захисне обладнання днища котла від пошкоджень під час аварій; захист арматури котла.*

*Аварійна ситуація (особлива ситуація) – це ситуація, яка виникає в процесі перевезення внаслідок технічної несправності (відмови) частин залізничної транспортної системи або виникнення екстремальних зовнішніх чинників чи їх поєднань і яка характеризується порушенням дієздатності системи або створенням небезпечних умов експлуатації. Прикладами аварійних ситуацій можуть бути такі інциденти: удар автозчепу в днище котла цистерни, саморозчеп вагонів, підвищення тиску в котлі цистерни вище робочого тощо.*

**Ключові слова:** вагон-цистерна, ударні випробування, аварійні випробування, пошкодження, герметичність, продовження строку експлуатації.

**Постановка проблеми.** Потрібно обґрунтувати необхідність проведення контрольних випробувань вагонів-платформ.

Проаналізувавши парк та технічний стан вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів, ми виявили, що основну частину парку складають вагони-цистерни моделі 15-1407 для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597, 15-1619 для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 для перевезення пропану-бутану, але вони перебувають у гарному технічному

стані. Перелічені вагони-цистерни конструктивно відрізняються один від одного такими ознаками: матеріал, з якого виготовляється котел цистерни; діаметр котла; кількість обичайок в котлі; захисне обладнання днища котла від пошкоджень під час аварій; захист арматури котла.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ми проаналізували сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів. Зокрема, стаття [1] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і осо-

бливостей їх проектування, однак у ній обмежено представлені можливості застосування таких інновацій для вагонів. Автори роботи [2] відображають певні перспективні напрями динаміки залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботі [3] представлені результати, а також особливості проведених теоретичних та експериментальних досліджень з впровадження стикованого виконання хребтової балки вагонів-окашиєвозів. Робота [4] присвячена представленню перспективних напрямів проектування рам візків та їх особливостей. У роботі [5] автори відображають результати комплексного аналізу економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. У роботах [6; 12] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в математичному записі задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. У статті [7] опубліковані результати досліджень з визначення впливу поздовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники. Робота [8] висвітлює дослідження динаміки вагона-платформи, які дозволяють підвищити експлуатаційну безпеку вагонів при комбінованих перевезеннях та мотивуватимуть проектування вагонів нового покоління для використання у комбінованому міжнародному сполученні. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні відіграють відповідні підходи в проектуванні. Наприклад, у роботах [9; 10] представлено впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. У роботах [11; 13] представлені особливості та результати вико-

наного аналізу нового напрямку енергозбереження на залізничному транспорті, що ґрунтується на зменшенні опору руху, пов'язаного з втратами потужності на спрямування екіпажів рейковою колією. З огляду на сказане можна дійти висновку, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів щодо випробування та технічного діагностування вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів, особливо в умовах аварійних ситуацій.

Аварійна ситуація (особлива ситуація) – це ситуація, яка виникає в процесі перевезення внаслідок технічної несправності (відмови) частин залізничної транспортної системи або виникнення екстремальних зовнішніх чинників чи їх поєднань і яка характеризується порушенням дієздатності системи або створенням небезпечних умов експлуатації. Прикладами аварійних ситуацій можуть бути такі інциденти: удар автозчепу в днище котла цистерни, саморозчеп вагонів, підвищення тиску в котлі цистерни вище робочого тощо.

**Постановка завдання.** Мета статті – висвітлення теоретичних та практичних особливостей проведення технічного діагностування, контрольних випробувань та випробувань з імітацією аварійних ситуацій вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основну частину парку вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів складають вагони-цистерни моделі 15-1407 для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597 для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 для перевезення пропану-бутану. Їхні технічні характеристики наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики вагонів-цистерн

Модель	15-1407	15-1408	15-1440	15-1597	15-1409	15-1556	15-1519	15-1780
Призначення	Для пропану	Для аміаку	Для аміаку	Для аміаку	Для хлору	Для хлору	Для пропану	Для бутану
Матеріал кузова	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,
Тара, т								
min	34,6	32,3	32,0	35,7	28,9	27,2	34,8	34,8
max	36,7	36,7	33,5	38,8	30,7	30,0	38,8	36,8
Вантажопід'ємність, т	22,9	30,7	30,7	43,0	47,6	57,5	46,0	52,1
Об'єм, м <sup>3</sup>	54,0	54,0	54,0	76,0	38,7	46,0	75,7	83,8
Внутрішній діаметр, мм	2600	2600	2600	3000	2200	2400	3000	3200
Строк служби	40	20	20	40	24	24	40	40





Рис. 1. Вагон-цистерна моделі 15-1408-02



Рис. 2. Вагон-цистерна моделі 15-1556

Досвід експлуатації залізничного транспорту показує, що значна частина аварійних ситуацій на залізничних коліях пов'язана з вагонами-цистернами, які перевозять рідкі вантажі широкого асортименту, в тому числі скраплений газ, нафтопродукти, концентровані кислоти, токсичні та вибухонебезпечні продукти хімічного походження. Частіше такі аварії супроводжуються наїздом вагона на вагон та перекиданням цистерн, в результаті чого може відбутися порушення цілісності котла (пробоїна днища, пошкодження горловини для наливу вантажу, розрив обичайки в зоні з'єднання котла з рамою тощо) і витікання екологічно небезпечного вантажу. Для більшості аварійних ситуацій, які виникають у разі сходження вагона з рейок, наїзду вагона на вагон або перешкоду характерним являється саморозчеплення вагонів і удар автозцепом сусіднього вагона або його довгим вантажем в днище котла цистерни (рис. 3).

Сьогодні як засоби захисту днищ вагонів-цистерн в аварійних ситуаціях використовуються додаткові металеві накладки на днища (фальшднища) або торцеві щити. Накладні металеві елементи, посилюючи нижню частину днища та повторюючи його форму, використовуються на цистернах моделей 15-1619, 15-1408 (рис. 4). Дані захисні елементи володіють низькою енергоємністю, оскільки щільно прилягають до днища цистерни.



Рис. 3. Пошкодження котла цистерни



Рис. 4. Вагон-цистерна для пропану

Враховуючи досвід експлуатації та результати обстеження технічного стану, можемо визначити ймовірність відмов елементів рами вагона-цистерни  $P_i$  ( $i=1, 2, 3 \dots N$ , де  $N$  – кількість елементів) за такою формулою:

$$P_i = \frac{\sum_1^k R_H}{k}, \quad (1)$$

де  $k$  – кількість обстежених вагонів;

$R_H$  – кількість несправних елементів одного типу в вагоні.

Для вагонів-цистерн, які перевозять аміак, зонами ризику є такі ділянки: зона приварки люку-лазу, фасонні лапи котла, зона опори котла на дерев'яні бруски, хребтова та шворнева балки рами.

Випробування проводились на 4-х вісному вагоні-цистерні моделі 15-1408 (рис. 5) для перевезення аміаку з терміном служби, що минув (20 років). Дослідний зразок – цистерна моделі 15-1619 (рис. 6) з діаметром котла 3200 мм.





Рис. 5. Вагон-цистерна 15-1408 для аміаку



Рис. 6. Вагон-цистерна моделі 15-1619

Платформа складається з рами зварної конструкції, яка установлена на двовісній візці моделі 18-100. Рама являє собою зварну систему балок коробчастого перетину – хребтової та двох шворневих. Котел зварної конструкції складається з циліндра та двох еліптичних днищ.

Перед початком випробувань проводилось технічне діагностування дослідного зразка, наклеювання тензорезисторів на раму вагона-цистерни та на котел, заміри товщини листів котла та рами, установка вимірювального обладнання.

Контроль технічного стану включав візуальний огляд вагона-цистерни, заміри товщини металу в контрольних точках котла і рами вагона, проведення магнітопорошкового, ультразвукового та акустико-емісійного контролю несучих металевих конструкцій.

Контрольні випробування включали статичні випробування вертикальним навантаженням, випробування на малоциклічне навантаження тиском котла, типові та ресурсні ударні випробування та випробування на можливі аварійні ситуації.

Випробування вертикальним статичним навантаженням виконувалось шляхом повного заповне-

ння водою котла вагона-цистерни з подальшим зливом. У ході випробування велася реєстрація дослідних показників.

Випробування на малоциклічне навантаження котла надлишковим тиском виконувалось шляхом повного заповнення водою котла з подальшим подаванням води до котла насосною станцією для створення надлишкового тиску до 2 МПа. Після кожних 75 циклів навантаження робочим тиском виконувалось навантаження випробуваним тиском 3 МПа.

Ударні випробування проводились зі швидкістю накатування вагона-бойка (масою 102 т) на дослідний вагон-цистерну від 1 до 12 км/год, вагон-цистерна при цьому перебувала в загальмованому стані та знаходилась в підпорі з загальмованих 4-х вагонів, що мали загальну масу близько 300 т. Повздовжні сили, які діяли на вагон-цистерну через автозчепний пристрій, сягали до 3,0 МН, а декілька ударів – до 4,2 МН. Під час ударних випробувань реєструвались деформації в елементах конструкції дослідного вагона-цистерни в найбільш напружених місцях, виявлених при статичних випробуваннях.

Перед початком та після завершення випробувань з імітацією аварійних ситуацій виконувалась перевірка герметичності котла шляхом створення надлишкового тиску від 0,5 до 3 МПа. Тиск витримувалась протягом 5 хв.

Котел випробовувався на такі наднормативні навантаження:

- створення надлишкового тиску до моменту руйнування котла або втрати його герметичності;
- одноразовий удар вагона-бойка масою 90 т у автозчеп вагона-цистерни зі швидкістю 22 км/год (рис. 7);
- удари головою автозчепу вагона-бойка масою 102 т в днище цистерни зі швидкістю 10,2 км/год (рис. 8).

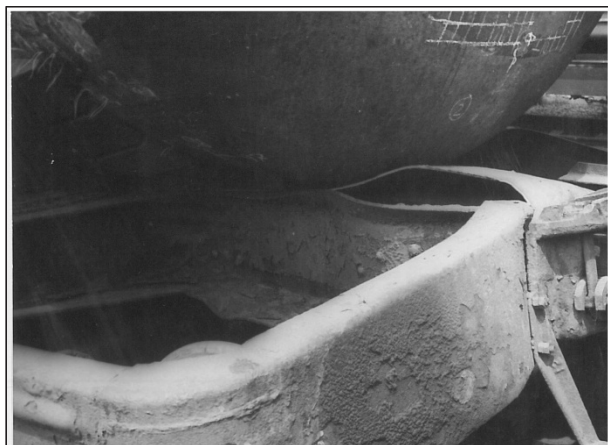


Рис. 7. Вагон-цистерна після удару



Рис. 8. Дослідний зразок після удару в котел автозцепом

У процесі ресурсних випробувань був проведений аналіз напруженого стану в контрольних точках котла вагона-цистерни. Як видно на рис. 9, напруження в контрольних точках не перевищували допустимого.

Критерієм оцінки міцності цистерни відносно дії нештатних навантажень є збереження вантажу та герметичності котла після проведення випробувань. Перевірка проводиться шляхом контрольного створення тиску в котлі.

**Висновок.** На основі проведення технічного діагностування та контрольних випробувань вагона-цистерни встановлено, що вагон-цистерна за технічним станом є типовим представником експлуатаційного парку залізниць України. Напружений стан котла вагона-цистерни від дії нормативних статичних та ударних навантажень не перевищував допустиму норму у 230 МПа. Під час випробувань на малоциклічне навантаження котла тиском від 0 до 2 МПа було проведено 225 циклів, що відповідає 5 рокам експлуатації. Під час випробувань з імітацією аварійних ситуацій (удар в днище цистерни, створення граничного тиску в цистерні до 6 МПа, удар в автозчепний пристрій вагона-цистерни на швидкості 22 км/год) пошкоджень та розгерметизації котла вагона-цистерни не було виявлено.

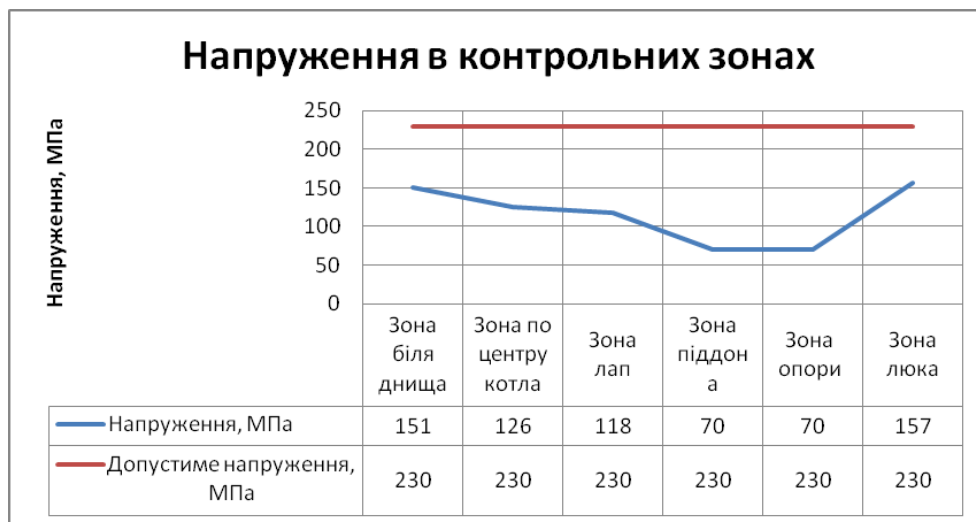


Рис. 9. Графік напружень в контрольних точках під час ударних випробувань

#### Список літератури:

1. Фомін О.В. Модернізація елементів стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва : збірник наукових праць. Донецьк : ДонІЗТ. 2011. № 26. С. 111–115.
2. Н.И. Луханин, С.В. Мямлин, Л.А. Недужая, А.А. Швец. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек : збірник наукових праць Донецького інституту заліз. тр-ту. Донецьк. 2012. Вип. 29. С. 234–241.
3. Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Saponova S., Bambura O. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.109588.
4. Kelrykh, M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Metallurgical and Mining Industry* : scientific and technical journal. 2014. №6. P. 64–67.

5. Макаренко М.В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. *Залізничний транспорт України* : науково-практичний журнал ДНДЦ УЗ. 2014. № 5. С. 107.
6. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності : зб. наук. праць. Харків : УкрДАЗТ. 2009. С. 121–131.
7. Швець А.О. Вплив поздовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 5 (77). С. 115–128. DOI: 10.15802/stp2018/146432.
8. Lovska A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3. P. 4–8.
9. Фомін О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. *Технологический аудит и резервы производства*. Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83–89.
10. Fomin O.V., Lovska A.O., Plakhtii O.A., Nerubatskyi V.P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2017. Issue 6. P. 89–96.
11. Tkachenko V., Sapronova S., Kulbovskiy I., Fomin O. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). P. 65–72. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.109791.
12. Фомін О.В., Логвіненко О.А., Дьомін Р.Ю., Бородай Г.П., Фомін В.В., Бурлуцький О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів. *Залізничний транспорт України* : науково-практичний журнал ДНДЦ УЗ. Київ. 2013. № 5/6(102/103). С. 95–104.
13. Kondratiev A., Slivinsky M. Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 6/5 (96). P. 42–48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387.

