

**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) № 1 2019

Частина 2

**Київ
2019**

Головний редактор:

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 6 від 08.02.2019 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

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

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

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА

- Азаров С.І., Евланов В.М.**
МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ
В СХОВИЩІ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА.....1
- Беляєв В.К., Паненко О.М.**
ВИБІР ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО
КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ОБМОТКИ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ.....7
- Дурас М.В., Мельничук В.В., Лавріщев О.О.**
ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ
ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....14
- Сімейко К.В., Сидоренко М.А.**
ТЕПЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ
ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОМУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ.....18

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

- Инкин А.В.**
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХРАНИЛИЩ ГАЗА
В ВОДОНОСНЫХ СТРУКТУРАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА..... 23

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Золотарьова О.В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ АМОНІЙНОГО АЗОТУ
ЗІ СТІЧНИХ ВОД ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ МЕТОДОМ ОСАДЖЕННЯ30
- Іванченко А.В., Судакова Д.О., Гром А.О., Крюковська О.А.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ
З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ36
- Маркіна Л.М., Крива М.С.**
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ГУМО-ТЕХНІЧНИХ ВІДХОДІВ..... 41
- Штефан В.В., Спіфанова А.С., Метеньканич М.М., Пойманов А.Д., Школьнікова Т.В.**
МЕХАНІЗМ КАТОДНИХ РЕАКЦІЙ ОСАДЖЕННЯ СПЛАВУ Co-Mo..... 51

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

- Valevskaya L.A., Sokolovskaya O.G., Chumachenko Y.D., Ovsyannikova L.K.**
CONSUMER PROPERTIES AND QUALITY ASSESSMENT OF QUINOA GRAINS.....57
- Лабжинська М.Ю., Володченкова Н.В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КІЛЬКОСТІ ТА ЯКОСТІ СИРОЇ КЛЕЙКОВИНИ
В ЗЕРНІ ПШЕНИЦІ ВІД УМІСТУ САЖКОВИХ ЗЕРЕН.....62
- Пилипенко Т.М., Єфімова В.Г., Андрощук С.П., Поліщук М.В., Денисюк І.В.**
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІНОМІЙНИХ КОСМЕТИЧНИХ ПРОДУКТІВ..... 67
- Сімахіна Г.О., Камінська С.В., Науменко Р.Ю.**
НОВІ ПІДХОДИ ДО ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ОЦІНЮВАННЯ ОСНОВНИХ
ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СВІЖИХ І ЗАМОРОЖЕНИХ ПЛОДІВ І ЯГІД..... 72
- Тележенко Л.М., Вікуль С.І., Нападовська М.С.**
РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ СИРКОВОГО ДЕСЕРТУ
ДЛЯ ПРОФІЛАКТИКИ НЕРВОВИХ РОЗЛАДІВ..... 78

Челябієва В.Н., Турінова І.В. ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА СОЧЕВИЦІ У РЕЦЕПТУРІ ПЕЧИВА.....	87
Чорна А.І., Калмазан В.Б. СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ЙОГУРТУ З ЯПОНСЬКИМ ЧАСМ МАТЧА ТА НАСІННЯМ ЧІА.....	91
ТРАНСПОРТ	
Казарезов А.Я., Галь А.Ф., Гайдай А.Ю., Грешнов А.Ю. ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ.....	97
Павлов Г.О., Кулагін Д.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХОДОВИХ ЧАСТИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ НА ГУСТИНУ ҐРУНТУ.....	105
Пушка О.С., Шевчук В.В., Кутковецька Т.О. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТИВ ПІД ЧАС ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ.....	111
Тірон-Воробйова Н.Б., Романовська О.Р., Максимов С.Б. РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ: СУЧАСНІ РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.....	116
БУДІВНИЦТВО	
Стоянов В.В., Жгалли Ш. ЧИСЛЕННЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ПОКРЫТИЯХ УНИКАЛЬНЫХ И СОВРЕМЕННЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ.....	121
Чичулін В.П., Чичуліна К.В. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕВОДНІВ.....	133
ГЕОДЕЗІЯ	
Коваленко Л.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРУГЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ.....	138
Міхно П.Б. МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ.....	141
Нестеренко С.Г., Радзінська Ю.Б., Шаульський Д.В. МЕХАНІЗМИ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ УКРАЇНИ РЕГІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	147
Рацлав В.В. МОНІТОРІНГ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОБЛЕМ ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДОНБАСУ.....	151
Русіна Н.Г., Люльчик В.О. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ.....	156

CONTENTS

POWER ENGINEERING

Azarov S.I., Evlanov V.M.

SIMULATION OF THE HEAT MASS TRANSFER AT A STORAGE FOR SPENT NUCLEAR FUEL....1

Beliaev V.K., Panenko E.M.

SELECTION OF TRANSFORMER DIAGNOSTIC MODEL FOR MONITORING
SYSTEM OF THE MECHANICAL CONDITION OF WINDING UNDER LOAD7

Duras M.V., Melnichuk V.V., Lavryshchev O.O.

DETERMINATION OF FACTORS INFLUENCING THE DECISION
ABOUT THE FEASIBILITY OF USING RENEWABLE SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY14

Simeiko K.V., Sidorenko M.A.

THERMAL PARAMETERS OF HIGH-TEMPERATURE PROCESSING
FOR CARBON MATERIALS IN AN ELECTROTHERMAL FLUIDIZED BED.....18

RESOURCE DEVELOPMENT

Inkin O.V.

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS PERATION
OF GAS STORAGE IN THE AQUARIUS STRUCTURES OF THE WESTERN DONBASS.....23

CHEMICAL TECHNOLOGY

Zolotarova O.V.

RESEARCH ON PATTERNS OF ALLOCATION PROCESSES OF AMMONIUM NITRATE
FROM THE EFFLUENTS OF CHEMICAL FACILITIES USING A PROCEDURE FOR DEPOSITION.....30

Ivanchenko A.V., Sudakova D.O., Grom A.O., Kryukovsky O.A.

STUDYING THE PROCESS OF BIOGAZES FROM PLANT MIXTURES
AND ITS IMPACT ON HUMAN ORGANISM.....36

Markina L.M., Kryva M.S.

PROVIDING AN ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE THERMAL
DISPOSAL OF RUBBER-TECHNICAL WASTE41

Shtefan V.V., Yepifanova A.S., Metenkanych M.N., Poimanov A.D., Shkolnikova T.V.

MECHANISM OF CERTIFIED REACTIONS OF Co-Mo.....51

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Valevskaya L.A., Sokolovskaya O.G., Chumachenko Y.D., Ovsyannikova L.K.

CONSUMER PROPERTIES AND QUALITY ASSESSMENT OF QUINOA GRAINS57

Labzhynska M.Yu., Volodchenkova N.V.

RESEARCH OF QUANTITY AND QUALITY DEPENDENCE OF WET GLUTEN
IN WHEAT GRAIN FROM THE CONTENT OF SMUT GRAINS62

Pylypenko T.M., Yefimova V.G., Androshchuk S.P., Polishchuk M.V., Denysiuk I.V.

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF FOAM
CLEANING COSMETIC PRODUCTS.....67

Simakhina G.O., Kaminska S.V., Naumenko R.Yu.