**Fomin O.V., Prokopenko P.M., Burlutskyi O.V., Fomina A.M.**

#### **CONTROLLING TESTS OF THE TANK-CARS FOR THE ASSESSMENT OF THE RESIDUAL RESOURCE OF UNDERTAKING STRUCTURES**

*In recent years, there has been a significant aging of the freight wagon fleet, including tank wagons for the transport of particularly dangerous goods. At present, tank wagons with a service life exceeding those established by the manufacturer and extended service life are in operation on the railway network of Ukraine. Analysis of the technical condition of tank wagons after scheduled repairs shows that a significant part of them is in good condition. In order to resolve the possibility of further safe operation with an extended life, their technical diagnostics and control tests are carried out.*

*Analyzing the park and the technical condition of tank wagons for the transportation of particularly dangerous goods, it is found that the main part of the park consists of tank wagons of model 15-1407 for the transport of propane, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15 -1440, 15-1597, 15-1619 for transportation of ammonia, 15-1409, 15-1556 for transportation of chlorine, 15-1519, 15-1780 for transportation of propane-butane, but they are in good technical condition. The above-mentioned tank wagons are structurally different from each other by the following features: the material of which the tank boiler is made, the diameter of the boiler, the number of shells in the boiler, the protective equipment of the bottom of the boiler against damage during accidents and the protection of the boiler fittings.*

*Emergency situation (special situation) - a situation that arises in the course of transportation as a result of a technical malfunction (failure) of parts of the railway transport system or the emergence of extreme external factors or combinations thereof, which is characterized by a disruption of the system's capacity, or the creation of dangerous operating conditions. Examples of emergencies are: hitch of the auto-coupling in the bottom of the tank of the tank, self-splitting of cars, increase of pressure in the tank of the tank above the worker and other.*

**Key words:** tank wagon, shock tests, crash tests, damage, tightness, extension of service life.



**Шевчук В.В.**

Уманський національний університет садівництва

**Кутковецька Т.О.**

Уманський національний університет садівництва

## АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВНУТРІШНЬОГРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ У САДІВНИЦТВІ

*У даній статті розглянуто різні технічні засоби для внесення добрив у садівництві, тому що ефективне виробництво продукції садівництва можливе лише за умови впровадження інтенсивних технологій, які передбачають використання високопродуктивних машин та дотримання всіх агротехнічних вимог виконання основних технологічних операцій. Серед таких операцій є і внесення добрив, якісне виконання якого дозволяє підвищити врожайність плодових культур у декілька разів. У роботі наведено різноманітні конструкторські рішення машин та агрегатів саме для внутрішньогрунтового внесення добрив у садівництві. Попри велику кількість машин для виконання таких робіт і наявність різних способів внесення, частина пристроїв не отримала широкого розповсюдження. Причиною цього є низка істотних недоліків, властивих кожному з таких способів. У пристроїв, що суміщають внесення добрив з обробитком ґрунту, недоліком є пошкодження кореневої системи рослин, у крокуючих і ротаційних пристроїв – складність конструкції, у позиційних – мала продуктивність, у пристроїв з гідропульсним внесенням рідини – високий тиск, що руйнує машину, а також проблема його забезпечення.*

*Завдяки проведеному аналізу встановлено, що одним із перспективних способів внутрішньогрунтового внесення добрив у садівництві є використання електрогідролічного ефекту для створення гідропульсних струменів. Електрогідролічний ефект полягає у підвищенні тиску рідини електричним розрядом. Застосування електрогідролічного ефекту сьогодні досить поширене, проте у даному випадку актуальними є пристрої, що забезпечують гідропульсні струмені з високою концентрацією енергії. Такий спосіб внесення добрив відповідає всім агротехнічним вимогам і має явні переваги щодо можливостей дистанційного регулювання глибини і дози внесення розчинів.*

**Ключові слова:** внесення добрив, засоби механізації, садівництво, технологічний процес, машини.

**Постановка проблеми.** Ефективне виробництво продукції садівництва можливе за умови впровадження інтенсивних технологій, які передбачають використання високопродуктивних машин та дотримання всіх агротехнічних вимог виконання основних технологічних операцій. Серед них – внесення добрив як одна із операцій, якісне виконання якої дозволяє підвищити врожайність плодових культур у декілька разів. Саме тому роботи зі створення та вдосконалення машин для внесення добрив і розробка технологій внесення з використанням нових машин є постійно актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням внесення добрив у садах та використанням засобів механізації для даного виду робіт займалися такі науковці, як І.Б. Беренштейн [2, с. 29], Б.М. Козирев [4, с. 60], А.Д. Саблін [5, с. 89], В.А. Семенов [6, с. 55] та інші. Проте питання, що стосуються розробки нових технологій внесення добрив у садівництві,

завжди є актуальними. Вирішенню таких питань і присвячена наша стаття.

**Постановка завдання.** На основі літературних джерел та досліджень різних науковців необхідно провести аналіз перспективних машин та способів внутрішньогрунтового внесення добрив у садівництві.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Останнім часом було створено багато машин і пристосувань для внутрішньогрунтового внесення добрив, які можна розділити на два таких типи: безперервної і періодичної дії (Рис. 1) [2, с. 36].

Розглянемо основні види машин для внутрішньогрунтового внесення добрив. Наприклад, машина УОМ-50 призначена для глибокого розпушування ґрунту з одночасним внесенням органічно-мінеральних добрив вузькою стрічкою у міжряддях виноградників, розсадників і садів. Основний робочий орган машини – сошник, що призначений для утворення в ґрунті щілини і загортання добрив на глибину від 30 до 50 см.



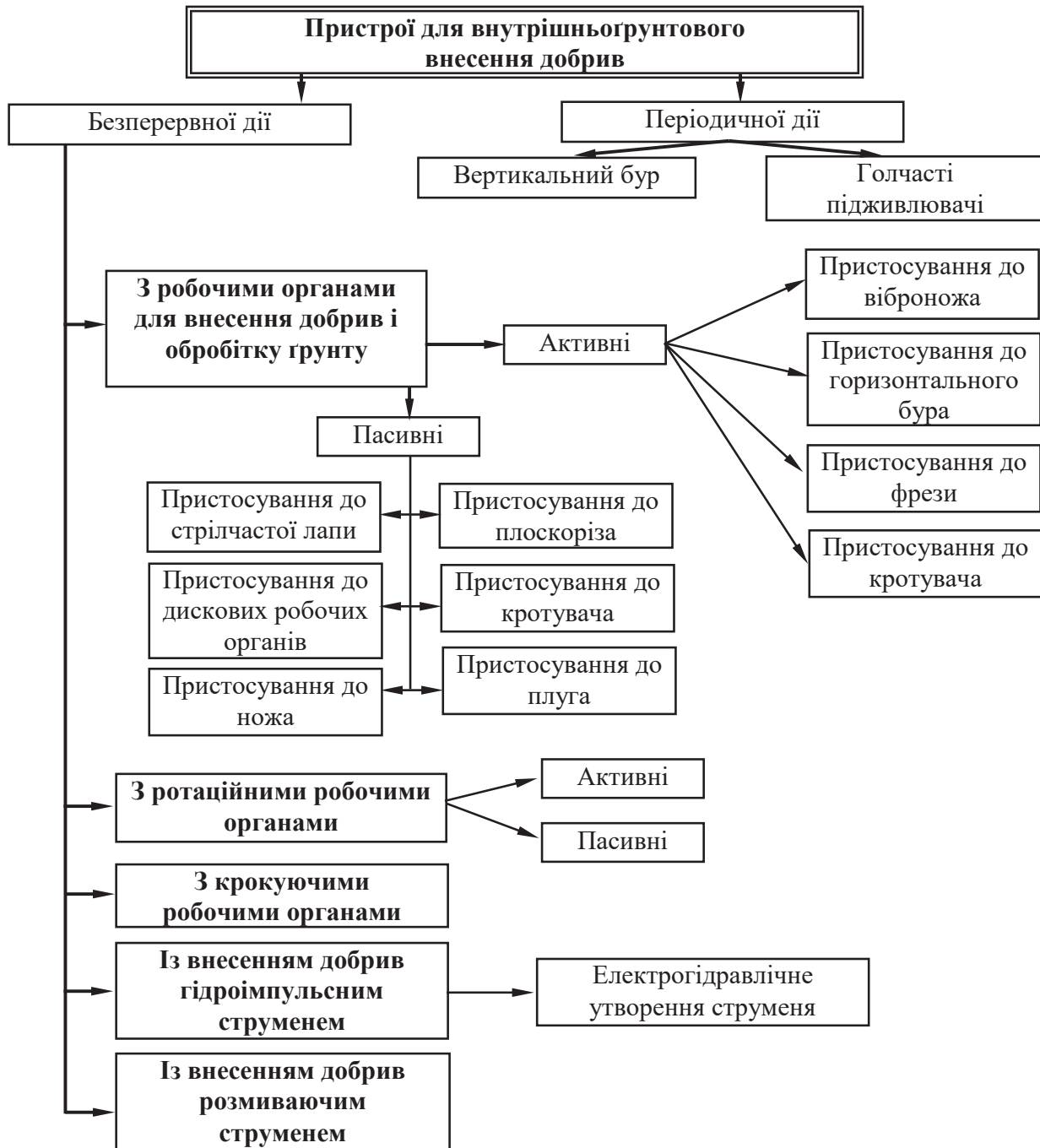


Рис. 1. Класифікація пристроїв для внутрішньогрунтового внесення добрив

Машиною УОМ-50 можна внести до 6 т мінеральних добрив на 1 га, продуктивність такої машини становить 0,7–2 га/год, місткість бункера – 2 м<sup>3</sup>.

Для збільшення ефекту від внутрішньогрунтового внесення добрив створено агрегат для пошарового внесення добрив на базі культиватора КВГ-3,6. За допомогою такого агрегату добрива вносяться в декілька шарів, завдяки чому збільшується доступність добрив до більшої кількості

коренів рослини. Максимальна глибина внесення добрив – 25 см, місткість бункера – 0,66 м<sup>3</sup>.

Для пошарового внесення рідких мінеральних добрив створена машина МЖУ-2,5. Підживлювальним пристосуванням машини є трубка із закріпленими на ній жиклерами, що забезпечують внесення робочої рідини до зони обробітку на глибину 10, 20 і 30 см. Місткість резервуара МЖУ-2,5 – 300 л, продуктивність – 0,6–1,0 га/год [4, с. 59].

Машина для внесення рідкого аміаку в садах МВАС-4 здійснює внесення 10-ма робочими органами на глибину 20–40 см, забезпечуючи при цьому продуктивність 2,0–3,5 га/год.

У Японії машина “STAR” моделі TSI 2200A здійснює внесення добрив на глибину 18–22 см розпушувачем зі стрілкою лапою, за стійкою якої розташований підвідний патрубок. Добрива подаються в утворювану щілину. Щоб вони не витікали на поверхню, позаду розпушувача встановлений ущільнюючий коток, а попереду розпушувача розташований дисковий ніж з активним приводом.

У США для внесення рідких добрив використовується розпушувач з дисковим ножом. Для подачі добрив до лапи розпушувача стійка зроблена порожнистою.

Комбінований агрегат для кротування і одночасного внесення рідких мінеральних добрив [4, с. 60] складається з розкидача РЖТ-8, обладнаного начіпним щілерізом-кротувачем, виконаним на базі плоскоріза ОПТ-3-5. У процесі роботи рідкі добрива з резервуара через трубопроводи подаються насосом в порожнини кротувачів, а потім потрапляють у ґрунт. Щілини, утворені стійками культиватора, загортаються шарнірно закріпленими кутознімачами, виготовленими з лемешів плоскоріжучих лап.

Агрегат для кротування і внесення у ґрунт рідких комплексних добрив у вигляді краплинно-повітряної суміші [4, с. 60] складається з компресора, ресівера, сполученого трубопроводом з блоком управління, рідинного насоса, робочих органів у вигляді порожнистих голок, що переходять в похилі порожнисті стійки, передні частини яких утворюють плоский ніж і котки. У процесі роботи повітря з компресора та робоча рідина з резервуара подаються у пневматичний розпилювач, що складається з конфузотно-дифузотного сопла, камери змішування і рідинних відцентрових форсунок. Рідина дробиться на краплі трьома такими способами: гідравлічним (відцентровими форсунками), пневматичним (поперечним потоком повітря) і механічним (під час удару великих крапель у відбивні поверхні повітропроводу). Отриманий у такий спосіб високодисперсний газорідинний струмінь подається через робочі органи в ґрунт.

Тукозагортаючий робочий орган з ножом, що вібрує, значно знижує тяговий опір агрегату [2, с. 87]. Робочий орган складається з рами, стійки, тукопроводу, котка і вібруючого ножа з ексцентриковим механізмом приводу від вала відбору потужності трактора.

Робочий орган для внесення рідких мінеральних добрив з розділенням струменя добрив на декілька потоків [2, с. 95] складається зі стійки з каналом для подачі добрив, закріпленої за стійкою ротаційного робочого органу, що має вигляд втулки, і пустотілого вала, в задній частині якого закріплений порожнистий ротор. У процесі роботи стійка розрізає ґрунт, а втулка утворює кротовину. Через канал у стійці добрива потрапляють у втулку, потім в порожнистий вал і звідти в ротор. Складається ротор із внутрішнього і зовнішнього конусів, що сполучені своїми поверхнями й утворюють трубчасті проходи для добрив. Трубчасті проходи розташовані у гвинтових лініях і обладнані кромками, які врізаються в ґрунт, забезпечуючи обертання ротора. У такий спосіб добрива потрапляють до ґрунту і загортаються гвинтовими лініями, що сприяє їх більш рівномірному розподілу.

Універсальна дискова борона з пристроєм для внесення рідких розчинів [2, с. 120] складається з батареї сферичних дисків, за якими розташовані форсунки і спеціальні підгортачі, резервуара, насоса і дозувальної системи. У процесі роботи рідина з резервуара насосом через дозувальну систему подається до форсунок, якими вона уприскується в утворену диском борозну і закривається підгортачами.

Для садів із задернілими міжряддями створено робочий орган у вигляді келіферного ножа, обладнаного тукопроводом [2, с. 154]. Як базова модель використана машина НЮ-39, на якій, крім робочих органів, монтуються бункери для добрив. Під час проходження машини два робочі органи нарізають щілини глибиною 40 см на відстані 70 см від ряду плододерев. У щілини в заданій дозі вносяться добрива. Продуктивність машини становить 1,07 га/год.

Комбінований робочий орган для обробки ґрунту і внесення рідких комплексних добрив створено на основі культиватора КФГ-3,6 [6, с. 45]. Робочий орган складається із фрезерного барабана, під кожух якого встановлені підживлювальні трубки від агрегату АБА-0,5. У процесі роботи рідкі добрива підживлювальними трубками вносяться на дно борозни, утвореної барабаном, і прикриваються розпушеним шаром ґрунту.

У Кубанському СГІ розроблений робочий орган для об'ємного внесення твердих мінеральних добрив з утворенням розпушених дерен (рис. 2) [6, с. 79]. На вертикальному ножі-стійці у нижній його частині закріплений компактний редуктор, на передній частині вала якого змонтований

конусний розпушувач зі шнековою ребордою, а на циліндричній задній частині – змішувач із закріпленими на ньому дротяними шпильками. У верхній частині ніж кріпиться до балки навісного культиватора КРН-4,2. Під час руху агрегату шнековий розпушувач утворює подрібнений шар ґрунту, в який з тукопроводу подаються тверді мінеральні добрива і розподіляються в ньому за допомогою змішувача.

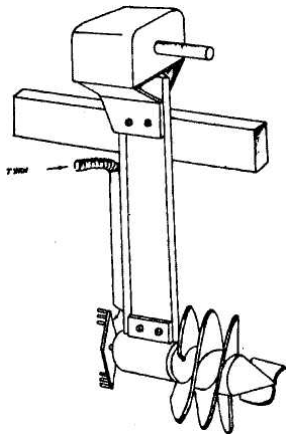


Рис. 2. Робочий орган для об'ємного внесення добрив

У Кишинівському СГІ сконструйований голчастий підживлювач для внесення рідких добрив на глибину до 45 см шляхом уколівання при безперервному русі агрегату (рис. 3) [6, с. 92].

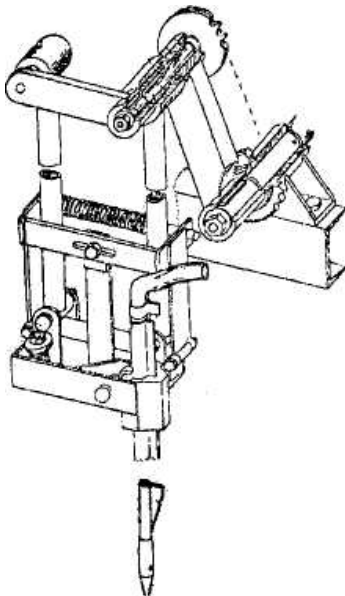


Рис. 3. Паралелограмний механізм підживлювача

Під час безперервного руху агрегату паралелограмний механізм заглиблює голки в ґрунт, забезпечуючи їх нерухомість у момент зіткнення з ґрунтом. При максимальному заглибленні кла-

пан, розташований в нижній частині голки, відкривається й уприскується розчин. Після виходу з ґрунту голки повертаються у початкове положення, далі весь цикл повторюється. Робоча швидкість руху агрегату становить 0,87 км/год, крок вколівання – 0,5 м.