THE NEW APPROACHES TO CHARACTERIZING AND ESTIMATING
THE ORGANOLEPTIC INDICES OF FRESH AND FROZEN FRUIT AND BERRIES72

Telezhenko L.M., Vikul S.I., Napadovska M.S. A RECIPE DEVELOPMENT OF COTTAGE CHEESE DESSERTS FOR THE PREVENTION OF NERVOUS DISORDERS	78
Cheliabiiieva V.N., Turinova I.V. THE USE OF LENTIL FLOUR IN THE COOKIE RECIPE	87
Chorna A.I., Kalmazan V.B. METHOD OF MANUFACTURING YOGHURT WITH JAPANESE MATCHA TEA AND CHIA SEEDS.....	91
TRANSPORT	
Kazarezov A.Ya., Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. LOGISTIC PROJECTS OF SEA PIPELINES	97
Pavlov G.O., Kulagin D.O. RESEARCH INFLUENCE OF RUNNING PARTS AGRICULTURAL EQUIPMENT ON THE SOIL DENSITY.....	105
Pushka O.S., Shevchuk V.V., Kutkovetska T.O. ENHANCEMENT OF THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF MACHINE-TRACTOR AGGREGATES BY SOIL CULTIVATION USING THE GAS AND DIESEL POWER SUPPLY ACTIVITIES.....	111
Tiron-Vorobiova N.B., Romanovska O.R., Maksymov S.B. RIVER TRANSPORT OF UKRAINE: MODERN REALITIES AND PROSPECTS	116
CONSTRUCTION	
Stojanov V.V., Jgalli S. NUMERICAL SIMULATIONS OF SNOW LOADS ON A CURVED ROOF AND MODERN ARCHITECTURAL SHAPES.....	121
Chichulin V.P., Chichulina K.V. DESIGN OF STEEL TANKS FOR STORAGE OF HYDROCARBONS.....	133
GEODESY	
Kovalenko L.O. USE OF GEODESIC METHODS FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE ROADS OF THE AUTOMOBILE ROAD	138
Mikhno P.B. MODELING THE LIFE CYCLE OF DISTURBED LANDS	141
Nesterenko S.H., Radzinska Yu.B., Shaulskiy D.V. MECHANISMS OF RATIONAL DISTRIBUTION AND USE OF LANDS OF UKRAINE OF REGIONAL PURPOSE.....	147
Ratslav V.V. USING MONITORING ECOLOGICAL AND ECONOMICAL PROBLEMS OF USING AND PROTECTING WATER RESOURCES OF DONBASS.....	151
Rusina N.H., Liulchyk V.O. SOFTWARE OF GEODESY CALCULATIONS IN THE LAND MANAGEMENT.....	156

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.039.743

Азаров С.І.

Інститут ядерних досліджень НАН України

Евланов В.М.

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки»

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В СХОВИЩІ ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

У статті представлено математичну модель і результати розрахунків щодо визначення локальних значень температур у сховищі відпрацьованого ядерного палива в різні моменти часу.

Ключові слова: атомна електростанція, відпрацьоване ядерне паливо, сховище «мокрого» типу, чисельне моделювання.

Постановка проблеми. Аварії на сховищах відпрацьованого ядерного палива (далі – СВЯП), розташованих на території атомних станцій (далі – АС), є малоймовірними, але можливими подіями. Про це свідчить світовий досвід, а саме: короточасна (близько доби) втрата охолодження басейнів витримки (далі – БВ) з відпрацьованим ядерним паливом (далі – ВЯП) на підприємстві з переробки палива в Селлафілді (Великобританія) [1], а також недавня тривала втрата охолодження приреакторних басейнів на енергоблоках АС «Фукусіма-1» [2; 3].

Як відомо, її наслідки були вкрай важкими: повна втрата (випарювання) води з басейну, перегрів цирконієвих оболонок тепловиділяючих елементів, пароцирконієва реакція з виділенням водню, утворенням гримучої суміші, вибухом і забрудненням довкілля продуктами аварії.

Натепер більша частина ВЯП знаходиться в умовах так званого «мокрого» зберігання в сховищах відпрацьованого ядерного палива. Це БВ, через які прокачується вода, що нагрівається теплою залишкового енерговиділення ВЯП, охолоджується потім у теплообмінниках зовнішньої системи охолодження.

СВЯП «мокрого» типу розташовуються на території атомної електростанції та призначені для подальшої хімічної переробки ВЯП або для його «остаточного» поховання.

Водночас в одному СВЯП може зберігатися до декількох десятків тисяч відпрацьованих тепловиділяючих збірок (далі – ВТВЗ). Потужність тепловиділення однієї ВТВЗ відносно невелика,

наприклад, для СВЯП ЧАЕС – від 30 до 80 Вт залежно від проміжку часу, що пройшов після вивантаження з реактора.

Однак за наявності великої кількості ВТВЗ загальна потужність тепловиділення в сховищі виявляється достатньою, щоб у разі припинення примусової циркуляції води через відсіки басейну температура води через кілька діб досягла високих значень, за яких інтенсивність випаровування стає неприпустимо великою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над проблемою дослідження безпеки сховищ відпрацьованого ядерного палива, розташованих на території АС, працюють багато вітчизняних і закордонних спеціалістів і науковців. Різні аспекти й окремі підходи до дослідження цієї проблеми висвітлено в численних працях [1–3], але через те, що цей процес є безперервним, постійним і надзвичайно актуальним, дослідження тривають.

Постановка завдання. Завдання роботи полягає у виконанні розрахункових аналізів поведінки палива в БВ під час аварій, що супроводжуються втратою можливостей забезпечення тепловідведення або підтримання запасу теплоносія.

Мета статті – навести результати розрахункових аналізів сценаріїв аварій, пов'язаних з утратою тепловідведення від БВ.

Виклад основного матеріалу дослідження. У стаціонарному режимі експлуатації СВЯП процеси тепломасообміну збалансовані так, що температури всіх елементів СВЯП практично постійні, тобто схильні тільки до сезонних коливань.

В аварійній ситуації (припинення циркуляції охолоджуючої води, а також примусової повітряної вентиляції надводного простору) цей баланс порушується в бік перевищення тепловиділення над тепловідводом, і такий стан зберігається до тих пір, поки знову не встановиться рівновага, але вже на більш високому температурному рівні.

Підвищення температури води в пеналах і БВ супроводжується збільшенням темпу випаровування води, що призводить до зниження рівня води в пеналах і басейні, як наслідок, повного або часткового осушення відпрацьованих тепловиділяючих збірок.

Ця обставина робить актуальним розроблення сценаріїв виникнення й розвитку гіпотетичних аварій, які можуть статися в результаті тривалого знеструмлення СВЯП і припинення циркуляції води через басейн зберігання відпрацьованого ядерного палива.

Найбільш повна інформація в цій галузі може бути отримана за допомогою методів математичного моделювання.

Розрахункова модель СВЯП [4] являє собою приведену до однієї ВТВЗ «мікросховище» ВЯП, що містить усі елементи натурального «мокрого» сховища відпрацьованого ядерного палива, які беруть участь у тепломасообмінних процесах: тепловиділяючі елементи, пенали, вода пеналів і басейн, торцеве та бічне огороження басейну тощо (рис. 1).

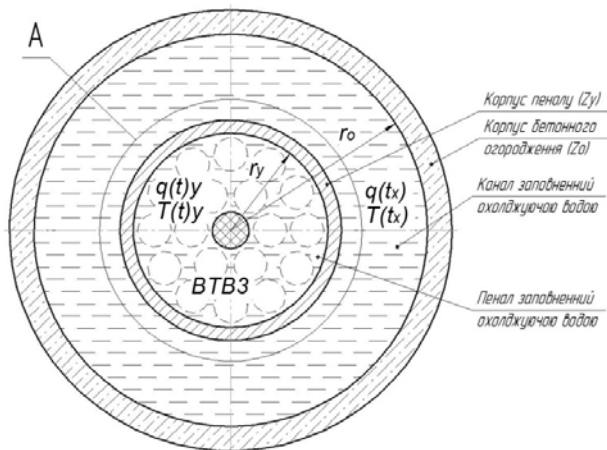


Рис. 1. Конфігурація розташування елементів і теплових зв'язків між ними в модельній «комірці» СВЯП

У моделі всі вертикальні розміри, розміри пеналу та його вмісту збережені натурними, а міжпенальний простір змодельовано більш простим для розгляду, але подібним відносно конвективної тепловіддачі кільцевим каналом, при-

чому радіальні розміри моделі вибрані так, щоб у розрахунку на одну ВТВЗ в моделі й натурному СВЯП були рівні такі площі:

- а) поперечного перерізу міжпенального простору;
- б) поперечного перерізу бокових бетонних огорож;
- в) поверхні випаровування всередині пеналу.

Отже, в розрахунку на одну ВТВЗ в моделі й натурному сховищі дотримано рівність обсягів, мас і теплоємність розглянутих елементів СВЯП. Умови теплопередачі через зовнішні огороження басейну визначені з використанням критерію крайової подібності Біо, що являє собою відношення внутрішнього й зовнішнього термічних опорів.

У деякий момент часу t в СВЯП відбувався теплообмін між його елементами та навколишнім середовищем.

На основі теплового балансу між кінцевими елементами й середовищем складаємо систему диференціальних рівнянь збереження для модельної «комірки» СВЯП, яка має вигляд:

$$\int_{V_j} q(\vec{r}, t) d\vec{V}_j = \int_{V_j} c(\vec{r}) \frac{\partial \theta(\vec{r}, t)}{\partial t} d\vec{V}_j - \int_{V_j} \text{div} \vec{q}(\vec{r}, t)_j d\vec{V}_j, \quad (1)$$

де $j=1, 2, \dots, N$;

$q(\vec{r}, t)$ – потужність внутрішніх джерел тепла j -го тіла в $T \cdot r$ момент часу t ;

$c(\vec{r})$ – ізохорична теплоємність j -го тіла в $T \cdot r$ момент часу t ;

V – об'єм j -го тіла.

Застосовуючи формулу Остроградського-Гауса, перетворюємо другі члени системи рівнянь (1) і за допомогою оператора усереднювання

$$L[f(\vec{x}, t)_i] = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} f_i(\vec{x}, t) dA \equiv \tilde{f}(x, t), \quad (2)$$

Усереднимо всі члени системи (2). У результаті отримаємо систему диференціальних рівнянь із розподільними параметрами вигляду:

$$\tilde{q}(t)_j = \tilde{C}_j \frac{\partial \tilde{\theta}^V(t)_j}{\partial t} - \tilde{\theta}_j \left[\frac{d\tilde{\theta}^S(t)_j}{dr_j} \right]_{S_j}, \quad (3)$$

де $\tilde{\theta}^V(t)$ – відносна середньооб'ємна температура j -го тіла в момент часу t ;

$\tilde{\theta}^S(t)$ – відносна середньооб'ємна температура j -го тіла в момент часу t ;

$\tilde{\lambda}$ – усереднений коефіцієнт теплопровідності j -го тіла.

Припустимо, що N тіла пов'язані між собою ідеальними тепловими зв'язками та їх можна розглядати як єдине суцільне тіло, а оболонку, що їх обмежує, позначимо K (корпус БВ). З урахуванням цих припущень і позначень замінимо систему диференціальних рівнянь із розподіленими

параметрами системою рівнянь із зосередженими параметрами, а саме [5]:

$$\begin{cases} \tilde{q}(t)_a = \tilde{C}_a \frac{\partial \tilde{\theta}^V(t)_a}{dt} - \tilde{\theta}_a \left[\frac{d\tilde{\theta}^S(t)_a}{dr_a} \right]_{S_a} \\ \tilde{q}(t)_K = \tilde{C}_K \frac{\partial \tilde{\theta}^V(t)_K}{dt} - \tilde{\theta}_K \left[\frac{d\tilde{\theta}^S(t)_K}{dr_K} \right]_{S_K} \end{cases}, \quad (4)$$

де

$$\tilde{q}(t)_K = \sum_{i=1}^{k-1} \tilde{q}(t)_i; \quad (5)$$

$$\tilde{\lambda}_K = \sum_{i=1}^{k-1} \tilde{\lambda}_i; \quad (6)$$

$$\tilde{C}_K = \sum_{i=1}^{k-1} \tilde{C}_i; \quad (7)$$

$$\frac{d\tilde{\theta}^V(t)_K}{dt} = \sum_{i=1}^{k-1} \frac{d\tilde{\theta}^V(t)_i}{dt}; \quad (8)$$

$$\left[\frac{d\tilde{\theta}^S(t)_K}{dr_K} \right]_{S_K} = \sum_{i=1}^{k-1} \left[\frac{d\tilde{\theta}^S(t)_i}{dr_i} \right]_{S_i}. \quad (9)$$

Задамося початковими і граничними умовами:

$$\tilde{\theta}^S(t)_a|_{t=0} = \tilde{\theta}^S(t)_K|_{t=0} = \tilde{\theta}^V(t)_a|_{t=0} = \tilde{\theta}^V(t)_K|_{t=0} = 0; \quad (10)$$

$$\begin{cases} -\tilde{\theta}_K \left[\frac{d\tilde{\theta}^S(t)_K}{dr_K} \right]_{S_K} = \tilde{\theta}_{K-T} [\tilde{T}^S(t)_K - \tilde{T}(t)_T], \\ -\tilde{\theta}_a \left[\frac{d\tilde{\theta}^S(t)_a}{dr_a} \right]_{S_a} = \tilde{\theta}_{a-K} [\tilde{T}^S(t)_a - \tilde{T}(t)_K]; \end{cases} \quad (11)$$

тут:

$$\begin{cases} \tilde{\sigma}_{a-K} = \frac{\tilde{a}_{a-K} S_a}{\tilde{a}_{K-T} S_K}, \\ \tilde{\sigma}_{K-T} = \frac{\tilde{a}_{K-T} S_K \tilde{\lambda}_K f_K}{\tilde{\lambda}_K f_K + \tilde{a}_{K-T} S_K l_K}; \end{cases} \quad (12)$$

З урахуванням початкових і граничних умов запишемо систему двох лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \tilde{q}(t)_K - \tilde{\sigma}_{K-T} [\psi(t)_K \tilde{T}^V(t)_K - \tilde{T}^V(t)_T] = \tilde{C}_K \frac{d\tilde{T}^V(t)_K}{dt}; \\ \tilde{q}(t)_a - \tilde{\sigma}_{a-K} [\psi(t)_a \tilde{T}^V(t)_a - \psi(t)_K \tilde{T}^V(t)_K] = \tilde{C}_a \frac{d\tilde{T}^V(t)_a}{dt}, \end{cases} \quad (13)$$

тут:

$$\begin{cases} \psi(t)_K = \frac{V_K \int_{V_K} \tilde{T}^S(t)_K dS_K}{S_K \int_{V_K} \tilde{T}^V(t)_K dV_K}, \\ \psi(t)_a = \frac{V_a \int_{V_a} \tilde{T}^S(t)_a dS_a}{S_a \int_{V_a} \tilde{T}^V(t)_a dV_a}; \end{cases} \quad (14)$$

Зробимо припущення, що параметри $\psi(t)_a$ і $\psi(t)_K$ протягом усього періоду часу в разі перехідного температурного процесу в ядерному реакторі залишаються постійними.

Тоді з урахуванням цього система двох лінійних рівнянь із постійними коефіцієнтами відносно $\tilde{T}^V(t)_a$ і $\tilde{T}^S(t)_K$ матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \tilde{T}^V(t)_a}{dt^2} + A_1 \frac{d\tilde{T}^V(t)_a}{dt} + A_2 \tilde{T}^V(t)_a = \\ = A_3 \tilde{q}(t)_a + A_4 \tilde{q}(t)_K + A_5 \tilde{T}(t)_T; \\ \tilde{T}^S(t)_K = A_6 \frac{d\tilde{T}^V(t)_a}{dt} + A_7 \tilde{T}^V(t)_a - A_8 \tilde{q}(t)_a, \end{cases} \quad (15)$$

де

$$\begin{cases} A_1 = Z_a + Z_K; A_2 = Z_a \cdot Z_K; A_3 = \tilde{C}_a^{-1} \left[\frac{d\tilde{q}(t)_a}{\tilde{q}(t)_a dt} + Z_K \right]; \\ A_4 = \frac{\tilde{\sigma}_{a-K}}{\tilde{C}_a \cdot \tilde{C}_K \psi_K}; A_5 = \frac{Z_K \cdot \tilde{\sigma}_{a-K}}{\tilde{C}_a \cdot \psi_K}; A_6 = \frac{1}{Z_a \cdot \psi_K}; \\ A_7 = \frac{\psi_a}{\psi_K}; A_8 = \frac{1}{\psi_K \tilde{\sigma}_{a-K}}; Z_a = \frac{\tilde{\sigma}_{a-K} \tilde{\sigma}_a}{\tilde{C}_a}; Z_K = \frac{\tilde{\sigma}_{K-T} S_K}{\tilde{C}_K}. \end{cases} \quad (16)$$

Розв'язання рівняння (16) знайдемо за допомогою квадрата з розв'язання однорідного рівняння вигляду:

$$\frac{d^2 \tilde{T}^V(t)_a}{dt^2} + A_1 \frac{d\tilde{T}^V(t)_a}{dt} + A_2 \tilde{T}^V(t)_a = 0. \quad (17)$$

Для рівняння (17) запишемо характеристичне рівняння:

$$N^2 + A_1 N + A_2 = 0. \quad (18)$$

Вирішуючи його щодо N , знайдемо корені:

$$N_{1,2} = \frac{-A_1}{2} \pm \left[\left(\frac{A_1}{2} \right)^2 - A_2 \right]^{1/2}. \quad (19)$$

Розглянемо три випадки розв'язання характеристичного рівняння (19):

1 випадок: $Z_a > Z_K$:

$$\tilde{T}^V(t)_a = C_1 e^{-N_1 t} + C_2 e^{-N_2 t}; \quad (20)$$

2 випадок: $Z_a = Z_K$:

$$\tilde{T}^V(t)_a = (C_1^* + C_2^* \cdot t) \cdot e^{-N_{1,2} t}; \quad (21)$$

3 випадок: $Z_a < Z_K$:

$$\tilde{T}^V(t)_a = (C_1^{**} \cos \beta t + C_2^{**} \cdot \sin \beta t) \cdot e^{-A/2t}, \quad (22)$$

де

$$\beta = \left[A_2 - \left(\frac{A_1}{2} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (23)$$

Подальший аналіз теплофізичних процесів, що відбуваються в БВ, проведимо за виконання таких умов:

$$\tilde{q}(t)_a = 0; \tilde{T}(t)_a = const; Z_a \geq Z_K. \quad (24)$$

Вирішуючи рівняння (17) зі спеціальною правою частиною, знайдемо аналітичні вирази, що описують вимірювання температурних полів у корпусі БВ при різних законах дії зовнішніх збурень.