Американською асоціацією сільськогосподарської інженерії (ASAE) [10, с. 96] розроблений пристрій для підґрунтового внесення рідких добрив, який здійснює внесення шляхом періодичного проникнення порожнистої голки у ґрунт. Пристрій сконструйований таким чином, що проникнення голки синхронізоване з обертанням опорних коліс і процес проникнення здійснюється з мінімальним пошкодженням ґрунту та кореневої системи.

Для внутрішньогрунтового внесення рідких комбінованих добрив у садах Львівським виробничим об'єднанням «Львівхімсільгоспмаш» розроблена спеціальна машина МГУС-2,5 (рис. 4) [7, с. 21–22]. Машина складається з чотириколісного шасі, на якому змонтоване підживлювальне пристосування (голчасте колесо), бак місткістю 2000 л і насос. Голчасте колесо складається з маточини і п'яти закріплених на ній криволінійних голок-ін'єкторів. У маточині і зовні увігнутій поверхні голки є отвори, що утворюють зливну магістраль для рідких добрив. Під час руху машини колеса обертаються від контакту голок з ґрунтом і роблять отвори, які заповнюються добривом у момент стику отвору нагнітального шланга з отвором маточини колеса.

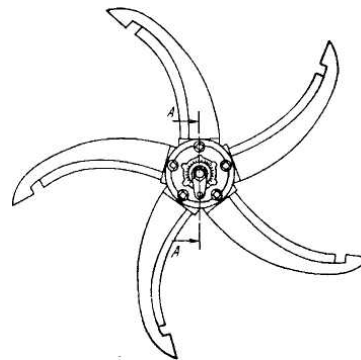


Рис. 4. Голчасте колесо машини МГУС-2,5

Також для внутрішньогрунтового внесення рідких мінеральних добрив застосовують пристрої з використанням гідроімпульсних струменів. Машина МГС-3, що розроблена Центральною експериментальною конструкторсько-технологічною лабораторією гідромеханізації сільськогосподарських процесів [8, с. 22], складається з цистерни на колісному шасі й двох виносних робочих органів –

гідрогармат. Робочим органом є плунжерний насос високого тиску, який під час підйому плунжера гідроциліндром заповнюється живильним розчином і стискає пружину. На робочому ході пружина створює ударний імпульс, під дією якого розчин у вигляді спрямованого струменя ін'єктується в ґрунт і проникає на глибину до 40 см. Машина МГС-3 агрегується з трактором Т-54В. Під час роботи в міжрядді саду ширину розташування робочих органів можна змінювати від 2,3 до 5,62 м. Внесення розчинів машина здійснює у двох рядах ямок з кроком 0,9 м. Об'єм розчину, який витрачається на одну ямку, становить 0,8 л, поступальна швидкість агрегату – 1,08 км/год.

У машинах для внесенням добрив гідроімпульсним струменем високий тиск може забезпечуватися плунжерною парою з різними приводами плунжера (ВВП трактора, енергія стисненої пружини, тиск газів, які утворилися в результаті згорання палива) і енергією гідравлічного удару.

Застосування таких машин обмежується низкою істотних недоліків. Для роботи машин можуть використовуватись лише чисті водні розчини мінеральних добрив з концентрацією поживних речовин не більше 15%, оскільки наявність в рідині твердих частинок підвищує спрацювання тертьових пар і може викликати їх заклинювання. У разі застосування гідравлічного удару виникає складність з його створенням, адже необхідне встановлення довгого розгінного трубопроводу, що значно збільшує габарити машини. Спостерігається швидкий вихід з ладу відсічних клапанів внаслідок значного підвищення тиску.

Одним із перспективних способів внесення добрив у садах є використання електрогідравлічного ефекту для створення гідроімпульсних струменів. Електрогідравлічний ефект полягає у підвищенні тиску рідини електричним розрядом. Застосування електрогідравлічного ефекту досить поширене, проте актуальними є пристрої, що забезпечують гідроімпульсні струмені з високою концентрацією енергії. Такий спосіб внесення

добрив відповідає всім агротехнічним вимогам і має явні переваги щодо можливостей дистанційного регулювання глибини і дози внесення розчинів.

Також існує багато пристроїв для внутрішньогрунтового внесення добрив періодичної дії. Наприклад, напірний внутрішньогрунтовий живильник НВП-1, що призначений для напірного кореневого живлення садових культур [1, с. 25], виготовлений на базі екскаватора Е-153А й складається з двох баків місткістю 650 л кожний, насосної установки, блока управління та гідробурного колектора. Також прикладом є удосконалений напірний внутрішньогрунтовий живильник НВП-2, обладнаний двома гідробурними колекторами, внаслідок чого за один робочий цикл може обробляти два дерева, розташованих в сусідніх міжряддях. Продуктивність агрегату становить 3,5–4 га за зміну. Проте застосування пристроїв для внутрішньогрунтового внесення добрив періодичної дії не є доцільним через їх низьку продуктивність.

**Висновки.** Отже, можна дійти висновку, що існує багато різних машин та агрегатів для внутрішньогрунтового внесення добрив, але істотна частина пристроїв для таких робіт, попри різноманітність конструкторських рішень і наявність різних способів внесення, широкого розповсюдження не отримала. Причиною цього є низка істотних недоліків, властивих кожному з них. У пристроїв, що суміщають внесення добрив з обробіткою ґрунту, недоліком є пошкодження кореневої системи рослин, у крокуючих і ротаційних пристроїв – складність конструкції, у позиційних – мала продуктивність, у пристроїв з гідроімпульсним внесенням рідини – високий тиск, що руйнує машину, а також проблема його забезпечення.

Перспективним технологічним методом внутрішньогрунтового внесення розчинів мінеральних добрив залишається використання способу гідромоніторного або гідроімпульсного внесення із застосуванням електрогідравлічного ефекту утворення високонапірних струменів.

#### Список літератури:

1. Гульїй Г.А., Зобов В.А. Электрогидравлический эффект и его применение : сборник научных трудов. Киев : Наукова думка, 1981. 316 с.
2. Беренштейн И.Б. Изобретатели и рационализаторы – садоводам : справочник. Симферополь : Таврия, 1989. 208 с.
3. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. 3-е изд., перераб. и дополн. Москва : Колос, 1994. 751 с.
4. Козырев Б.М. Агрегат для локального внесения жидких удобрений. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1988. №8. С. 59–61.
5. Саблин А.Д. Механизация работ в садоводстве и виноградарстве. Москва : Россельхозиздат, 1986. 201 с.



6. Семенов В.А. К обоснованию параметров комбинированного рабочего органа для локального внутр-рипочвенного внесения жидких комплексных удобрений. Актуальные вопросы для создания машин для внесения удобрений и защиты растений : сборник научных трудов. Москва : НО ВИСХОМ, 1988. 192 с.
7. Солень П.Р. Машины для глубокого внесения жидких удобрений. *Садоводство*. 1986. № 4. С. 21–22.
8. Сосинов А.А.. Методика расчета гидравлических параметров гидроимпульсных рабочих органов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1974. № 10. С. 22.
9. Baker J.L. A point-injector applicator to improve fertilizer management. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 1989. v. 5. Jv3. p. 334.
10. Womak A.R. Probe-type Injector for Fluid Fertilizers. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 1990. v. 6. № 2. p. 149.

**Shevchuk V.V., Kutkovetska T.O. ANALYSIS OF TECHNICAL MEANS  
OF THE MECHANIZATION OF THE PROCESS OF THE SUBSOIL FERTILIZER  
APPLICATION IN HORTICULTURE**

*The article deals with various technical means for fertilizer application in horticulture, because the effective production in horticulture is possible only under intensive technologies introduction that involve the use of highly productive machines and compliance with all agrotechnical requirements for the execution of basic technological operations. Among such operations is a fertilizer application, which allows to increase the yield of fruit crops several times if performed properly. The article presents various design solutions of machines and units for subsoil fertilization in horticulture. It is determined that despite the large number of machines for such type of work and the availability of different application methods, some of the devices are not widespread. This is due to a number of significant disadvantages found in each of them. For devices that combine fertilizer application with the soil cultivation, the disadvantage is damaging a plant root system; for gradient and rotating devices, this is the complexity of the structure; for positional ones it is a low productivity; for devices with hydro-pulse fluid application – high, machine destructive pressure and the problem of its provision.*

*As a result of the conducted analysis it is established that one of the promising ways of subsoil fertilizer application in horticulture is the use of electro-hydraulic effect to create hydro-pulse jets. The electro-hydraulic effect helps to increase the fluid pressure by the electrical discharge. The application of the electro-hydraulic effect is quite widespread today, however, in this case, devices providing a high-energy jet pulses are relevant. This method of application meets all the agrotechnical requirements and has clear advantages in terms of remote control of the depth and dose of solutions' application.*

**Key words:** fertilizer application, means of mechanization, horticulture, technological process, machines.

## **БУДІВНИЦТВО**

УДК 624.012.454

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/29>

**Валовой О.І.**

Криворізький національний університет

**Єрмоєнко О.Ю.**

Криворізький національний університет

**Валовой М.О.**

Криворізький національний університет

**Волков С.О.**

Криворізький національний університет

### **ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ**

*Одним зі шляхів подолання надмірної деформативності конструкцій армованих композитною арматурою є використання змішаного армування, коли разом з композитною робочою арматурою використовують металеву. Роботи по дослідженню напружено-деформованого стану згинних елементів зі змішаним армуванням композитною та металевою арматурою проводяться, переважно, за кордоном і носять обмежений характер.*

*Експериментальні випробування мали на меті встановити ефективність використання змішаного армування базальтопластиковою та металевою арматурою одночасно.*

*Було виготовлено та випробувано шість серій зразків дослідних балок по три балки в кожній. Зразки за серіями мали наступний поділ: балки армовані металевою арматурою (контрольна серія), балки армовані базальтопластиковою арматурою, балки зі змішаним армуванням базальтопластиковою та металевою арматурою. Інші три серії балок відрізнялися від попередніх типом дрібного заповнювача в бетоні. Річний пісок було замінено дрібними фракціонованими відходами гірничо-металургійного комплексу.*

*Короточасні випробування балок проводилися на універсальному гідравлічному пресі за схемою однопрольотної вільнолежачої балки, навантаженої двома зосередженими силами у третинах прольоту.*

*За результатами випробувань встановлено, що зразки армовані базальтопластиковою арматурою та зі змішаним армуванням показали приріст міцності, в середньому на 40% порівняно з балками, армованими металевою арматурою.*

*Прогини балок армованих базальтопластиковою арматурою, прогнозовано, виявилися в 4 рази більшими, ніж балок контрольної серії за експлуатаційного рівня навантажень. Сумісне армування дозволило знизити прогини, в середньому, вдвічі порівняно з балками армованими базальтопластиковою арматурою. При рівні навантажень 70% від руйнівного їх прогини зразків з сумісним армуванням перевищували гранично-допустимі за нормами на 40-60%, а при рівні навантажень 60% від руйнівного не перевищували нормативних.*

*Заміна річного піску фракціонованими відходами гірничо-збагачувального комплексу істотно не вплинула на характеристики зразків балок. Різниця в показниках не перевищувала 6%.*

**Ключові слова:** базальтопластикові арматура, змішане армування, міцність, жорсткість, прогини, балка, бетон, залізобетон, фракціоновані відходи.

**Постановка проблеми.** Одним із розповсюджених дефектів залізобетонних конструкцій є корозія арматури. Зважаючи на специфіку залізобетонних конструкцій роботи по усуненню дефекту є дуже трудомісткими, тривалими в часі, і, досить часто, не ефективними [1].

Заміна металевої арматури на композитну (FRP) арматуру є одним з шляхів подолання передчасного виходу з ладу армованих бетонних конструкцій внаслідок корозії металевої арматури. Порівняно новим матеріалом на ринку FRP арматури є базальтопластикові арматура (BFRP).

Чисельними дослідженнями встановлено, що BFRP арматура має високу корозійну та хімічну стійкість, високу міцність на розтяг та ряд властивостей, які вигідно її вирізняють порівняно з металевою арматурою [2–4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із недоліків BFRP арматури є в 3-4 рази менший модуль пружності на розтяг, ніж у металевої арматури. Існуючи експериментальні відомості роботи елементів, що згинаються, армованих BFRP арматурою вказують на те, що їх прогини перевищують прогини аналогічних зразків балок армованих металевою арматурою на 30-110% [5–8], а ширина розкриття тріщин більшою на 40-90% за експлуатаційного рівня навантажень [9, 10]. Такі показники деформативності характерні всім композитним видам арматури за виключенням вуглецевої (CFRP).

Наразі існує декілька підходів до вирішення питання надмірної деформативності бетонних конструкцій армованих BFRP арматурою. Одним з них є використання гібридного армування, коли розтягнуту зону конструкцій армують металевою та BFRP арматурою одночасно. Такий підхід потенційно дозволить використати високу міцність BFRP арматури забезпечивши прийнятний рівень деформацій за рахунок високого модуля пружності металевої арматури.

На теперішній час існує дуже обмежена кількість експериментальних відомостей стосовно напружено-деформованого стану конструкцій армованих BFRP та металевою арматурою одночасно. Зважаючи на це, встановлення особливостей роботи конструкцій з гібридним армуванням BFRP та металевою арматурою є актуальним питанням.

**Постановка завдання.** Визначення особливостей напружено-деформованого стану згинних конструкцій зі змішаним армуванням є актуальним питанням сьогодення, вирішення якого дозволить розширити область використання композитної арматури в будівництві. Для розв'язання цього питання було випробувано експериментальні зразки дослідних балок зі змішаним армуванням базальтопластиковою та металевою арматурою.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення показників деформативності згинних конструкцій з гібридним армуванням BFRP і металевою арматурою одночасно було виготовлено шість серій дослідних зразків балок. Кожна серія включала три зразка балок. Зразки за серіями мали наступний поділ: балки армовані металевою арматурою ВМ (контрольна серія), балки армовані базальтопластиковою арматурою ВВ, балки зі змішаним

армування базальтопластиковою та металевою арматурою ВМВ. Інші три серії балок відрізнялися від попередніх типом дрібного заповнювача в бетоні. Річний пісок було замінено дрібними фракціонованими відходами гірничо-металургійного комплексу. Маркування балок прийнято таким же, як і для попередніх серій з додаванням в кінці букви – D.

Накопичений досвід використання відходів МВС у будівництві та чисельні дослідження [11] вказують на ефективність їх використання в якості дрібного заповнювача при виготовленні бетонної суміші для залізобетонних конструкцій, складника асфальтобетонних сумішей, в якості баластного матеріалу при влаштуванні підгрунтя під дороги. В той же час відсутні відомості про особливості роботи конструкцій, виготовлених із бетону на дрібних відходах МВС, армованих BFRP арматурою.

Армування балок виконували за допомогою металевої арматури класів А400С, А240, а також BFRP арматуру виробництва ТОВ «Технобазальт-Інвест».

Більш ґрунтовну інформацію про армування, тип арматури, склад та клас бетону наведено в [12].

Виготовлення дослідних зразків балок відбувалося на заводі з виробництва залізобетонних конструкцій та виробів. Формування балок відбувалося в металевій опалубці. Забезпечення рівномірного розподілу бетонної суміші за обсягом форми опалубки досягалося за рахунок її ущільнення на вібростолі. Після витримки зразків в опалубці протягом 28 діб проводилася їх розпалубка.

Дослідні зразки балок було випробувано в лабораторії будівельного факультету ДВНЗ «Криворізький національний університет». Випробування балок проводилося за схемою вільнолежачої балки (рис. 1). Навантаження прикладалося в третинах прольоту, ступенями по 10% від руйнівного навантаження, за допомогою гідравлічного преса П-125.

Зразки, армовані BFRP арматурою (ВВ, ВВД), показали в середньому за серіями на 44% більші показники міцності, порівняно з балками, армованими металевою арматурою. Визначальним фактором міцності цих балок була міцність бетону стиснутої зони. Його зминання було причиною вичерпання несучої здатності балок цих серій.

Вид арматури, який був використаний для армування розтягнутої зони балок, мав істотний вплив, як на показники міцності, так і на прогини дослідних зразків.

Показники міцності зразків з гібридним армуванням (ВМВ, ВМВD) були схожими з показниками балок армованих BFRP арматурою. Приріст міцності порівняно з балками контрольної серії, в середньому за серіями, склав 38% та 41%. При навантаженні 50%-60% від руйнівного напруження в металевій арматурі досягали напружень текучості. Надалі зростаюче навантаження сприймала тільки BFRP арматура. Вичерпання несучої здатності відбувалося шляхом зминання бетону стиснутої зони з одночасним повним або частковим розривом волокон BFRP арматури (рис. 2).

Детальний опис стадій роботи дослідних зразків балок під навантаженням наведено в [12].

Крім різної величини несучої здатності та характеру руйнування балок за серіями відрізнялися показники їх деформативності.

Балки армовані металевою арматурою (ВМ, ВМD) показували традиційний для залізобетонних елементів характер зміни прогинів зі зростанням навантажень. Ріст навантажень викли-

кав лінійну залежність між прогинами і діючим навантаженням (рис. 3).

Збільшення нахилу кривої  $F-f$  в напрямку горизонтальної осі спостерігався в момент утворення першої тріщини та за рівня навантажень, який відповідає початку текучості металевої арматури.

Суттєвих відмінностей в деформативності балок серій ВМ та ВМD помічено не було. Різниця між прогинами для цих серій балок визначеними при рівні навантажень 70% від руйнівного складає 6% (табл. 1).

Балки серій ВВ, ВВD за рахунок низького модуля пружності BFRP арматури, мали підвищену деформативність. Лише до появи першої тріщини їх прогини були співставними з прогинами балок контрольної серії. Утворення тріщини, після першої ступені навантаження, призвело до перелому кривої  $F-f$  значного її нахилу в напрямку горизонтальної осі (рис. 3). Вважається, що після утворення тріщин ефективний переріз балки зменшується, що разом з низьким модулем пружності даного виду арматури, призводить до

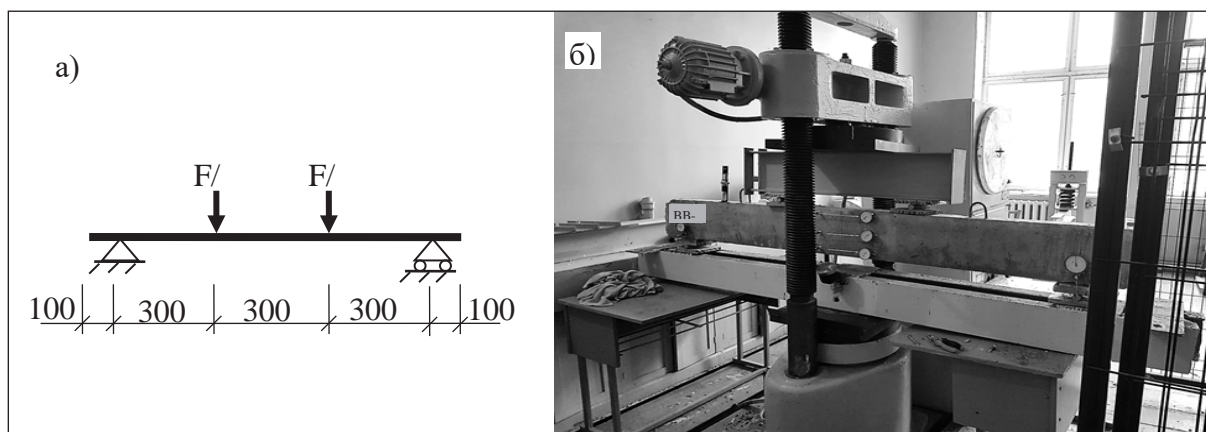


Рис. 1. а) Принципова схема випробування дослідних балок; б) Загальний вигляд стенда для випробувань з дослідною балкою

Таблиця 1

Прогини дослідних зразків балок

Серія балок	Зусилля, кН		Середні дослідні прогини $f$ , мм	$\frac{f_i}{f_0}$	Допустимі прогини за нормами [13], $[f]$ , мм	$\frac{f_i}{[f_0]}$
	Руйнівне, $F_u$	Визначення прогину, $F_i$				
ВМ	70.22*	49.2	7.8	1	14.5	0.54
ВМD	75.87*	53.1	8.3	1.06	14.5	0.57
ВВ	100.88	70.6	32.4	4.15	14.5	2.24
ВВD	101.17	70.8	33.6	4.31	14.5	2.32
ВМВ	96.1	67.3	23.8	3.05	14.5	1.64
ВМВD	99.24	69.5	20.7	2.65	14.5	1.43

Примітки:  $f_0$  – прогин балок серії ВМ (контрольна серія); \* - зусилля, яке відповідає початку текучості металевої арматури



різкого зростання прогинів. Подальше зростання навантаження викликає лінійне зростання прогинів до самого руйнування (рис. 3), що пояснюється пружною роботою BFRP арматури.

Такий характер поведінки балок є типовим для згинних конструкцій, армованих BFRP арматурою, був описаний у дослідженнях інших авторів. За експлуатаційного рівня навантажень (70% від руйнівного) прогини балок серії BB були в 4.15, а балок серії BBD в 4.31 рази більше ніж балок контрольної серії (BM) (табл. 1). Тобто приріст прогинів склав 315%-331%, що корелює з різни-

цею в модулях пружності BFRP та металевої арматури. Порівняння між собою прогинів балок серій BB та BBD вказує на те, що заміна річкового піску на дрібні відходи МВС, при виготовленні бетонної суміші, суттєво не вплинуло на їх деформативність. Різниця в показниках не перевищує 4%, що знаходиться в межах статистичної похибки.

На прогини балок із гібридним армуванням (BMB, BMBD) суттєвий вплив мали фізико-механічні властивості обох видів арматури. За рахунок високого модуля пружності металева арматура на перших етапах навантаження мала переважаючий

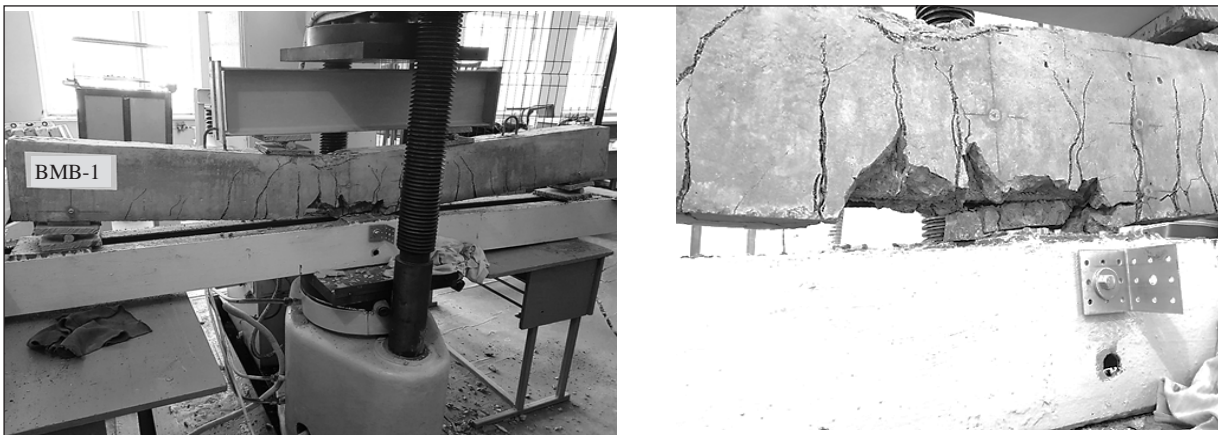


Рис. 2. Зруйнований зразок балки BMB-1

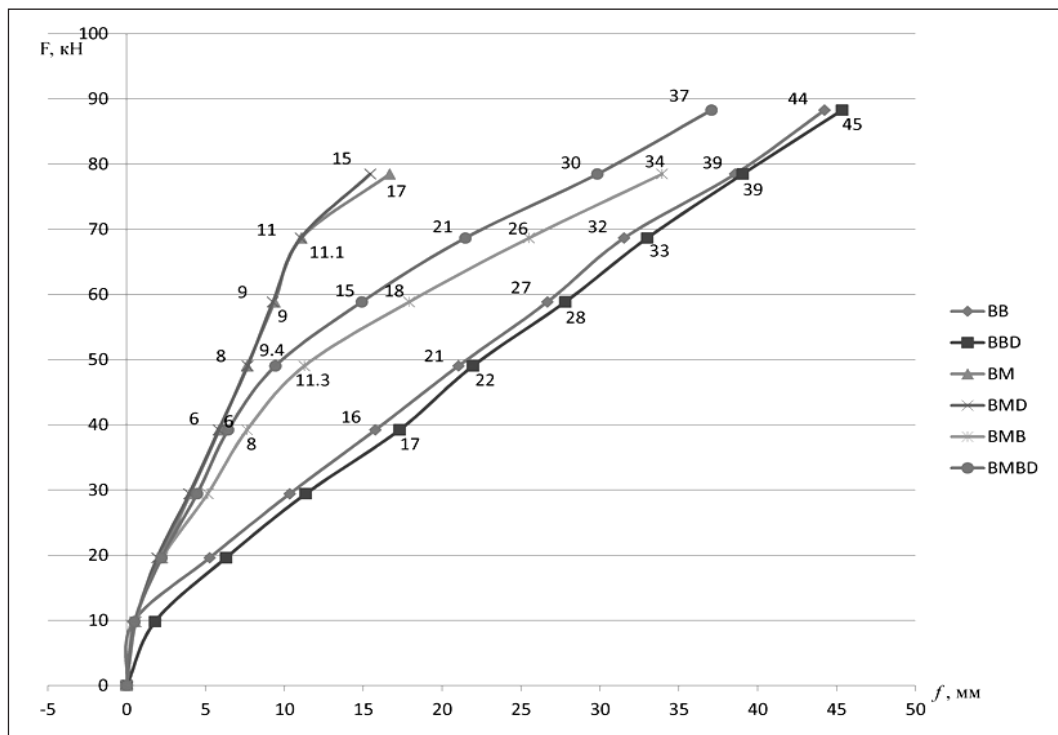


Рис. 3. Залежність усереднених величин прогинів балок за серіями від зміни величини навантаження

вплив на показники деформативності балок під навантаженням. На рис. 3 цей етап роботи виражається лінійною залежністю між прогинами та навантаженням, а величини прогинів близькі до показників балок армованих металевою арматурою (ВМ). Такий етап роботи продовжується до рівня навантажень  $\approx 50\%$  від руйнівного, коли напруження в металевій арматурі досягають межі текучості. Цей момент відмічено на графіку кривої  $F-f$  точкою перелому і зміною лінійної залежності на криволінійну (рис. 3). Подальший опір зростаючому навантаженню чинить, переважно, BFRP арматура.

На графіку кривої  $F-f$  кут її нахилу стає таким же, як і в балках серій ВВ, ВВД (рис. 3), але за абсолютними величинами прогини залишаються меншими. Такий характер роботи спостерігається до руйнування зразків. Прогини, які відповідають експлуатаційному рівню навантажень, були в 3.05 (ВВ) та 2.65 (ВВД) рази більшим, ніж для балок контрольної серії, що склало 205% та 165% відповідно (табл. 1). Тобто, використання змішаного армування дозволило на 65%-100% зменшити прогини зразків балок порівняно з балками серій ВВ, ВВД.

Було виконано порівняння отриманих величин прогинів дослідних зразків балок при рівні навантажень 70% від руйнівного з гранично допустимими за нормами [13]. Було з'ясовано, що тільки прогини балок серій ВМ, ВМД не перевищують гранично допустимих (табл. 1). Балки серій ВВ, ВВД мають прогини на 124% та 132% більші, ніж гранично допустимі. Зразки з гібридним армуванням мали менші перевищення величин прогинів над нормативними, а саме: 64% для балок серії ВМВ; 43% для балок серії ВМВД (табл. 1). При цьому порівняння прогинів на більш ранніх етапах навантаження вказує на те, що при рівні навантажень 60% від руйнівного прогини балок серій ВМВ, ВМВД не перевищують гранично допустимих за нормами. Зважаючи на те, що від-

соток вмісту металевої та BFRP арматури в балках цих серій є однаковим, незначне підвищення відсотку вмісту металевої арматури дозволить зменшити величини прогини до нормативних вимог. Останнє припущення потребує додаткового експериментального обґрунтування.

**Висновки.** Наведені раніше відомості дозволяють зробити наступні висновки:

– заміна металевої арматури на BFRP арматуру дозволило, в середньому, на 40% підвищити несучу здатність балок нею армованих;

– прогини зразків балок серій ВВ, ВВД на 315%, 331% більші ніж балок контрольної серії (ВМ) та на 205%, 165% більші ніж гранично допустимі за нормами;

– прогини зразків балок з гібридним армуванням (ВМВ, ВМВД) на 65%, 100% більші ніж прогини балок серії ВМ (контрольна серія) та на 64%, 43% більші ніж допустимі за нормами (за рівня навантажень 70% від руйнівного);

– використання змішаного армування дозволяє вдвічі зменшити прогини зразків балок порівняно з балками, армованими тільки BFRP арматурою (ВВ, ВВД);

– за рівня навантажень  $\approx 60\%$  від руйнівного прогини балок з гібридним армуванням (ВМВ, ВМВД) не перевищують гранично допустимих за нормами;

– використання дрібних відходів МВС в якості заміни річного піску при виготовленні бетонної суміші не впливає на міцність та деформативність балок; різниця величин за певними показниками знаходиться в межах статистичної похибки.

Перспективним напрямом подальших експериментальних досліджень може бути визначення оптимального співвідношення металевої та базальтової арматури з метою задоволення нормативних вимог за граничною величиною прогинів конструкцій із гібридним армуванням металевою та BFRP арматурою, одночасно.

#### Список літератури:

1. Huang RY, Mao I, Lee HK. Exploring the deterioration factors of RC bridge decks: a rough set approach. *Comput Aid Civ Infrastruct Eng* 2010;25(7):517–29.
2. El Refai A. Durability and fatigue of basalt fiber-reinforced polymer bars gripped with steel wedge anchors. *J Compos Constr* 2013;17(6):04013006.
3. Sim J Park C. Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Compos B Eng* 2005; 36(6): 504–12.
4. Fiore V., Scalici, T., Di Bella, G. Valenza, A. (2015) 'A Review on BFRP Fibre and its Composites', *Composites Part B*, 74, pp. 74–94.
5. Pawłowski D., & Szumigala, M. (2015). Flexural behaviour of full-scale basalt FRPRC beams—experimental and numerical studies. *Procedia Engineering*, 108, 518–525.
6. Gohnert M., Van Gool, R. & Benjamin, M. (2014) 'BFRP reinforced in concrete beams in flexure', *The Structural Engineer*, pp. 38–43.

7. Shafiq N., Ayub, T., & Khan, S.U. (2016) Investigating the Performance of PVA and BFRP Fibre Reinforced Beams Subjected to Flexural Action. *Composite Structures*, 153, pp. 30–41.
8. G.N. Yang, B.R. Huo, M.X. Zheng, “Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with BFRP Bars”, International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE 2015), Hong Kong, China, April 19-20, 2015.
9. Mohamed E., “Behaviour of continuous concrete slabs reinforced with frp bars”, PhD thesis, University of Bradford, UK, 2013, 177 pp.
10. Pouya B., “Experimental investigation of the mechanical and creep rupture properties of basalt fiber reinforced polymer (bfrp)”, PhD thesis, University of Akron, the USA, 2011, 216 pp.
11. Железобетонные конструкции из бетона на отходах горнорудной и металлургической промышленности / [Стороженко Л.И., Шевченко Б.Н., Ильенко В.М. и др.]. Киев : Будівельник, 1982, 72 с.
12. Valovoi A., Koval P., Eremenko A., Valovoi M., Volkov S., “Durability of beams with hybrid reinforcement from metal and basalt fiber reinforced polymer (BFRP) armature”, MATEC Web of Conferences **230**, 02035 (2018) (<https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002035>).
13. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги до проектування. Київ, 2006. 14 с.