Результати цих розрахунків подано в таблиці 1.

Тут:

$$M_x = M \cos \phi_\omega = \frac{M \cdot Z_a}{\sqrt{Z_a^2 + \omega^2}}; 0 < \phi_\omega < \pi / 2; \quad (25)$$

$$\phi_\omega = -\arctg(\omega \cdot Z_a); \quad (26)$$

$$\omega = 2\pi/t; \quad (27)$$

де константи інтеграції дорівнюють:

$$C_1 = A_3 / \chi \cdot [m \cdot \tilde{g}(t)_a - (N_1 + \chi)]; \quad (28)$$

Таблиця 1

Результати розрахунків температур у БВ при різних законах вимірювання зовнішніх збурень за умови $Z_a \geq Z_K$

	$\tilde{q}(t)_a = \text{sign}(t), t > 0$	$\tilde{q}(t)_a = B + D \cdot t$	$\tilde{q}(t)_a = M \cdot \sin \omega t$
$Z_a \geq Z_K$	$\tilde{T}^V(t)_K = \Psi_a [\tilde{T}^V(t)_a - Z_a^{-1} \times (N_1 C_1 e^{-N_1 t} + N_2 C_2 e^{-N_2 t})] - A_3;$ $\tilde{T}^V(t)_a = C_1 e^{-N_1 t} + C_2 e^{-N_2 t} + A_3;$	$\tilde{T}^V(t)_K = \Psi_a [\tilde{T}^V(t)_a - Z_a^{-1} \times (N_1 C_3 e^{-N_1 t} + N_2 C_4 e^{-N_2 t})] - A_3 \cdot (B + Dt);$ $\tilde{T}^V(t)_a = C_3 e^{-N_1 t} + C_4 e^{-N_2 t} + A_3 \left(\frac{D}{A_1} \cdot t - \frac{B}{A_2} \right);$	$\tilde{T}^V(t)_K = \Psi_a [\tilde{T}^V(t)_a - Z_a^{-1} \times (N_1 C_5 e^{-N_1 t} + N_2 C_6 e^{-N_2 t})] - A_3 \cdot M \cdot \sin \omega t$ $\tilde{T}^V(t)_a = C_5 e^{-N_1 t} + C_6 e^{-N_2 t} + \frac{A_3}{A_2} M_x \sin(\omega t + \phi_\omega);$
$Z_a \geq Z_K$	$\tilde{T}^V(t)_K = \frac{\Psi_a}{\Psi_K} \{ \tilde{T}^V(t)_a - Z_a^{-1} \times [(C_1^* + C_2^* t) N_{1,2} + C_2^*] \times e^{-N_{1,2} t} \} - A_3;$ $\tilde{T}^V(t)_a = (C_1^* + C_2^* \cdot t) \cdot e^{-N_{1,2} t} + A_3;$	$\tilde{T}^V(t)_K = \frac{\Psi_a}{\Psi_K} \{ \tilde{T}^V(t)_a - Z_a^{-1} \times [(C_3^* + C_2^* t) N_{1,2} + C_2^*] \times e^{-N_{1,2} t} \} - A_3 \cdot (B + Dt);$ $\tilde{T}^V(t)_a = (C_1^* + C_2^* \cdot t) \cdot e^{-N_{1,2} t} + A_3 \left(\frac{D}{A_1} \cdot t - \frac{B}{A_2} \right);$	$\tilde{T}^V(t)_K = \frac{\Psi_a}{\Psi_K} \{ \tilde{T}^V(t)_a - Z_a^{-1} \times [(C_4^* + C_2^* t) N_{1,2} + C_4^*] \times e^{-N_{1,2} t} \} - A_3 \cdot M \cdot \sin \omega t.$ $\tilde{T}^V(t)_a = (C_1^* + C_2^* \cdot t) \cdot e^{-N_{1,2} t} + \frac{A_3}{A_2} M_x \sin(\omega t + \phi_\omega);$

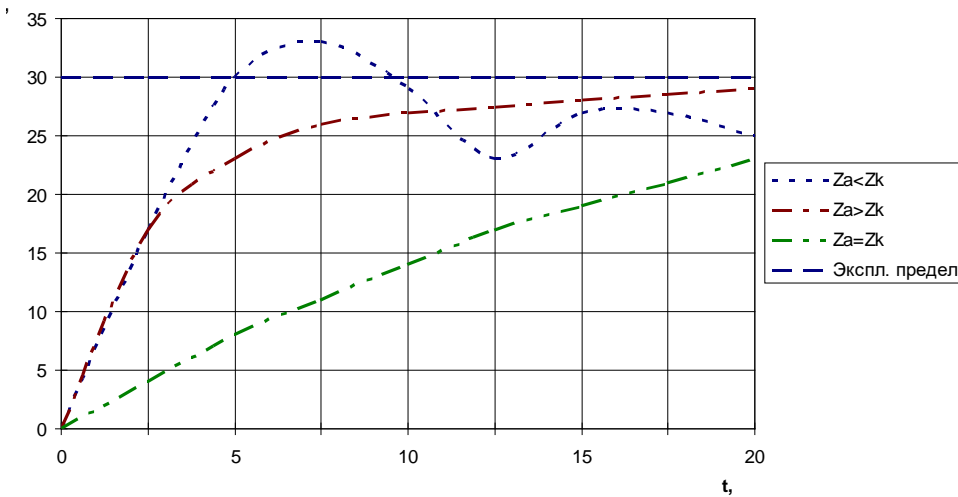


Рис. 2. Зміна різниці між температурою теплоносія й температурою корпусу БВ в разі миттєвого зменшення витрати теплоносія в БВ в 1,5 рази

$$C_2 = A_3 / \chi \cdot [N_1 - m \cdot \tilde{g}(t)_a]; \quad (29)$$

$$C_3 = A_3 / \chi \cdot \left[m(B + Dt) - (N_1 + \chi) \cdot \left(\frac{D}{A_1} t - \frac{B}{A_2} \right) \right]; \quad (30)$$

$$C_4 = A_3 / \chi \cdot \left[N_1 \cdot \left(\frac{D}{A_1} t - \frac{B}{A_2} \right) - m(B + Dt) \right]; \quad (31)$$

$$C_5 = A_3 / \chi \cdot \left\{ m \cdot M \cdot \sin \omega t - (N_1 + \chi) \left[\frac{M_x^2}{A_2} \sin(\omega t + \phi_\omega) \right] \right\}; \quad (32)$$

$$C_6 = A_3 / \chi \cdot \left[\frac{N_1 M_x^2}{A_2} \sin(\omega t + \phi_\omega) - m \cdot M \cdot \sin \omega t \right]; \quad (33)$$

$$\chi = N_2 - N_1; \quad (34)$$

$$m = Z_a / \Psi_a \cdot \sigma_{a-K}; \quad (35)$$

$$C_1^* = -A_3; \quad (36)$$

$$C_2^* = \Psi_a^{-1} \cdot \sigma_{a-K}^{-1} \cdot [(\Psi_a \cdot \tilde{\sigma}_{a-K} - 1) - N_{1,2} \Psi_a \tilde{\sigma}_{a-K}]; \quad (37)$$

$$C_4^* = \frac{A_3 M_x^2}{A_2} \sin(\omega t + \phi_\omega); \quad (38)$$

$$A_3' = \Psi_K^{-1} \cdot \sigma_{a-K}^{-1}; C_3^* = -A_3 \left(\frac{D}{A_1} t - \frac{B}{A_2} \right). \quad (39)$$

Знайдемо значення критеріїв Фур'є, за яких зміна температури в корпусі БВ відбуватиметься за експоненціальним законом із єдиним показником експоненти, а також оцінимо час настання стаціонарного температурного режиму за умови $Z_a > Z_K$, $\Delta \varepsilon \leq 0,01$ і $\xi \leq 0,01$.