**Valovoi O.I., Eremenko O.Yu., Valovoi M.O., Volkov S.O.**

### **DETERMINATION OF DEFORMATIONS OF BEAMS WITH COMBINED REINFORCEMENT USING BASALT FIBRE PLASTIC AND METAL ARMATURE**

*One of the basic ways to overcome the excessive deformability of constructions reinforced with combined armature is using the combined reinforcement when along with work armature metal one is used. Research in stress-strained mode of bending elements with combined reinforcement using composite and metal armature take place mostly abroad and they are limited.*

*Experimental studies in the field of efficiency when basalt fibre plastic (BFP) and metal armature is used at the same time.*

*6 series of testing beams were made. There were 3 beams in each series. Beams series were: beams with metal armature (control series), beams with BFP, beams with combined armature: BFP and metal armature. The three series of beams differed from the previous type in fine concrete aggregate. River sand was replaced by fine fractionated wastes of mining and metallurgical complex.*

*Short term tests were carried out with a hydraulic press according to the scheme of the free single-span beam loaded with two concentrated forces on the thirds of the span. According to the test results, it was estimated that the samples reinforced with BFP and the samples reinforced with combined armature showed about 40 % durability increase in comparison with the beams reinforced with the metal armature.*

*Combined reinforcement allowed decreasing the bendings twice in comparison with the beams reinforced with BFP. When loaded 70% from the destruction load, the bendings with the combined reinforcement exceed 40...60% the critical loading. When loaded 60% from the destruction load, the bendings didn't exceed the standards.*

*Bendings of beams reinforced with BFP were 4 times larger in comparison with the beams of the control series according exploitation load level. Combined reinforcement allowed decreasing the bendings twice in comparison with beams reinforced with BFP. When loaded 70% from the destruction load, the bendings of samples with the combined reinforcement exceed 40-60% the critical load. When loaded 60 % from the destruction load, the bendings didn't exceed the standards.*

*Substitution of river sand with fractionated wastes of mineral beneficiary complexes didn't react upon characteristics of beam samples. The difference in parameters didn't exceed 6%.*

**Key words:** BFP, combined reinforcement, durability, rigidity, bendings, beam, concrete, ferro-concrete, fractionated wastes.

**Шевченко Т.О.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Шевченко А.О.**

PRODEKO-ELK Sp. z o.o.

**Златковський О.А.**

PRODEKO-ELK Sp. z o.o.

## **ЗНЕВОДНЕННЯ АНАЕРОБНО СТАБІЛІЗОВАНОГО ОСАДУ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД НА КАМЕРНО-МЕМБРАННОМУ ФІЛЬТР-ПРЕСІ: ПАРАМЕТРИ І ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ**

*У статті досліджено ефективність зневоднення анаеробно стабілізованої суміші сирого осаду та надлишкового активного мулу з комунальних очисних споруд на камерно-мембранному фільтр-пресі. Сучасні підходи до обробки та утилізації осадів побутових стічних вод вимагають реалізації енергетичного потенціалу цих осадів, тому вони потребують ефективного зневоднення для проведення подальшої термічної обробки. Ефективність зневоднення осадів може підвищити їх реагентне кондиціонування. У роботі наведено порівняння результатів дослідження зневоднення суміші осадів комунальних стічних вод з використанням для кондиціонування трьох таких типів реагентів: хлориду заліза, вапна, флокулянту. Дози реагентів були визначені експериментальним шляхом та визнані такими, за яких ефективність зневоднення на камерно-мембранному фільтр-пресі у разі використання різних типів реагентів для кондиціонування осаду була приблизно однаковою. Експеримент був проведений для продуктивності фільтр-пресу 140 л/м<sup>2</sup> за годину. Під час використання хлориду заліза для кондиціонування була вивчена ефективність зневоднення для продуктивності 100 л/м<sup>2</sup> за годину. З трьох досліджуваних типів реагентів при забезпеченні вологості вихідного кеку 74–75% у режимі роботи камерного фільтр-пресу найменша доза була встановлена при використанні флокулянта SNF 4800 – 0,7 т/кг сухої речовини осаду. Схожа ситуація була під час роботи у режимі камерно-мембранного фільтр-пресу, проте вологість кеку була меншою та складала 71–73%. Тобто ефективність роботи у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу була більшою. У ході роботи фільтр-пресу з різною продуктивністю – 100 та 140 л/м<sup>2</sup> за годину – з використанням реагенту хлориду заліза було встановлено, що збільшується оптимальна доза реагенту на 41,4%, а ефективність зневоднення становить 77–78% у режимі роботи камерного фільтр-пресу та 75–76% у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу.*

**Ключові слова:** камерно-мембранний фільтр-прес, кондиціонування, зневоднення, коагулянт, флокулянт, вапно.

**Постановка проблеми.** Утворення господарсько-побутових і виробничих стічних вод на території населених пунктів є одним з найбільш значущих чинників негативного впливу на стан навколишнього середовища. Повна біологічна очистка міських стічних вод супроводжується утворенням значних об'ємів осадів. Після зброджування або механічного зневоднення осади здебільшого складаються на спеціальних мулових майданчиках. Подібна утилізація осаду призводить не тільки до значних витрат земельних ресурсів, а й до збільшення забруднення ґрунтів і підземних вод токсичними компонентами, що входять до складу осадів.

Раціональна система водовідведення і очищення промислових, поверхневих і господарсько-побутових стічних вод є необхідним елементом життєзабезпечення кожного сучасного міста. Наявні в різних країнах технологічні схеми очищення стоків мають аналогічну структуру, однак способи утилізації відходів, що утворюються в процесі водоочищення, вельми різноманітні. Одним з факторів, що визначають спосіб утилізації відходів очисних споруд, є їх склад.

Для реалізації будь-яких методів переробки осадів стічних вод слід виконати зневоднення через високу вологість цих відходів. Зневоднення проводять в декілька етапів. Спочатку здійсню-



ють механічне зневоднення, використовуючи для цього вакуум-фільтри, центрифуги, фільтр-преси та інші пристрої. Після механічного зневоднення буде раціональним проведення термічної сушки осаду. Вона дозволяє не тільки зменшити обсяг осаду, а й здійснити його знезараження. Термічна сушка широко застосовується в таких європейських країнах, як Данія, Німеччина, Фінляндія [1, с. 16].

Одним з напрямів обробки осаду міських стічних вод є використання енергетичного потенціалу осаду стічних вод. Відомими способами реалізації енергетичного потенціалу осадів стічних вод є спалювання і піроліз. Перевагами цих термічних методів утилізації осадів стічних вод є значне зниження обсягу і маси утилізованого відходу і мінімізація його негативного впливу на навколишнє середовище [2, с. 37].

Методи термічної обробки пропонують вирішення проблем захоронення осадів та вилучення їх енергетичного потенціалу, тому що енергія може бути залучена і використана, деякі небезпечні матеріали можуть бути знищені або видалені, а цінні поживні речовини, такі як фосфор, можуть бути використані в вироблених продуктах або виокремлені з цих продуктів. При вивченні економічних характеристик трьох методів термічної обробки – спалювання, газифікації та піролізу – застосовувався порівняльний аналіз на основі запропонованого набору критеріїв. До цього набору входить вартість, енергоефективність, вилучення поживних речовин, ринкова вартість продукту і гнучкість. Було встановлено, що спалювання осаду стічних вод дає найкращі результати з погляду витрат на обробку, енергоефективності, вилучення поживних речовин і гнучкості щодо вмісту сухої речовини в сировині. Піроліз працює краще за все з погляду ринкової вартості продуктів, що генеруються, і гнучкості щодо розміру установки [3, с. 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ефективне протікання процесу зневоднення осадів стічних вод зумовлює перебіг подальшої термічної обробки. Саме тому аналіз та обрання найбільш ефективного методу зневоднення є актуальним питанням.

Для попередньої підготовки осадів перед зневодненням або утилізацією та для зниження питомого опору й поліпшення властивостей вологовіддачі осадів внаслідок зміни їх фізико-хімічної структури й форм, застосовують кондиціонування. Кондиціонування осадів проводять реагентними й безреагентними методами. У пер-

шому випадку відбувається коагуляція колоїдних часток, що призводить до розриву сольвентних оболонки і зміни форм зв'язку води. Це сприяє зміні структури осаду й поліпшенню його властивостей вологовіддачі. Як коагулянти використовують розчини солей заліза, алюмінію, вапна.

Автори роботи [4, с. 1] вивчали використання різних типів реагентів для кондиціонування надлишкового мулу з очисних споруд стічних вод та досліджували процес зневоднення. Результати експериментів показали, що хлорид заліза ( $\text{FeCl}_3$ ) може утворювати дрібні і концентровані частинки мулу. Крім того, були отримані нові мінеральні фази для побудови зневодненого каркасу з додаванням вапна, а здатність до згортання була підвищена утворенням колоїдного гідроксильного полімеру, який був індукований завдяки лужному середовищу.

Крім того, розмір частинок флокул значно збільшувався після дозування катіонного полімеру (флокулянту). Зв'язана вода могла видалятися за допомогою вилучення щільно пов'язаної позаклітинної полімерної речовини. Отже, продуктивність та ефективність зневоднення поліпшилися. Однак наявність високоміцних органічних речовин у фільтратах осаду, що спричинена додаванням вапна, може призвести до нестабільної експлуатації очисних споруд, оскільки відносно високі концентрації органічних сполук з бензолом були домінуючими у фільтратах осаду, що зневоднювався.

Параметри, що характеризують процес зневоднення шламу стічних вод на малих очисних спорудах, було проаналізовано у роботі [5, с. 99]. Для аналізу було відібрано дві комунальні очисні споруди, що подібні за потужністю та технологією очищення стічних вод. Було зроблено порівняння ефективності зневоднення непідготовленого та кондиціонованого мулу. Як реагент був використаний катіонний поліелектроліт. Зневоднення мулу відбувалося на вакуум-фільтрі та шляхом гравітаційного згущення. За оптимальних доз обраного поліелектроліту було встановлено, що випробуваний мул мав незначне зменшення об'єму після обробки, адже кінцевий обсяг непідготовлених зразків після 2-годинного згущення зменшився на 3%. Проте найменше значення кінцевої вологості кондиціонованого мулу становило 64,0%.

У дослідженні [6, с. 2468] з метою кондиціонування та зневоднення анаеробно стабілізованого активованого мулу був внесений шлам глинозему для вивчення ролі сульфату алюмінію у покращенні зневоднення змішаного мулу, а також

у іммобілізації фосфору у відокремленій надмуловій воді. Експерименти продемонстрували, що оптимальне співвідношення суміші для двох осадів становить 2:1 (анаеробний мул : осад глинозему). Це може призвести до зниження концентрації фосфору на 99% у відокремленій надмуловій воді через адсорбцію фосфору алюмінієм у мул. Навантаження за фосфором на очисних спорудах збільшувалося через повернення надмулових вод у процес очищення стічних вод. Отже, такий спосіб кондиціонування та зневоднення може забезпечити значне зниження навантаження за фосфором на очисні споруди. Крім того, використання осаду глинозему сприятливо впливає на підвищення зневоднення змішаного мулу. Було встановлено, що оптимальна доза полімеру (Superglo C2260) для анаеробно стабілізованого мулу становила 120 мг/л, тоді як оптимальна доза для змішаного мулу (співвідношення 2:1) становила 15 мг/л, що підкреслює величезну економію полімеру (флокулянту). Однак для повномасштабного застосування вказаного методу кондиціонування слід враховувати комплексний і економічно ефективний аналіз технологічних можливостей, транспортування мулу, розширення утилізації кеку, а також потенціал додаткового введення й економії полімерів тощо.

З огляду на сказане можна дійти висновку про актуальність вивчення питання кондиціонування осадів комунальних стічних вод із застосуванням різних типів реагентів, визначення та порівняння їх ефективних доз. Також важливим питанням є визначення ефективності роботи обраного типу обладнання, яке буде застосовуватися для зневоднення вказаних осадів.

**Постановка завдання.** Метою виконання роботи було дослідження методів реагентного кондиціонування осадів комунальних стічних вод та визначення ефективності роботи камерно-мембранного фільтр-пресу під час зневоднення вказаного типу осадів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження реагентних методів кондиціонування осадів комунальних стічних вод та їх подальше зневоднення проводилося на комунальних очисних спорудах каналізації на пілотній установці, технологічна схема якої наведена на рисунку 1. Тип осаду, який досліджувався, – анаеробно стабілізована суміш сирого осаду та надлишкового активного мулу.

Технологічна схема пілотної установки включала подачу суміші осадів з ємності вихідного осаду до змішувача. Для інтенсифікації процесу кондиціонування суміші осадів у змішувач вводи-

лися різні реагенти (хлорид заліза, вапно, флокулянт SNF 4800). Далі осад направлявся на зневоднення на камерно-мембранному фільтр-пресі.

Останнім часом все більшого розповсюдження для зневоднення осадів стічних вод набули камерно-мембранні фільтр-преси [7, с. 19].

Камерно-мембранний фільтр-прес – це серія вертикальних плит, що мають канали і покриті тканиною для підтримки кеку. Плити змонтовані в корпусі, верхні опори якого з'єднані двома важкими горизонтальними і паралельними брусами або рейками. Конструктивно фільтр-преси поділяються на преси з верхньою підвіскою плит і з бічною підвіскою плит.

Кондиціонований осад подається на фільтр-прес насосами за зростаючого тиску. Тиск наповнення – 8 атм. Тиск дожиму – до 15 атм. Час подачі осаду і утворення шару кеку – 40–30 хв. Час дожиму – 15–20 хв. Час вивантаження – 15 хв. Загальна тривалість фільтроциклу – до 90 хв. За вологості вихідного осаду від 94% до 97% вологість кеку становить 68–70%.

Конструкція пілотного камерно-мембранного фільтр-пресу дозволяє експлуатувати його в таких режимах: робота тільки камерного фільтр-пресу, робота камерно-мембранного фільтр-пресу. У ході дослідження проведено порівняння роботи пілотної установки камерно-мембранного фільтр-пресу в двох вищевказаних режимах роботи.

Було проведено декілька серій дослідів: 1 серія – з введенням хлориду заліза ( $FeCl_3$ ); 2 серія – з введенням вапна; 3 серія – з введенням флокулянту SNF 4800. Вихідна суміш осаду мала вологість 96–97%, дози коагулянтів коливались в різних діапазонах, що наведені в таблиці 1. Дози розраховувались на тонну сухої речовини осаду. Було виконано порівняння ефективності зневоднення осаду у разі використання камерного фільтр-пресу та камерно-мембранного фільтр-пресу.

Після зневоднення суміші осадів визначалася вологість кеку за допомогою лабораторного вологометра.

У таблиці 1 наведені результати пілотних випробувань зі зневоднення суміші осадів на камерному або камерно-мембранному фільтр-пресах з кондиціонуванням осаду різними типами реагентів.

Дози реагентів були визначені експериментально та визнані такими, за яких ефективність зневоднення на камерно-мембранному фільтр-пресі у разі використання різних типів реагентів для кондиціонування осаду була приблизно однаковою.

Експеримент був проведений для продуктивності фільтр-пресу 140 л/м<sup>2</sup> за годину. При використанні хлориду заліза для кондиціонування також була вивчена ефективність зневоднення для продуктивності 100 л/м<sup>2</sup> за годину.

Отриманий кек мав вологість в межах 71–78%, щільну структуру, його можна було транспортувати для подальшої обробки та утилізації. Утилізація зневодненої суміші можлива шляхом спалювання. Горіння осаду можливе завдяки вмісту органічних часток в активному мулі та сирому

осаді. Отримана під час спалювання зола в подальшому може бути використана як наповнювач для виробництва будівельних матеріалів, як основа для дорожнього покриття або паливо для ТЕЦ.

**Висновки.** Після аналізу отриманих даних можна дійти певних висновків.

1. З трьох досліджуваних типів реагентів при забезпеченні вологості вихідного кеку 74–75% у режимі роботи камерного фільтр-пресу найменша доза була встановлена під час використання флокулянта SNF 4800 – 0,7 т/кг сухої речовини осаду.

Таблиця 1

Результати пілотних випробувань зі зневоднення суміші осадів на камерно-мембранному фільтр-пресі

Параметр	Од. вим.	Режим роботи фільтр-пресу			
		Камерний	Камерно-мембранний	Камерний	Камерно-мембранний
Вологість вихідного осаду	%	96–97	96–97	96–97	96–97
Продуктивність фільтрування	л/м <sup>2</sup> за год.	140	140	100	100
Доза коагулянту (FeCl <sub>3</sub> )	кг/т. с.р.	133	133	188	188
Доза вапна (CaO)	кг/т. с.р.	311	311	–	–
Доза флокулянту (SNF 4800)	кг/т. с.р.	0,7	0,7	–	–
Вологість зневодненого осаду	%	74–75	71–73	77–78	75–76

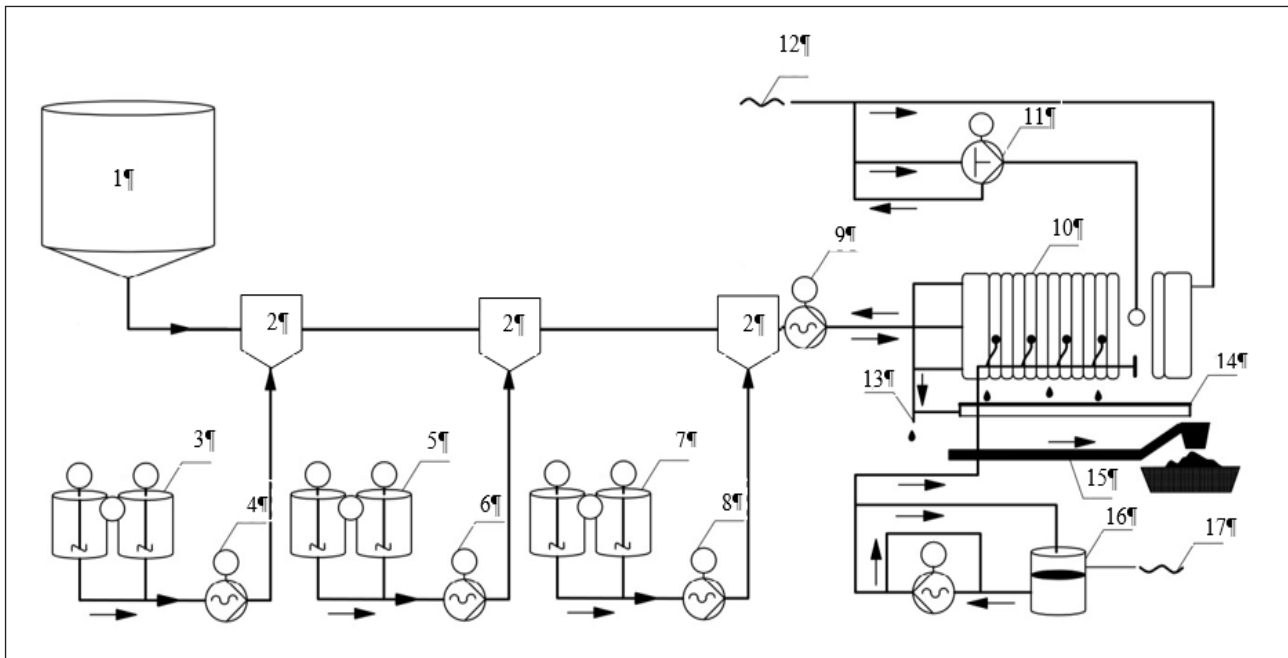


Рис. 1. Технологічна схема пілотної установки зневоднення суміші осадів:

- 1 – ємність вихідного осаду; 2 – змішувач; 3 – система приготування розчину коагулянту;
- 4 – насос дозування коагулянту; 5 – система приготування розчину вапна; 6 – насос дозування вапна;
- 7 – система приготування розчину флокулянту; 8 – насос дозування флокулянту; 9 – насос подачі осаду на камерно-мембранний фільтр-прес; 10 – камерно-мембранний фільтр-прес; 11 – система промивання фільтрувального полотна; 12 – подача води питної якості; 13 – відведення фільтрату; 14 – система відведення крапельних витоків і води від промивання тканини; 15 – система відведення зневодненого осаду;
- 16 – система дожиму мембран; 17 – подача технічної води

2. Схожа ситуація була при роботі у режимі камерно-мембранного фільтр-пресу, проте вологість кеку була меншою та становила 71–73%. Тобто ефективність роботи у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу більша.

3. У разі роботи фільтр-пресу з різною продуктивністю 100 та 140 л/м<sup>2</sup> за годину з використанням реагенту хлориду заліза було встановлено, що збіль-

шується оптимальна доза реагенту на 41,4%, а ефективність зневоднення становить 77–78 % у режимі роботи камерного фільтр-пресу та 75–76% у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу.

4. Результати проведення експерименту свідчать про те, що робота пілотної установки в режимі камерно-мембранного фільтр-пресу є більш ефективною.

#### Список літератури:

1. Валетов Д.С., Кашенко О.В. Анализ методов утилизации осадков городских сточных вод. *Academy*, 2018. С. 16–20.
2. Poós T. et al. Thermal Dewatering of Waste Sludge in Agitated Drum Dryer. *Acta Polytechnica Hungarica*. Vol. 11, No. 3. 2014. P. 37–50.
3. Tsybina A., Wuensch C. Analysis of Sewage Sludge Thermal Treatment Methods in the Context of Circular Economy. *DETRITUS*. Vol. 02. 2018. P. 3–15.
4. Wang S., Ma C., Zhu Y. et al. Deep Dewatering Process of Sludge by Chemical Conditioning and its Potential Influence on Wastewater Treatment Plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. P. 1–9.
5. Wolny L. Dewatering of Conditioned Sludge in Small Wastewater Treatment Plants. *Environment Protection Engineering*. Vol. 41, No. 2. 2015. P. 99–105.
6. Yang Y. et al. Co-Conditioning of the Anaerobic Digested Sludge of a Municipal Wastewater Treatment Plant With Alum Sludge : Benefit of Phosphorus Reduction in Reject Water. *Water Environment Research*. 2007. № 79 (13). P. 2468–2476.
7. Zlatkovskiy O., Shevchenko A., Shevchenko T. Use of Fly Ash for Conditioning the Excess Activated Sludge During Deliquescence at Chamber-Membrane Filter Presses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/10 (99) 2019. P. 17–23.

#### **Shevchenko T.O., Shevchenko A.O., Zlatkovskiy O.A. ELABORATION OF ANAEROBICALLY STABILIZED SLUDGES OF COMMUNAL CLEANING PLANTS ON THE CHAMBER-MEMBRANE FILTER PRESS: PARAMETERS AND EFFICIENCY OF WORK**

*The efficiency of dehydration of anaerobically stabilized mixture of crude sediment and excess active sludge from municipal treatment plants on a chamber-membrane filter press is investigated in the article. Modern approaches to the treatment and disposal of domestic sewage sludge require the realization of the energy potential of this sewage sludge, so they require efficient dehydration for further heat treatment. The efficiency of sludge dewatering can increase their reagent conditioning. The paper compares the results of a study of dewatering a mixture of municipal sewage sludge with the use of three types of reagents for conditioning: iron chloride, lime and flocculant. Doses of reagents were determined experimentally and were designed for which the efficiency of dehydration on the chamber membrane filter press when using different types of reagents for sediment conditioning was approximately the same. The experiment was conducted for a filter press capacity of 140 l/m<sup>2</sup> per hour, while the use of iron chloride for conditioning also examined the efficiency of dehydration for productivity of 100 l/m<sup>2</sup> per hour. Of the three reagent types tested, while providing a source cake humidity of 74–75% in the chamber filter press mode, the lowest dose was set using a flocculant (SNF 4800) – 0.7 t/kg of sediment dry matter. The situation was similar when operating in the chamber-membrane filter press, but the humidity of the cake was lower and was 71–73%. That is, the efficiency in the mode of operation of the chamber-membrane filter press is greater. In the case of a filter press with varying productivity of 100 and 140 l / m<sup>2</sup> per hour using an iron chloride reagent, it was found that the optimal reagent dose increased by 41.4%, and the dehydration efficiency was 77–78% in the chamber filter mode, press and 75–76% in the chamber-membrane filter press mode.*

**Key words:** chamber membrane filter press, conditioning, dehydration, coagulant, flocculant, lime.



# ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.4:332.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/31>**Нестеренко С.Г.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Радзінська Ю.Б.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Афанасьєв О.В.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Касьянов В.В.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ У СУЧАСНИХ УМОВАХ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕРИТОРІЙ МІСТ

У сучасних умовах усе більшого значення набувають питання впорядкування міських територій, облаштування території земельних угідь та окремих об'єктів міста.

Метою статті є дослідження сучасного землевпорядкування території із використанням геоінформаційних технологій у сучасних умовах розвитку міст.

У роботі досліджено можливості та напрями застосування геоінформаційних технологій під час вирішення питань сучасного землекористування та організації міських територій.

Визначено передумови застосування геоінформаційного інструментарію під час землевпорядкування міських земель, проаналізована нормативно-правова база України в галузі землеустрою та визначені найбільш придатні просторові дані та статистичні елементи під час створення проектних рішень у процесі впорядкування міських територій. Визначені задачі та можливості ГІС у забезпеченні адміністрування територій міст та створенні єдиної інформаційної системи міст. Саме через створювані ГІС інформаційні технології забезпечують автоматизований збір, збереження, оброблення й аналіз великих масивів просторово-координованої інформації в регіонах різних територіальних рівнів, а також моделювання і прогнозування розвитку об'єктів, явищ і процесів, які досліджуються.

Визначено, що геоінформаційні системи зберігають інформацію у вигляді наборів тематичних шарів, що дає можливість їхнього застосування в багатоцільовому значенні. Цей підхід корисний під час аналізу екологічної ситуації або під час оцінки вартості земельних ділянок у процесі впливу великої кількості факторів, що є характерною особливістю великих міст та регіональних центрів. Тим самим сучасні об'єми інформації та картографічні моделі необхідні для розвитку міської інфраструктури, а землі потребують більш серйозного професіоналізму та застосування передового інструментарію геоінформаційних систем.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, використання земель міст, геопросторові дані, організація територій міст, земельне адміністрування, просторова структура міста.

**Постановка проблеми.** Будь-яка територія являє собою певну просторову структуру, включає різноманітні елементи. Цими елементами є земельні угіддя, природні урочища, господарські центри, будівлі, дороги, меліоративні канали, інженерна інфраструктура тощо. Вони між собою пов'язані і цим самим створюють певні умови для вирішення питань народного господарства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оптимальні просторові структури не можуть

складатись стихійно. Тому потрібно проводити цілеспрямовану землевпорядну діяльність із оптимізації просторової структури території, тобто здійснення її повного і цілеспрямованого впорядкування.

Упорядкування території – це приведення в порядок певної просторової структури (сукупності елементів земельних угідь), оптимізація форми, розмірів (площі) та інших ознак із метою створення найкращих умов для виробництва,

життя і діяльності людей [1]. Це розміщення земельних ділянок і елементів облаштування даної території.

У сучасних умовах усе більшого значення набувають питання впорядкування міських територій, облаштування території земельних угідь та окремих об'єктів міста.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної статті є дослідження сучасного землевпорядкування територій із використанням геоінформаційних технологій у сучасних умовах розвитку міст.

Для досягнення мети у статті вирішено такі завдання: визначити передумови застосування ГІС під час землевпорядкування міських земель; розкрити нормативно-правові принципи під час землевпорядкування; визначити елементи просторових даних під час впорядкування міських територій; дослідити напрями застосування геоінформаційних технологій у сучасних умовах організації територій міст.

**Виклад основного матеріалу.** Нормативно-правовими підставами під час виконання проєктів впорядкування територій є такі документи: Земельний кодекс України; Закон України «Про землеустрій»; Проєкт закону про інвентаризацію земель; Закон України «Про самоврядування»; положення про земельно-кадастрову інвентаризацію земель населених пунктів, затверджений наказом Держкомзему України від 26.08.1997 № 85 [2–5].

Основними завданнями землеустрою є:

- реалізація політики держави щодо науково обґрунтованого перерозподілу земель, формування раціональної системи землеволодінь і землекористувань з усуненням недоліків у розташуванні земель, створення екологічно сталих рекреаційних зон і транспортних систем;

- інформаційне забезпечення правового, економічного, екологічного і містобудівного механізму регулювання земельних відносин на національному, регіональному, локальному, господарському рівнях шляхом розроблення пропозицій із встановлення особливого режиму й умов використання земель;

- встановлення на місцевості меж адміністративно-територіальних утворень, територій з особливим природоохоронним, рекреаційним і заповідним режимами, меж земельних ділянок власників і землекористувачів;

- здійснення заходів щодо прогнозування, планування, організації раціонального використання та охорони земель на національному, регіональному, локальному і господарському рівнях;

- організація територій господарських підприємств зі створенням просторових умов, що забезпечують еколого-економічну оптимізацію використання та охорони земель, впровадження прогресивних форм організації управління землекористуванням, удосконалення співвідношення і розміщення земельних угідь;

- розроблення системи заходів зі збереження і поліпшення природних ландшафтів, відновлення й підвищення родючості ґрунтів, рекультивациі порушених земель, захисту земель від ерозії, підтоплення, висушення, зсувів, вторинного засолення і заболочення, ущільнення, забруднення промисловими відходами і хімічними речовинами та інших видів деградації, з консервації деградованих і малопродуктивних земель, попередження інших негативних явищ.

Організація територій несільськогосподарських підприємств, організацій і установ виконується з метою створення умов ефективного землекористування та обмежень і обтяжень у використанні земель.

У дослідженні запропоновано використання ГІС для цілей землевпорядкування.

Серед сучасних інформаційних технологій значне місце займають геоінформаційні технології, які дуже інтенсивно розвиваються в останні роки. Про це свідчить аналіз тенденцій розвитку світового ринку геоінформаційних систем (ГІС). Так, у 2011 р. обсяг ринку оцінювався в 1,84 млн. дол. США, в 2012 р. – 2,05, у 2015 р. – 2,36, 2017 р. – 2,80, в 2018 – 3,38 млн. дол., причому найбільш перспективним вважається ринок Європи. Через створювані ГІС ці технології забезпечують автоматизований збір, збереження, оброблення й аналіз великих масивів просторово-координованої інформації в регіонах різних територіальних рівнів, а також моделювання і прогнозування розвитку об'єктів, явищ і процесів, які вивчаються.

Значення ГІС-технологій для впорядкування землекористувань міських територій полягає у здійсненні державної реєстрації земельних ділянок та внесенні відомостей до бази даних автоматизованої системи ведення державного земельного кадастру з вирішенням таких завдань:

- 1) формування та ведення бази даних автоматизованої системи ведення державного земельного кадастру;

- 2) спрощення отримання кадастрової інформації, врегулювання земельних відносин, пов'язаних із правами власності, постійного користування та оренди землі;

- 3) удосконалення методів контролю за використанням земельних ділянок, дотриманням вимог

Земельного кодексу України та інших нормативно-правових актів у галузі земельних відносин;

4) отримання інформації про земельні ділянки, власників землі, користувачів та орендарів земельних ділянок для потреб юридичних і фізичних осіб, органів державної влади та місцевого самоврядування;

5) автоматизований облік земельних ділянок, власників, користувачів та орендарів земельних ділянок;

6) спрощення процедури отримання довідок, які засвідчують і підтверджують право власності, постійного користування чи оренди землі, формування звітної документації;

7) аналіз і прогнозування процесів на ринку землі.