Таблиця 2

Значення критеріїв Фур'є й часу настання стаціонарного температурного режиму в БВ при різних законах зміни зовнішніх збурень за умови $Z_a > Z_K$

$\tilde{q}(t)_K = \text{sign}(t), t > 0$	$\tilde{q}(t)_K = B + D \cdot t$	$\tilde{q}(t)_K = M \cdot \sin \omega t$
$Fo_K = \frac{Z_K}{\chi} \ln \left(\frac{N_2 M_1}{N_1 L_1 \cdot \Delta \varepsilon} \right);$ $Fo_a = \frac{Z_a}{\chi} \ln \left(\frac{M_1}{L_1 \cdot \Delta \varepsilon} \right).$	$Fo_K = \frac{Z_K}{\chi} \ln \left(\frac{N_2 M_2}{N_1 L_2 \cdot \Delta \varepsilon} \right);$ $Fo_a = \frac{Z_a}{\chi} \ln \left(\frac{M_2}{L_2 \cdot \Delta \varepsilon} \right).$	$Fo_K = \frac{Z_K}{\chi} \ln \left(\frac{N_2 M_3}{N_1 L_3 \cdot \Delta \varepsilon} \right);$ $Fo_a = \frac{Z_a}{\chi} \ln \left(\frac{M_3}{L_3 \cdot \Delta \varepsilon} \right).$
$t_K^* = \frac{1}{N_1} \ln \frac{N_1 L_1 }{\chi \cdot \Delta \varepsilon};$ $t_a^* = \frac{1}{N_1} \ln \frac{ L_1 }{\chi \cdot \Delta \varepsilon}.$	$t_K^* = \frac{1}{N_1} \ln \frac{N_1 L_2 }{\chi \cdot \Delta \varepsilon};$ $t_a^* = \frac{1}{N_1} \ln \frac{ L_2 }{\chi \cdot \Delta \varepsilon}.$	$t_K^* = \frac{1}{N_1} \ln \frac{N_1 L_3 }{\chi \cdot \Delta \varepsilon};$ $t_a^* = \frac{1}{N_1} \ln \frac{ L_3 }{\chi \cdot \Delta \varepsilon}.$

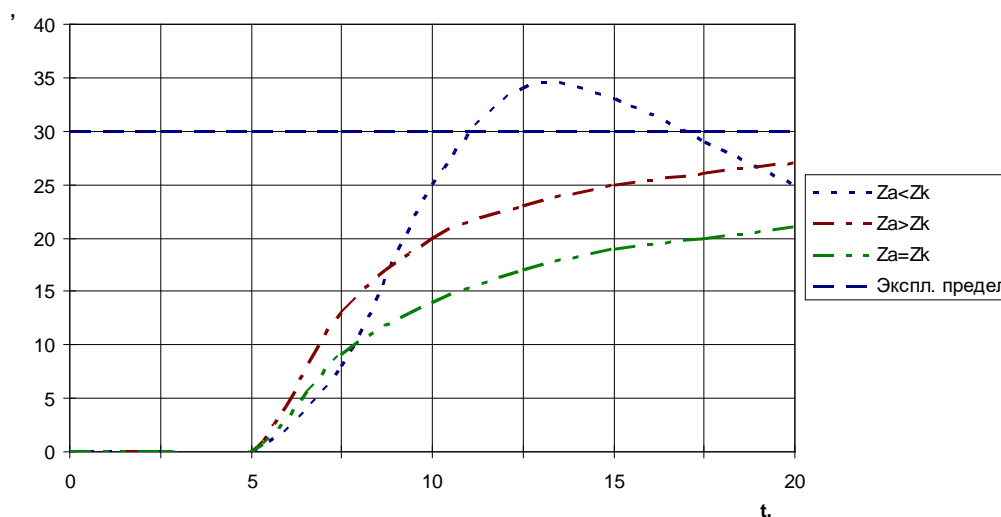


Рис. 3. Зміна різниці між температурою теплоносія й температурою корпусу БВ в разі ступінчастого збільшення температури теплоносія на 25% у хвилину

Результати розрахунків цих параметрів при різних законах зміни зовнішніх збурень зведено в таблиці 2.

Тут:

$$M_1 = N_1 - m \tilde{q}(t)_a; \quad (40)$$

$$L_1 = m \tilde{q}(t)_a - (N_1 + \chi); \quad (41)$$

$$M_2 = N_1 \left(\frac{D}{A_1} t - \frac{B}{A_2} \right) - m(B + Dt); \quad (42)$$

$$L_2 = m(B + Dt) - (N_1 + \chi) \left(\frac{D}{A_1} t - \frac{B}{A_2} \right); \quad (43)$$

$$M_3 = N_1 \frac{M_x^2}{A_2} \cdot \sin(\omega t + \phi_\omega) - m \cdot M \cdot \sin \omega t; \quad (44)$$

$$L_3 = m \cdot [M \cdot \sin \omega t - (N_1 + \chi)] \left[\frac{M_x^2}{A_2} \cdot \sin(\omega t + \phi_\omega) \right]; \quad (45)$$

Розглянемо деякі окремі випадки теплообміну в модельній «комірці» СВЯП.

Наприклад, якщо потужність тепловиділення в БВ не міняється ($q_{K(t)} = \text{const}$), а температура теплоносія в момент часу t_0 міняється стрибком [6].

Теплопровідність корпусного матеріалу оболонки БВ задавалася лінійною залежністю від температури:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta T); \quad (46)$$

Коефіцієнт тепловіддачі a_T від корпусу оболонки БВ до теплоносія визначався з такого співвідношення:

$$Nu = \frac{a \cdot d_m}{\lambda_m}; \quad (47)$$

На рис. 2 і 3 подано розраховані теплові процеси, що відбуваються в корпусі БВ при імпуль-

сній зміні температури теплоносія і ступінчастій зміні теплообміну в БВ за різних значень Z_a і Z_k .

З рис. 2, 3 видно, що в перехідних режимах експлуатації БВ температура його корпусу може перевищити експлуатаційну межу.

Висновки. Отже, на основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Під час аналізу причин, що вплинули на перехід БВ в передаварійний та аварійний статус, потрібно враховувати теплофізичні фактори та його фізико-технічні особливості.

2. Фізико-технічні особливості БВ, специфіка його теплогідродинаміки такі, що властива йому структурна нестійкість може слугувати причиною латентних внутрішньокорпусних дефектів.

3. Для оптимізації сценаріїв можливих аварійних процесів необхідним елементом є режимна діагностика запасів стійкості внутрішніх процесів протягом усього терміну його служби для об'єктивної оцінки передаварійного статусу й формування адекватних керуючих впливів.

Список літератури:

1. Катастрофа на АЭС «Фукусима». URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/fukushima/index.html>.
2. Аналіз важких аварій в басейні витримки відпрацьованого ядерного палива АЕС «Фукусіма-Даїчі» / О.Л. Коцуба, Ю.Ю. Воробйов, О.І. Жабін, Д.В. Гуменюк. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2016. № 4 (72). С. 13–20.
3. Азаров С.І., Задунай О.С., Евланов В.М. Аналіз аварії на АЕС Fuku-shima-Daiichi. *The scientific heritage*. 2018. № 27. Р. 1: Budapest, Hungary. С. 41–49.
4. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Оцінка теплофізичної безпеки басейну витримки СВЯП-1. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2018. Том 29 (68). Ч. 2. № 5. С. 100–103.
5. Азаров С.И., Скицько Г.А., Сорокин Г.А. Модуль расчета температуры в корпусе ядерного реактора при различных изменениях тепловыделения в активной зоне. *Промышленная теплотехника*. 2008. Т. 30. № 1. С. 67–76.
6. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Моделювання процесу тепломасообміну в сховищі відпрацьованого ядерного палива. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2018. Том 29 (68). № 3. С. 56–60.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАСОБМЕНА В ХРАНИЛИЩЕ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

В статье представлены математическая модель и результаты расчетов по определению локальных значений температур в хранилище отработанного ядерного топлива в различные моменты времени.

Ключевые слова: атомная электростанция, отработанное ядерное топливо, хранилище «мокрого» типа, численное моделирование.

SIMULATION OF THE HEAT MASSTRANSFER AT A STORAGE FOR SPENT NUCLEAR FUEL

In the paper are presented the mathematical model and the results of calculations of local temperatures in “wet” type storage for spent nuclear fuel. There are considered normal and accident non-stationary situations, connected with the stopping of water circulation through pool.

Key words: nuclear power plant, spent nuclear fuel, “wet” type storage, numerical simulation.

УДК 621.314

Беляєв В.К.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Панєнко О.М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИБІР ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ОБМОТКИ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

У статті розглянуто метод функціональної діагностики стану обмоток силового трансформатора за зміною їх опору. Проведено порівняння трьох лінійних діагностичних моделей, що використовуються для визначення характеристик обмоток трансформатора. Описано метод оцінювання характеристик якості (похибок і чутливості) розглянутих моделей. Визначено особливості впливу похибок виміру режимних параметрів трансформатора (напруг, струмів, кутів фаз) на похибки моделей за типових режимів навантаження трансформатора. Сформовано рекомендації стосовно використання розглянутих діагностичних моделей.

Ключові слова: діагностика, модель, обмотка, опір короткого замикання, похибка, трансформатор.

Постановка проблеми. З розвитком методів виявлення пошкоджень і дефектів енергетичного обладнання поширення набувають методи безперервного контролю під робочою напругою. До них можна зарахувати контроль величини $\text{tg}(\delta)$ ізоляції трансформаторів струму та ввідів силових трансформаторів, контроль рівня часткових розрядів в ізоляції високовольтного обладнання, хроматографічний аналіз газів, розчинених у трансформаторному маслі, вимірювання рівня вібрації з метою оцінювання стану запресування обмоток, стану магнітопроводу й інші методи [1–6].

Одним із методів функціональної діагностики силових трансформаторів, що розвиваються, є метод контролю механічного стану обмоток трансформатора шляхом спостереження, під навантаженням, за зміною їх опору. Основні переваги такого підходу – в оперативності й відмові від дорогих операцій виведення з роботи та розшиновки трансформатора, що супроводжують традиційну процедуру періодичного тестового контролю (визначення опору в досліді короткого замикання (далі – к.з.) трансформатора [5]).

Для реалізації цього методу необхідно створення системи автоматизованої реєстрації параметрів робочого режиму трансформатора з подальшим розрахунком контрольованих параметрів обмотки (наприклад, опору) та їх оцінюванням. До параметрів режимів, що реєструються, належать фазні струми й напруги на входах нормально працюючого трансформатора, зсув фаз між ними.

Методика визначення опору залежить від характеру вимірюваних величин: за масивом зафіксованих миттєвих значень, за вимірними діючими значеннями (модулями) величин або за певними значеннями й кутами фаз (комплексами) [2; 4; 6].

У всіх випадках для зв'язку величин, що реєструються (напруг, струмів, кутів фаз) із параметрами (характеристиками) обмоток, необхідно використовувати діагностичну математичну модель трансформатора, якість якої впливає на результати контролю. Характеристики якості використовуваної діагностичної моделі (адекватність, точність, чутливість) визначають достовірність одержуваної оцінки стану обмотки [2; 7].

У зв'язку зі складністю підтвердження адекватності отриманого результату під час контролю під навантаженням (визначені під час контролю під навантаженням величини опорів відрізняються від одержуваних у процесі тестового контролю, з огляду на істотну різницю режимів трансформатора) і досить малими значеннями допустимих відхилень контрольованих величин (відхилення опору короткого замикання до 3% [5]), вибір моделі, що використовується в системі діагностики, обов'язково повинен урахувувати зазначені характеристики якості моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для використання в методиках контролю стану обмоток трифазних трансформаторів за їх опором зазвичай використовують моделі, основані на моделі однофазного трансформатора з урахуванням

особливостей схем з'єднання обмоток і конструкції. Можуть використовуватися як повні моделі однієї фази обмотки [2], так і спрощені моделі [4; 6].

Класична модель ідеалізованого однофазного двообмоткового трансформатора як діагностичної пропонується в [2]. Модель становить трансформатор у деякому режимі роботи як чотириполносник і пов'язує напруги і струми первинної (\dot{U}_1, \dot{I}_1) і вторинної (\dot{U}_2, \dot{I}_2) обмоток невиродженою системою рівнянь у Z формі:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (R_1 + k \cdot R_m + j\omega L_{11}) \cdot \dot{I}_1 + (R_m + j\omega M) \cdot \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= (R_m + j\omega M) \cdot \dot{I}_1 + (R_2 + R_m / k + j\omega L_{22}) \cdot \dot{I}_2 \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= z_{11} \cdot \dot{I}_1 + z_{12} \cdot \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= z_{21} \cdot \dot{I}_1 + z_{22} \cdot \dot{I}_2 \end{aligned} \quad (1)$$

де R_1, R_2 – активні опори первинної і вторинної обмоток, L_{11}, L_{22} – повні власні індуктивності обмоток, M – взаємна індуктивність обмоток, R_m – активний складник опору взаємної індукції, k – відношення числа витків первинної і вторинної обмоток.

Усі індуктивні елементи моделі та R_m визначаються основним потоком у магнітопроводі трансформатора й тому нелінійні (істотно залежать від інтенсивності процесів).

Для визначення чотирьох невідомих коефіцієнтів при струмах $z_{11}, z_{12}, z_{21}, z_{22}$ необхідно провести вимірювання напруг і струмів у двох різних режимах навантаження (два досліді), припускаючи, що коефіцієнти залишаються незмінними в цих режимах. З огляду на вплив нелінійності характеристики намагнічування на шукані величини, режими роботи трансформатора у двох дослідідах повинні відрізнятися несуттєво. Отримані при цьому рівняння розглядаються як системи лінійних алгебраїчних рівнянь (далі – СЛАР). Об'єднуючи системи рівнянь для двох дослідів, запишемо СЛАР:

$$\mathbf{I} \cdot \mathbf{Z} = \mathbf{U}, \quad (2)$$

де $\mathbf{Z} = [z_{11}, z_{12}, z_{21}, z_{22}]^T$; $\mathbf{U} = [\dot{U}_{11}, \dot{U}_{12}, \dot{U}_{21}, \dot{U}_{22}]^T$, у напруг перший індекс показує номер обмотки, другий – номер досліді; \mathbf{I} – заповнена квадратна матриця (4x4), що містить струми обмоток в 1 і 2 дослідідах (індексація струмів аналогічна напругам). Розв'язуючи систему (2), знаходимо коефіцієнти $z_{11}, z_{12}, z_{21}, z_{22}$, за якими можна визначити основні параметри трансформатора, що характеризують його технічний стан, зокрема шуканий опір к.з.

Основні проблеми під час використання повної діагностичної моделі для визначення характеристик обмоток пов'язані з поганою обумовленістю системи рівнянь моделі при реальних значеннях вхідних у рівняння величин (рішення нестійкі) [2].

Для підвищення стійкості рішень у [7] запропоновано використовувати один із найбільш ефективних (у плані забезпечення точності та стійкості) метод регуляризації Тихонова в модифікації із завданням наближеного рішення (Z0). У цьому випадку задача розв'язку рівнянь моделі (2) зводиться до розв'язку системи такого вигляду:

$$[\mathbf{I}^* \cdot \mathbf{I} + \alpha \cdot \mathbf{E}] \cdot \mathbf{Z} = \mathbf{I}^* \cdot \mathbf{U} + \alpha \cdot \mathbf{Z}_0, \quad (3)$$

де α – коефіцієнт регуляризації, \mathbf{I}^* – ермітова сполучена матриця струмів \mathbf{I} .

У роботі використано модель із коефіцієнтом регуляризації $\alpha=0,05$.

Унаслідок складнощів, що виникають під час застосуванні повної моделі трансформатора, часто застосовуються спрощені моделі. Найбільшого розповсюдження набула модель, побудована на основі Г-подібної схеми заміщення трансформатора [2; 4; 6]. У моделі вводиться припущення про рівність струму, що протікає по первинній обмотці, приведеному струму вторинної (в термінах повних моделей $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 / k$). Це наближення дає змогу оцінювати опір z_c , використовуючи результати вимірів струму тільки з боку однієї з обмоток і проводячи тільки один дослід:

$$z_c = (\dot{U}_1 - k \cdot \dot{U}_2) / \dot{I}_1. \quad (4)$$

Загальні питання точності, адекватності й чутливості діагностичних моделей трансформатора розглянуто в роботі [7], де запропоновано методи розрахунку якісних характеристик моделей.