Застосування ГІС надасть можливість вирішити такі питання, як:

- осмислення і створення концептуальної географо-інформаційної моделі міста на основі структурно-графічних моделей території і основних об'єктів управління;

- розроблення наукових основ створення технологій забезпечення ГІС такими даними, інформацією та знаннями, які відповідають вимогам відкритості та сумісності з найкращими закордонними аналогами;

- створення географічної (тематичної) бази для ознайомлення та вивчення складних інформаційних об'єктів із метою забезпечення цілей системи управління;

- розроблення географо-інформаційних методів оброблення нечітких інформаційних об'єктів;

- створення та вдосконалення методології управління проектуванням і технології проектування багатоцільових ГІС.

У міському господарстві існує можливість обґрунтованого прогнозування можливих місць розривів на трасі трубопроводу, відстежування на карті шляхів розповсюдження забруднень та оцінки ймовірних збитків природному середовищу, розрахунку об'ємів витрат, потрібних для усунення наслідків аварії. Іншим прикладом може бути задача оптимізації вартості перевезень вантажів у населених пунктах з урахуванням характеристик транспортної мережі, об'єму перевезень та інших

умов. Найбільш складні технологічні рішення включають у себе експертну підтримку і дозволяють отримувати на виході обґрунтовані висновки, придатні для прийняття конкретних рішень [6].

Сучасне муніципальне господарство складається зі значної кількості управлінь та служб, які взаємодіють між собою. Більшість із цих муніципальних підрозділів мають достатнє технічне забезпечення і ведуть ті чи інші бази даних, необхідні для його роботи. Отриманий досвід і напрацювання дозволяють об'єднати ці розрізнені бази даних і представити їх на загальній електронній карті міста чи міського району. Використання засобів електронної картографії разом із наглядним і комплексним представленням інформації про підлеглу територію дозволяє створювати зручні та ефективні інструменти для прийняття управлінських рішень.

ГІС зберігає інформацію у вигляді набору тематичних шарів. Даний підхід корисний під час аналізу екологічної ситуації або під час оцінки вартості земельних ділянок у процесі впливу великої кількості факторів. Одна з унікальних властивостей ГІС – те, що зв'язок даних реляційної бази даних із графікою відображається в картографічних зразках. Це дає можливість під час введення об'єкта в базу даних отримувати його графічний образ на електронній карті. Отже, сучасні об'єми інформації та картографічні моделі необхідні для розвитку міської інфраструктури, а землі потребують більш серйозного професіоналізму та застосування передового інструментарію ГІС.

**Висновки.** Таким чином, проаналізовано можливість та напрями застосування геоінформаційних технологій під час дослідження сучасного землекористування та організації міських територій.

Визначено передумови застосування геоінформаційного інструментарію під час землевпорядкування міських земель, проаналізована нормативно-правова база України в галузі землеустрою та визначені найбільш придатні просторові дані та статистичні елементи під час створення проектних рішень у процесі впорядкування міських територій. Визначені задачі та можливості ГІС під час забезпечення адміністрування територій міст та створення єдиної інформаційної системи міст.

#### Список літератури:

1. The Law of Ukraine "On State Land Cadastre" dated July 7, 2011 № 3613-VI. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/3613-17> (дата звернення: 3.06.2019).

2. Кондращенко О.В., Мироненко М.Л., Шаульський Д.В., Дудін О.А. Застосування сучасних методик фотограметричного та геоінформаційного аналізу для забезпечення земельномайнових відносин. *Комунальне господарство міст*. 2018. Т. 3, № 144. С. 94–99.

3. Law of Ukraine “On Land Management” of May 22, 2003 № 858-IV. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/858-15> (дата звернення: 02.06.2019).
4. Нестеренко С.Г., Головачов В.В., Радзінська Ю.Б., Фролов В.О. Об’єкт нерухомості як тривимірна складова багатопільового кадастру. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 3, № 149. С. 119–125.
5. Карпінський Ю., Лазоренко-Гевель Н. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. *Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «GEOTERRACE-2018»*, Львів, Україна. URL : <http://gki.com.ua/ua/metodi-zbirannja-geoprostorovih-danih-dlja-topografichnogo-kartografuvannja> (дата звернення: 28.08.2019).
6. Попов А.С. Передумови створення 3D кадастру в Україні. URL : [http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Agrarnyj-visnyk-Prychornomorja/Sg\\_T\\_E\\_n/2009-v51/Statti/2009-v51Statti-Popov.pdf](http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Agrarnyj-visnyk-Prychornomorja/Sg_T_E_n/2009-v51/Statti/2009-v51Statti-Popov.pdf) (дата звернення: 28.08.2019).

**Nesterenko S.G., Radzinskaya Y.B., Afanasyev O.V., Kasyanov V.V.**  
**RESEARCH OF GEOINFORMATION TOOLS IN MODERN CONDITIONS  
OF ORGANIZATION OF TERRITORIES OF CITIES**

*In today's environment, the issues of urbanization, landscaping, and individual sites of the city are becoming increasingly important.*

*The purpose of the article is to investigate modern land management of territories using geoinformation technologies in modern urban development conditions.*

*Possibilities and directions of application of geoinformation technologies in solving problems of modern land use and organization of urban territories are investigated in the work.*

*The prerequisites for the use of geoinformation tools for land management of urban land are determined, the regulatory framework of Ukraine in the field of land management is analyzed, and the most suitable spatial data and statistical elements for the creation of design decisions for urban planning are determined. The tasks and opportunities of GIS in ensuring the administration of city territories and creation of a unified information system of cities have been determined. It is through the created GIS information technologies that provide automated collection, storage, processing and analysis of large arrays of spatially coordinated information across regions of different territorial levels, as well as modeling and forecasting the development of objects, phenomena and processes under study.*

*It is determined that geoinformation systems store information in the form of sets of thematic layers, which makes it possible to use them in a multi-purpose sense. This approach is useful in analyzing the environmental situation or in assessing the value of land when exposed to a large number of factors, which is a characteristic of large cities and regional centers. Thus, modern volumes of information and mapping models are necessary for the development of urban infrastructure, and land requires greater professionalism and the use of advanced tools of geoinformation systems.*

**Key words:** *geoinformation technologies, land use of cities, geospatial data, organization of territories of cities, land administration, spatial structure of the city.*



УДК 528.4:332.3  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-2/32>

**Рудомаха А.В.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

*Метою статті є дослідження напрямів реалізації комплексу інструментів геоінформаційного аналізу використання земель об'єднаних територіальних громад, який дає можливість візуалізувати геопросторову інформацію та створити моніторингову основу для покращення використання земель об'єднаних територіальних громад.*

*Для забезпечення територіального розвитку запропоновано реалізувати методичні рекомендації щодо підвищення ефективності використання земель об'єднаних територіальних громад у контексті системних чинників (просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних) на основі сформованого інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу та застосування сучасного геоінформаційного інструментарію.*

*Запропоновано напрями реалізації комплексу інструментів геоінформаційного аналізу використання земель об'єднаних територіальних громад, який дає можливість візуалізувати геопросторову інформацію та створити моніторингову основу для покращення використання земель об'єднаних територіальних громад.*

*Результатом аналізу є побудована ГІС-карта зі значеннями інтегральних показників використання земель об'єднаних територіальних громад за регіонами, яка системно відображає регіональні характеристики використання земель ОТГ з урахуванням впливу просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних факторів.*

*Визначені напрями базуються на результатах застосування методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад задля підвищення ефективності застосування моніторингових процедур. Такі процедури ґрунтуються комплексному підході, інформаційно-аналітичному забезпеченні методичної процедури, можливості застосування сучасних методів і моделей. Це дозволяє визначити інтегральний показник використання земель об'єднаних територіальних громад та сформувані кількісну основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо розвитку об'єднаних територіальних громад.*

**Ключові слова:** геоінформаційний аналіз, використання земель об'єднаних територіальних громад, геопросторові дані, алгоритм ГІС, моніторинг земель ОТГ, візуалізація просторової інформації.

**Постановка проблеми.** Процеси формування ОТГ несуть спадщину ієрархічно організованої структури, де значний вплив здійснюють центральні органи державної влади, визначаються дисбаланси та протиріччя між регіональними інституціями й об'єднаними територіальними громадами. За таких умов актуальним завданням є підвищення ефективності використання земель об'єднаних територіальних громад на основі формування та реалізації інформаційно-аналітичного забезпечення їх моніторингу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенням проблем формування моніторингу та застосування інструментів його реалізації займалися такі вчені: В. Боголюбов, О. Величко, М. Вишиванюк, В. Горбатюк, М. Гудчаїлд, О. Дорожинська, В. Жердев, В. Петриченко, В. Шипулін та інші [1–5].

Теоретико-методичні положення щодо визначення напрямів та особливостей використання

земель представлені у розробках таких науковців: К. Мамонова, К. Метешкіна, С. Нестеренка, Ю. Палехи, Л. Перовича, О. Петраковської, Н. Третьяка та інших [6–10].

**Постановка завдання.** Метою даної статті є дослідження напрямів реалізації комплексу інструментів геоінформаційного аналізу використання земель об'єднаних територіальних громад, який дає можливість візуалізувати геопросторову інформацію та створити моніторингову основу для покращення використання земель об'єднаних територіальних громад.

Для досягнення мети у статті вирішені такі завдання: визначити передумови застосування геоінформаційного аналізу використання земель об'єднаних територіальних громад; проаналізувати попередній досвід у вивченні питання застосування ГІС для створення геопросторової основи ОТГ; визначити алгоритми здійснення геоінфор-

маційного аналізу використання земель ОТГ; визначити напрями застосування даних геоінформаційного аналізу при здійсненні моніторингу земель ОТГ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для формування інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу використання земель регіону об'єднаних територіальних громад шляхом застосування отриманих значень інтегральних показників та представлення його даних за регіонами запропоновано здійснити геоінформаційний аналіз використання земель ОТГ. Результатом аналізу є побудована ГІС-карта зі значеннями інтегральних показників використання земель об'єднаних територіальних громад за регіонами, яка системно відображає регіональні характеристики використання земель ОТГ з урахуванням впливу просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних факторів.

Застосування інтегральних показників використання земель об'єднаних територіальних громад виконувалось з урахуванням обмежень за критеріями класифікації. Важливими умовами проведення аналізу є побудова алгоритму розподілу даних інтегральних показників за регіонами та визначення структури бази геоданих.

Особливістю застосування ГІС для аналізу та візуалізації інтегральних показників використання земель ОТГ є розробка схеми здійснення геоінформаційного аналізу (рис. 1). Обов'язковою складовою частиною схеми є моделювання впливу груп узагальнюючих показників, які формують інтегральний критерій використання земель ОТГ.

Запропонована схема складається з таких етапів:

1) моделювання узагальнюючих показників використання земель об'єднаних територіальних громад;

2) створення бази геоданих показників використання земель об'єднаних територіальних громад;

3) вибір просторової основи та прив'язка визначених показників за регіонами;

4) розподіл зон формування інтегральних показників використання земель ОТГ за регіонами;

5) здійснення аналізу інтегральних показників використання земель ОТГ за регіонами;

6) візуалізація даних аналізу інтегральних показників територіального розвитку використання земель регіону;

7) розробка шкали рівнів впливу інтегральних показників використання земель ОТГ;

8) взаємне порівняння та аналіз інтегральних показників використання земель ОТГ за територіальними ознаками;

9) отримання результатів та формування висновків щодо просторового розподілу інтегрального показника за регіонами.

Як показує розроблена схема, застосування геоінформаційних систем для моделювання, оцінки та аналізу інтегральних показників використання земель об'єднаних територіальних громад дає можливість сформувати інформаційно-аналітичне забезпечення моніторингу на основі геопросторової інформації та створити основу для підвищення ефективності використання земель ОТГ. Отримана послідовність забезпечить здійснення моніторингу змін просторових характеристик земель ОТГ в регіоні.

Таким чином, отримані результати визначення інтегральних показників використання земель ОТГ дають можливість здійснити геоінформаційний аналіз та побудувати ГІС-карту використання земель об'єднаних територіальних громад (рис. 2).

Отже, розроблено ГІС-карту, що дозволяє сформувати інформаційно-аналітичне забезпечення моніторингу на основі значень інтегральних показників використання земель об'єднаних територіальних громад. Також дані представленої карти дозволяють здійснювати прогнозування напрямів використання земель ОТГ, порівнювати їх за територіальними ознаками та особливостями залежно від змін системних чинників (просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних).

Розроблено шкалу рівня інтегрального показника використання земель об'єднаних територіальних громад  $O$ , яка визначена за значеннями відповідного інтегрального показника за регіонами України. Встановлено, що низький рівень інтегрального показника використання земель має більшість об'єднаних територіальних громад у таких регіонах: Вінницькому (1,304), Волинському (1,334), Дніпропетровському (1,284), Донецькому (1,22), Житомирському (1,339), Закарпатському (1,207), Запорізькому (1,271), Івано-Франківському (1,328), Львівському (1,297), Миколаївському (1,278), Одеському (1,358), Полтавському (1,369), Рівненському (1,229), Сумському (1,317), Тернопільському (1,314), Херсонському (1,298), Хмельницькому (1,277), Черкаському (1,223), Чернівецькому (1,303) та Чернігівському (1,344). Помірно низьким рівнем показника характеризуються функціонування ОТГ у таких регіонах: Київському (1,146), Харківському (1,166), Луганському (1,1) та Кіровоградському (1,043).

Отже, керуючись ГІС-аналізом використання земель об'єднаних територіальних громад, слід зазначити, що більшість регіонів має низький рівень інтегрального показника використання земель ОТГ. Це свідчить про гальмування територіального розвитку використання земель об'єднаних територіальних громад, розбалансування та різноспрямований характер впливу

просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних факторів. Визначено низький рівень просторового забезпечення моніторингу використання земель ОТГ, відсутність системних дій щодо реалізації містобудівних та інвестиційних напрямів. За останні роки відбуваються позитивні зрушення щодо екологічного забезпечення використання земель об'єднаних територіальних

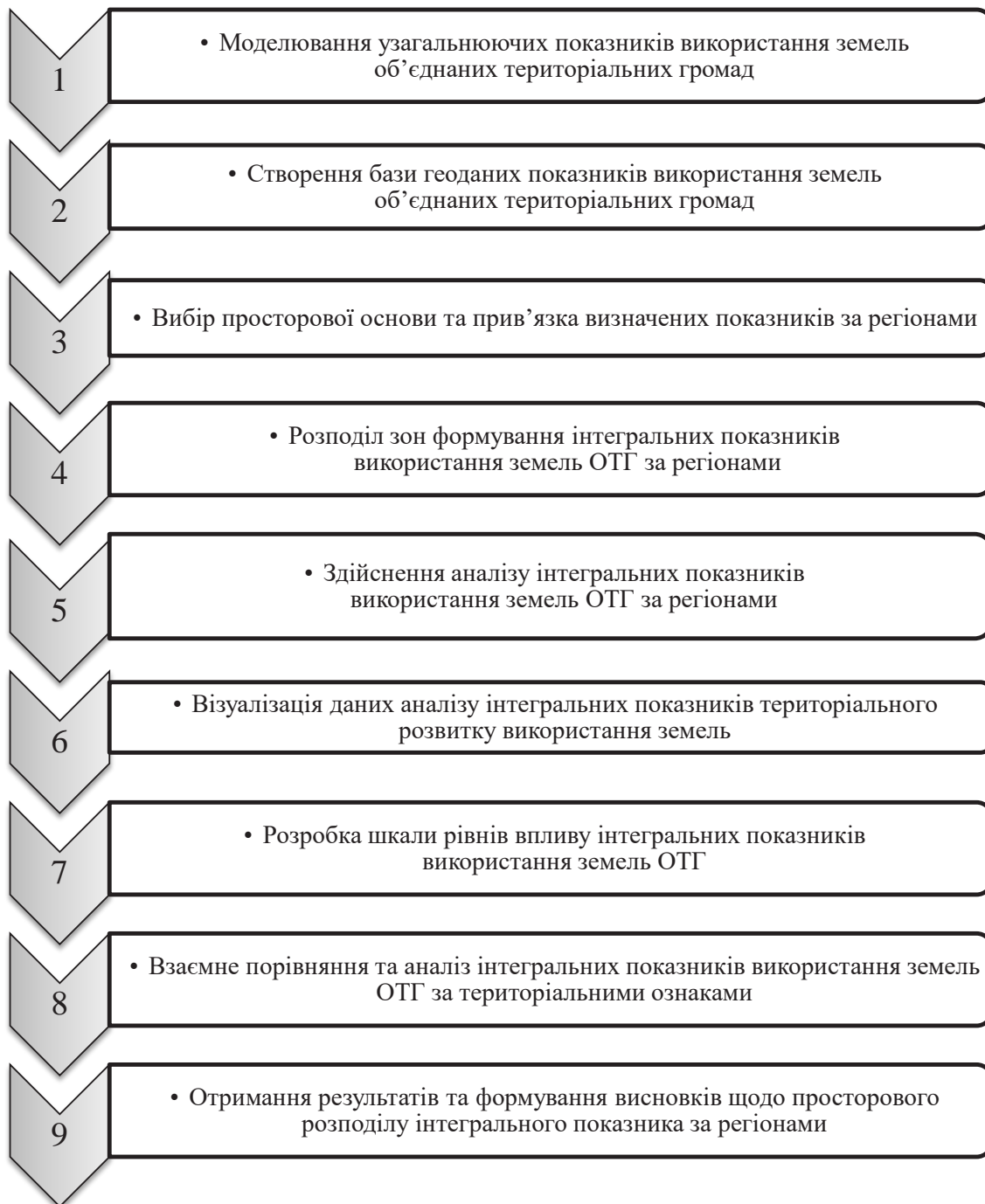


Рис. 1. Схема здійснення геоінформаційного аналізу використання земель об'єднаних територіальних громад

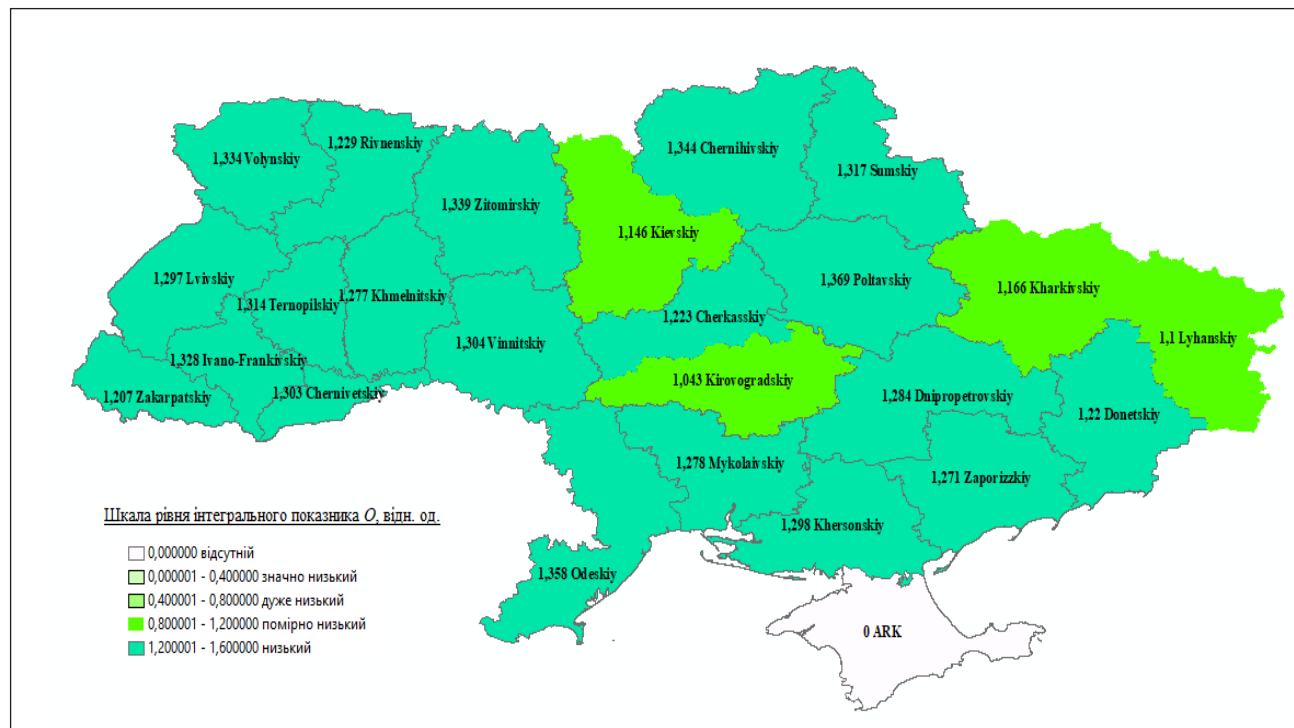


Рис. 2. ГІС-карта використання земель об'єднаних територіальних громад за регіонами ( $O$ )

громад. Проте екологічні заходи мають несистемний характер. Для забезпечення територіального розвитку запропоновано реалізувати методичні рекомендації щодо підвищення ефективності використання земель об'єднаних територіальних громад у контексті системних чинників (просторових, містобудівних, інвестиційних і екологічних) на основі сформованого інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу та застосування сучасного геоінформаційного інструментарію.

**Висновки.** У статті запропоновано напрями реалізації комплексу інструментів геоінформаційного аналізу використання земель об'єднаних територіальних громад, який дасть можливість візуалізувати геопросторову інформацію та створити моніторин-

гову основу для підвищення ефективності використання земель об'єднаних територіальних громад.

Визначені напрями базуються на результатах застосування методу інтегральної оцінки використання земель об'єднаних територіальних громад задля підвищення ефективності застосування моніторингових процедур. Такі процедури ґрунтуються на комплексному підході, інформаційно-аналітичному забезпеченні методичної процедури, можливості застосування сучасних методів і моделей. Це дозволяє визначити інтегральний показник використання земель об'єднаних територіальних громад та сформувану кількісну основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо розвитку об'єднаних територіальних громад.

#### Список літератури:

1. Офіційний сайт Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру. URL: <http://land.gov.ua>.
2. Про першочергові заходи з розвитку місцевого самоврядування в Україні на 2017 рік : Указ Президента України від 07. 12. 2016 р. № 545/216 / Офіційний портал Верховної Ради України. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/545/2016>.
3. Петраковська О.С. Методологія управління системою землекористування великих міст : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.24.04. URL: <http://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CC8QFjACahUKEwiv383NqYTHAhVIVRQKHV5y>.
4. Мамонов К.А., Нестеренко С.Г., Вяткін К.І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. *Науковий вісник будівництва*. Харківський національний університет будівництва та архітектури. Харків. 2016. Том 86 № 4. С. 323.
5. Мамонов К.А. Застосування ВЕБ геоінформаційних систем для розподілу та використання земель. *Комунальне господарство міст*. Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова. Серія «Технічні науки та архітектура». Харків. 2016. Вип. 132. 144 с.



6. Шипулін В.Д. Основи ГІС-аналізу : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. 336 с.
7. Radzinskaya Y.B. A study and comparative analysis factors formation of investment attractiveness of land in cities. Millennium science: proceedings of XV International scientific conference. Morrisville, Lulu Press, 2018. P. 26–31.
8. Радзінська Ю.Б., Нестеренко С.Г. Аналіз методів оцінки інвестиційної привабливості земель з урахуванням їх регіональних особливостей. *Управління земельними ресурсами в умовах децентралізації влади* : збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Херсон, 6–7 березня 2018 року. ДВНЗ «ХДАУ», 2018. С. 49–50.
9. Палеха Ю.Н., Олещенко А.В., Соломаха И.В. Применение ГИС-технологий в градостроительных проектах на государственном и региональном уровнях. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. География*. 2012. 25 (64). № 1. С. 155–166.
10. Третьяк Н.А. Окремі аспекти механізмів управління капіталізацією земельних ресурсів. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2014. № 1–2. С. 11–21.

#### **Rudomakha A.V. GEOINFORMATION ANALYSIS OF LAND USE OF THE UNITED TERRITORIAL COMMUNITIES**

*The purpose of the article is to investigate the directions of implementation of a set of geo-information analysis tools of land use of the united territorial communities, which makes it possible to visualize geospatial information and create a monitoring basis for increasing the use of land of united territorial communities.*

*In order to ensure territorial development, it is proposed to implement methodological recommendations for improving the utilization of land of the united territorial communities in the context of systematic spatial, urban, investment and environmental factors based on the information and analytical support provided for monitoring and use of modern geoinformation tools.*

*Directions of implementation of the complex of tools of geo-information analysis of land use of the united territorial communities are offered, which gives the opportunity to visualize geospatial information and to create a monitoring basis for increasing the use of land of united territorial communities.*

*The result of the analysis is a built-in GIS-map with values of integrated land use indicators of the united territorial communities by regions, which will systematically reflect the regional land use characteristics of the UGF, taking into account the influence of spatial, urban, investment and environmental factors.*

*The identified directions are based on the results of the application of the integrated land use method of the united territorial communities in order to increase the efficiency of the application of monitoring procedures, which is based on a comprehensive approach, information and analytical support, methodological analytical procedure, with the possibility of applying modern methods and models. This allows us to determine the integrated land use index of the united territorial communities and to form a quantitative basis for making sound decisions on the development of the united territorial communities.*

**Key words:** *geoinformation analysis, land use of the united territorial communities, geospatial data, GIS-algorithm, monitoring of ATG lands, visualization of spatial information.*

## Відомості про авторів

**Авіна С.І.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Анікєєва П.С.** – магістрант кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Арутюнян Т.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Афанасьєв О.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Бердиченко Ю.А.** – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Технологій транспорту та управління процесами перевезень» Державного університету інфраструктури та технологій;

**Белянська О.Р.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;

**Біленко Т.Є.** – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;

**Болгова Н.В.** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри технології молока і м'яса Сумського національного аграрного університету;

**Борак К.В.** – кандидат технічних наук, заступник директора з навчальної роботи Житомирського агротехнічного коледжу;

**Бражнік І.Д.** – аспірант Національного університету «Одеська морська академія»;

**Бурлуцький О.В.** – кандидат технічних наук, завідувач лабораторіями кафедри «Механіка і проектування машин» Українського державного університету залізничного транспорту;

**Бучко І.О.** – викладач Житомирського агротехнічного коледжу;

**Валовой М.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислового, цивільного і міського будівництва Криворізького національного університету;

**Валовой О.І.** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри промислового, цивільного і міського будівництва Криворізького національного університету;

**Войтік А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Волков С.О.** – аспірант кафедри промислового, цивільного і міського будівництва Криворізького національного університету;

**Гаєвський В.Р.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії і фізики Національного університету водного господарства і природокористування;

**Галета Ю.С.** – студентка, магістр кафедри технології молока і м'яса Сумського національного аграрного університету;

**Галкіна О.П.** – кандидат технічних наук, старший викладач Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Геращенко М.О.** – науковий співробітник – інженер-випробувач науково-дослідної лабораторії механічних, електричних та кліматичних випробувань науково-дослідного відділу лабораторних випробувань науково-технічного комплексу вимірювань Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

**Гомеля М.Д.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

**Грушевська Т.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

**Гуцало І.В.** – старший викладач кафедри фізики Національного університету харчових технологій;

**Данилюк О.В.** – студент Державного університету інфраструктури та технологій;

**Дворук В.І.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри теоретичної та прикладної фізики Національного авіаційного університету;

**Дегтяр М.В.** – кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Дзюба Н.А.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування Одеської національної академії харчових технологій;

**Добришкін Ю.М.** – кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу лабораторних випробувань науково-технічного комплексу вимірювань Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

**Єрмоєнко О.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислового, цивільного і міського будівництва Криворізького національного університету;

**Златковський О.А.** – кандидат технічних наук, інженер-технолог PRODEKO-ELK Sp. z o.o., м. Елк, Польща;

**Касьянов В.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Кірсанова В.В.** – кандидат біологічних наук Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

**Камасєв В.С.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

**Карбівнича Т.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки Харківського державного університету харчування та торгівлі;

**Ковальова С.О.** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

**Ковальчук Ю.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Ковальчук Ю.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Кожушко А.П.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобіле- та тракторобудування Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту»;

**Колісник Я.О.** – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;

**Коновалова А.А.** – студентка кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Коробка А.А.** – студент Державного університету інфраструктури та технологій;

**Коробка Ю.В.** – здобувач кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів Національного університету харчових технологій;

**Кочмарський В.З.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики і гідравлічних машин Національного університету водного господарства і природокористування;

**Кравченко В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Красніков К.С.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри програмного забезпечення систем Дніпровського державного технічного університету;

**Круглик М.В.** – студент Державного університету інфраструктури та технологій;

**Куба В.В.** – старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики і гідравлічних машин Національного університету водного господарства і природокористування;

**Кутковецька Т.О.** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Лабунець В.Ф.** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри машинознавства Національного авіаційного університету;

**Лавріщев О.О.** – аспірант ННЦ «ІМЕСГ»;

**Лаппо І.М.** – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії механічних, електричних та кліматичних випробувань науково-дослідного відділу лабораторних випробувань науково-технічного комплексу вимірювань Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

**Лісніченко О.О.** – кандидат економічних наук, доцент кафедри товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки Харківського державного університету харчування та торгівлі;

**Майзеліс А.О.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Мироненко Л.С.** – асистент кафедри органічного синтезу і нанотехнологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Михайлова К.А.** – аспірант Одеської національної академії харчових технологій;

**Нестеренко С.Г.** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Новосилецький Ю.Л.** – викладач Житомирського агротехнічного коледжу;

**Оляднічук Р.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Пензева І.М.** – студентка кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Перевалов Л.І.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Петриковець О.В.** – старший викладач кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

**Пилипенко О.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Півоваров О.А.** – професор кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»;

**Привалова Г.С.** – аспірант кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Приходько С.М.** – технік лабораторії вимірювальної техніки науково-дослідного відділу лабораторних випробувань науково-технічного комплексу вимірювань Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

**Прокопенко П.М.** – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій;

**Радзінська Ю.Б.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Ребров О.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобіле- та тракторобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Рудомаха А.В.** – аспірант кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Русецька Н.М.** – викладач Житомирського агротехнічного коледжу;

**Савчук Ю.Ю.** – аспірант Національного університету харчових технологій;

**Свирид М.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструкції літальних апаратів Національного авіаційного університету;

**Сидоренко О.В.** – студент Державного університету інфраструктури та технологій;

**Соколова Є.Б.** – старший викладач кафедри товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки Харківського державного університету харчування та торгівлі;

**Соляк Л.В.** – старший викладач кафедри хімії і фізики Національного університету водного господарства і природокористування;

**Сподар К.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки Харківський державний університет харчування та торгівлі;



**Степова О.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка;

**Стрелко О.Г.** – доктор історичних наук, професор, професор кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій;

**Тимченко В.К.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Третяк В.М.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач відділу мобільних енергетичних засобів та біоенергетики Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»;

**Третяк М.К.** – магістрант Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;

**Усатюк С.І.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри експертизи харчових продуктів Національного університету харчових технологій;

**Фомін О.В.** – доктор технічних наук, доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій;

**Фоміна А.М.** – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;

**Фролова Л.А.** – доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»;

**Чебаненко Х.В.** – старший викладач кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

**Шевченко А.О.** – кандидат технічних наук, інженер інженерії навколишнього середовища PRODEKO-ELK Sp. z o.o., м. Елк, Польща;

**Шевченко Т.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Шевчук В.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва;

**Штепа Є.П.** – кандидат технічних наук, доцент Одеської національної академії харчових технологій;

**Яковлева І.М.** – провідний хімік лабораторії хроматографічних досліджень ДП «Харківстандартметрологія»;

**Янчик М.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач Національного університету харчових технологій.

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 30 (69) № 5 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. 15,93. Ум.-друк. арк. 22,79. Зам. № 1119/246

Підписано до друку 08.11.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а

Телефон +38 (0552) 399 580,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: [mailbox@helvetica.com.ua](mailto:mailbox@helvetica.com.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.