Постановка завдання. Мета статті – розроблення рекомендацій щодо застосування діагностичних моделей для контролю деформації обмоток трансформатора під навантаженням з урахуванням їх якісних характеристик і визначення необхідної точності реєстрації параметрів режиму під час використання зазначених моделей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для контролю стану обмотки придатні декілька величин, які можуть бути визначені за допомогою діагностичної моделі.

Повні індуктивності в (1) можна виразити через індуктивності розсіювання обмоток L_1 і L_2 :

$$\begin{aligned} L_{11} &= L_1 + M \cdot k, \quad L_{22} = L_2 + M / k; \quad z_1 = (R_1 + j\omega L_1), \\ z_2 &= (R_2 + j\omega L_2). \end{aligned}$$

Індуктивності розсіювання вважаються незалежними від магнітних властивостей магнітопроводу, визначаються в основному конструкцією обмоток і не залежать від режиму роботи трансформатора.

У разі деформації обмоток змінюються їх потокозчеплення розсіювання, тобто змінюються індуктивності розсіювання. Розділити потоки роз-

сіювання пари обмоток реального трансформатора неможливо, тому використання під час контролю індуктивності розсіювання окремих обмоток L_1 і L_2 недоцільне, незважаючи на їх окремих облік у моделях. Водночас відомо, що комбінація $L_1+k^2 \cdot L_2$ безпосередньо пов'язана з геометричними розмірами, взаємним становищем котушок та енергією сумарного поля розсіювання. З огляду на сказане, контрольованим параметром доцільно вибирати або зазначену комбінацію, або безпосередньо пов'язану з нею.

Величину $X_c=\omega(L_1+k^2 \cdot L_2)$ часто називають індуктивним опором к.з., хоча вираз реактивного складника (X_k) опору z_k , що визначається за формулою досліду к.з., відрізняється від X_c :

$$\begin{aligned} z_k &= z_1 + k^2 z_2 \cdot fm = (R_1 + k^2 R_2 fm) + \\ &+ j\omega \cdot (L_1 + k^2 L_2 \cdot fm) = R_k + jX_k \\ fm &= 1 / (1 + k^2 z_2 / z_m), \quad z_m = k(R_m + j\omega M). \end{aligned} \quad (5)$$

Множник f_m визначає залежність від магнітних властивостей магнітопроводу, тобто залежність від режиму роботи трансформатора, при якому здійснювався контроль. Незважаючи на те що значення f_m мало відрізняється від одиниці, під час оцінювання похибки потрібно враховувати наявність цієї залежності.

У роботі розглядаються випадки використання під час контролю як величини z_k (яка визначається згідно з (5), як для досліду к.з.), так і повного приведеного опору розсіювання z_c :

$$\begin{aligned} z_c &= z_1 + k^2 z_2 = (R_1 + k^2 R_2) + \\ &+ j\omega(L_1 + k^2 \cdot L_2) = R_c + jX_c \end{aligned} \quad (6)$$

Через малість активних складників z_k і z_c і близькість до одиниці f_m гранично допустимим значенням зміни можливих діагностичних параметрів (z_k, z_c, X_k, X_c) варто вважати ті самі 3%, що й для тестової діагностики.

Показники точності й чутливості моделі.

Під загальною похибкою моделі мається на увазі помилка апроксимації моделлю модуля опору z (z_c або z_k), яка визначалася як різниця модулів розрахункового й опорного («істинного») значення z_b (відповідно, z_{cb} або z_{kb}). Загальна похибка залежить від структури та параметрів моделі, що використовується, від режиму роботи трансформатора, при якому визначається опір, від похибки визначення вхідних змінних (напруг, струмів, кутів фаз).

Загальну похибку моделі ($D\Sigma z$) подаємо як суму двох складників: складника Dz , зумовленого похибками визначення (вимірювання) вхідних змінних, і складника Doz – визначається за відсутності похибки вхідних змінних:

$$\begin{aligned} D\Sigma z &= Dz + Doz, \quad D\Sigma z = \frac{|z| - |z_b|}{|z_b|}, \quad Dz = \frac{|z| - |z_o|}{|z_b|}, \\ Doz &= \frac{|z_o| - |z_b|}{|z_b|}, \end{aligned}$$

де $z=z_k, z_c$ – розрахункові опори, визначені з використанням діагностичних моделей; $z_b = z_{kb}, z_{cb}$ – опорні значення z_k, z_c , які в разі математичного моделювання визначаються згідно з (5) або (6) при прийнятих параметрах трансформатора $R_1, R_2, L_1, L_2, z_m, z_o=z_{ko}, z_{co}$ – опори, визначені з використанням діагностичних моделей за відсутності похибки вхідних величин.

Похибка Doz характеризує адекватність моделі, тобто повноту подання цієї моделлю властивостей об'єкта для мети дослідження. Вона показує мінімальну похибку визначення опору в розглянутому режимі з використанням цієї моделі.

Інший показник якості моделі, використаний у роботі, – чутливість вихідної величини до зміни вхідних величин моделі (напруги, струми, кути фаз) [7]. Чутливість до зміни кожної i -ї вхідної величини окремо характеризують безрозмірними коефіцієнтами bz_i . Коефіцієнти чутливості пов'язують похибку визначення (вимірювання) вхідної величини (δ_i) з похибкою розрахунку Dz , зумовленою похибками вимірювань:

$$\begin{aligned} Dz &= \frac{|z| - |z_o|}{|z_b|} = \sum_i bz_i \cdot \delta_i, \\ bz_i &= \frac{|z| - |z_o|}{p_i - p_{io}} \cdot \frac{p_{ib}}{|z_b|} = \frac{\Delta|z|}{\Delta p_i} \cdot \frac{p_{ib}}{|z_b|}, \quad \delta_i = \frac{p_i - p_{io}}{p_{ib}}, \end{aligned}$$

де p_i – значення i -ї вхідної величини, при якій отримуємо оцінку $|z|$; p_{io} – значення i -ї величини, при якій отримано оцінку $|z_o|$; p_{ib} – опорне значення i -ї вхідної величини для розрахунку коефіцієнтів і похибки; δ_i – похибка вимірювання i -ї величини у відносних одиницях.

Під час оцінювання чутливості до похибки модулів приймаємо $p_{ib}=p_{io}$ і коефіцієнти безрозмірні, а в разі похибки кутів фаз, що задається в ел. градусах, приймаємо $p_{ib}=1$, при цьому коефіцієнти отримуємо з розмірністю 1/градус. У разі малих похибок вхідних величин моделі коефіцієнти визначаються через похідні за відповідною величиною:

$$bz_i = \frac{\partial |z|}{\partial p_i} \cdot \frac{p_{ib}}{|z_b|}.$$

Методика розрахунку похибки й чутливості.

Під час розрахунку коефіцієнтів чутливості враховувався розмах можливих варіацій (зумовлених похибкою) вхідних величин моделі.

У разі малих похибок оцінювання коефіцієнтів чутливості опору $z_k=f(Z)$ для повних моделей проходила згідно з таким виразом (аналогічно для інших величин, наприклад, z_c):

$$\frac{\partial |z_k|}{\partial p_i} = |z_k| \cdot \operatorname{Re} \left(\frac{1}{z_k} \cdot \frac{\partial z_k}{\partial p_i} \right),$$

$$\frac{\partial z_k}{\partial p_i} = -\frac{\partial f(\mathbf{Z})}{\partial \mathbf{Z}} \cdot \mathbf{I}^{-1} \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{I}}{\partial p_i} \cdot \mathbf{Z} - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial p_i} \right). \quad (7)$$

Для розрахунку коефіцієнтів моделі (3) з регуляризациєю СЛАР використано вирази, отримані в [7]:

$$\frac{\partial z_k}{\partial p_i} = -\frac{\partial f(\mathbf{Z})}{\partial \mathbf{Z}} \cdot \mathbf{I}^{-1} \cdot \left(\left(\left(\frac{\partial \mathbf{I}}{\partial p_i} \right)^* \cdot \mathbf{I} + \mathbf{I}^* \cdot \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial p_i} \right) \cdot \mathbf{Z} - \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial p_i} \right). \quad (8)$$

Для спрощеної моделі (4) коефіцієнти чутливості записуємо в явному вигляді (для модулів безрозмірні, для кутів фаз – 1/градус):

$$bz_{|U_1|} = \operatorname{Re} \left(\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_1 - k \cdot \dot{U}_2} \right), \quad bz_{|U_2|} = -\operatorname{Re} \left(\frac{k \cdot \dot{U}_2}{\dot{U}_1 - k \cdot \dot{U}_2} \right), \quad (9)$$

$$bz_{\phi u1} = \operatorname{Re} \left(j \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_1 - k \cdot \dot{U}_2} \right), \quad bz_{\phi u2} = -\operatorname{Re} \left(j \frac{k \cdot \dot{U}_2}{\dot{U}_1 - k \cdot \dot{U}_2} \right),$$

$$bz_{\phi i1} = 0 \quad j = \sqrt{-1}$$

У разі великих похибок вхідних величин коефіцієнти визначалися прямим розрахунком через відношення приростів вихідної та вхідної величин.

Моделювання режимних параметрів. Під час розрахунку чутливості й похибок необхідно знати значення характерних для експлуатації режимних параметрів (напруги, струми, кути фаз). Ці значення отримували з використанням лінійної математичної моделі, яка дає змогу імітувати результати вимірювання перших гармонік напруги, струму, зсуву фаз на виходах обмоток трансформатора конкретного типу, що працює в заданому режимі, типовому для його нормальної експлуатації [8]. Для визначення комплексів напруги і струму обмоток спільно вирішуються рівняння (1) в А-формі чотирьохполюсника й рівняння зовнішньої характеристики трансформатора (зв'язок зміни напруги на обмотці з боку навантаження зі струмом навантаження в режимі, близькому до номінального). В одержувані значення модулів і кутів фаз можуть уноситися спотворення, що імітують похибки вимірювання. Отримані так значення розглядалися як результати дослідження вимірювання режимних параметрів трансформатора з характеристиками обмоток фази $R_1, R_2, L_1, L_2, R_m, M$, що працює в режимі з навантаженням заданою потужністю S і заданим $\cos(\varphi)$.

Результати розрахунків і порівняння моделей. Оцінювання проводилися для діагностичних моделей різних трансформаторів, що істотно відрізняються за потужністю й напругою, результати наведені для двох трансформаторів (ТДЦ 400МВА 330кВ і ТРДЦ 63МВА 110кВ). Модуль потужності навантаження змінювався в межах 1–0,65 від номінальної і $\cos(\varphi)$ у межах 0,95–0,6. Зазначеному діа-

пазону змін потужності й косинуса відповідали такі зміни режимних параметрів (отримані за названою вище математичною моделлю): значення модуля U_1 відрізнялися від номінального на 0,1–0,5%; U_2 – на 4–7%; струми I_1 і I_2 змінювалися в межах від 67% до 111% номінального значення. Найбільші зміни зсуву фаз спостерігалися між напругами U_1 і U_2 – в межах 0,045–0,1 ел. градуса. Результати оцінювання похибки й чутливості наведені нижче.

Похибка, що характеризує адекватність моделі. За відсутності похибки вимірювань ($\delta=0$) похибка Doz повної моделі (2) в дослідженні визначається тільки похибкою обчислень (так як опори фактично визначаються рівняннями «істинної» діагностичної моделі, тобто моделі, що відповідає математичній моделі об'єкта), становлячи не більше ніж 10-9%. У разі моделі (3) з регуляризациєю СЛАР цей складник похибки виявляється також несуттєво малим (<10-6%).

Для спрощеної моделі (4) похибка Doz значно більша й у разі зміни навантаження у вищевказаних межах змінювалася від 0,14% до 0,375%. Більше значення похибки (0,375%) відповідає меншим значенням потужності й косинуса навантаження (0,65 номінальної потужності й 0,6 відповідно).

Відмінності відносних значень похибки адекватності (Doz) для розглянутих трансформаторів в однакових режимах роботи незначні.

Похибка моделі, викликана похибкою вимірювань. Під час аналізу похибки Dz ділянка можливих похибок вхідних величин діагностичних моделей (режимних параметрів) визначалася, виходячи з похибки доступних в експлуатації засобів вимірювальної техніки (вимірювальні трансформатори класу точності 0,5 і 1, кутова похибка 0,3–0,5 ел. градуса). Звідси ділянка похибок вимірювань, що цікавить, для модулів сигналів – до 1%, для фазних кутів – до 0,5 ел. градуса. Зазначені максимальні значення похибок вимірювань параметрів під час аналізу чутливості необхідно розглядати як великі похибки, контролюючи можливість застосування коефіцієнтів, визначених за похідними.

Значення коефіцієнтів bz_i (малі похибки) досліджених моделей, розраховані за (7) – (9) для характерного режиму роботи трансформаторів, наведені в таблиці 1 (характерний режим: для двох дослідів різниця потужності навантаження в досліді становила $\approx 1\% : 0,9$ і $0,91$ номінальної, при однакових косинусах – 0,8).

При коефіцієнтах bz_i з різними знаками в досліді однаковий для двох дослідів складник похи-

Розраховані коефіцієнти чутливості для випадку малих похибок

Трансф.	Модель	Величина	№ дослід.	Коеф. для модуля (без. розмірн.)				Коеф. для кута фаз (1/градус)		
				U_1	U_2	I_1	I_2	j	j	j
ТРДЦ 63 МВА	(2)	z_c	1	-579	498	40,8	40,5	-9,81	9,87	-0,02...0,035
			2	580	-497	-41,3	-41,0	9,81	-9,87	0,02...0,035
		z_k	1	-537	458	78,8	0,0	-9,88	9,87	<5,6Ч
			2	538	-458	-79,8	0,0	9,88	-9,87	-5,6Ч
	(3)	z_c	1	0,52	-0,42	-0,05	-0,05	0,014	-0,013	-1,5Ч
			2	6,26	-5,35	-0,46	-0,45	0,11	-0,11	<2,0Ч
		z_k	1	0,73	-0,62	-0,11	0,0	0,013	-0,013	<10 ⁻⁵
			2	6,05	-5,15	-0,90	0,0	0,11	-0,11	<10 ⁻⁵
	(4)	z_c	1	6,84	-5,84	-1	0	0,125	-0,125	0
	ТДЦ 400 МВА	(2)	z_c	1	-545	464	40,6	40,4	-9,44	9,50
2				545	-463	-41,1	-40,9	9,44	-9,50	0,03...0,034
z_k			1	-502	424	78,4	0,0	-9,50	9,50	<3,4Ч
			2	503	-424	-79,4	0,0	9,50	-9,50	-3,4Ч
(3)		z_c	1	-2,22	1,91	0,16	0,15	-0,033	0,034	-3,3Ч
			2	8,55	-7,24	-0,65	-0,65	0,15	-0,15	<3,4Ч
		z_k	1	-1,80	1,52	0,28	-10 ⁻³	-0,034	0,034	(-1...2.3)10 ⁻⁵
			2	8,14	-6,86	-1,28	-10 ⁻³	0,15	-0,15	-4,5Ч
(4)		z_c	1	6,43	-5,43	-1	0	0,121	-0,121	0

бок δ_i призводить до виникнення меншої похибки визначення $|z|$, ніж така ж за значенням δ , але що діє в одному досліді. Для моделі (2) Dz виникає в основному в результаті відмінності похибок у досліді.

Для розглянутих моделей притаманні такі закономірності залежностей Dz і чутливості від величини похибки δ (типова ситуація $\delta_{i,1} \neq \delta_{i,2}$): – для всіх моделей на Dz найбільше впливають похибки модуля й кута фаз напруги; – у випадках $\delta_{i,1} \neq \delta_{i,2}$ і для спрощеної моделі залежності завжди лінійні; – сильна нелінійність характерна для моделей із нерегуляризованою СЛАР; – модель із регуляризацією (3) характеризується для напруг лінійною залежністю Dz , а для струмів – або нелінійною залежністю з обмеженим значенням Dz (при розрахунку $|z_c|$), або нелінійною залежністю з необмеженим ростом Dz (при розрахунку $|z_k|$).

У разі зміни параметрів режиму трансформатора в розглянутому діапазоні розмах зміни коефіцієнтів bz_i досліджуваних моделей приблизно

однаковий: для модулів напруг – 90...110% середнього значення, для модулів струму – 1...15%, для значних за величиною ($>10^{-4}$) коефіцієнтів кутів фаз – 100...150%. Менші значення коефіцієнтів для модулів напруг спостерігаються при більшій потужності й більшому косинусі, а для кутів фаз – при більшій потужності й меншому косинусі.

Значний інтерес становить залежність Dz від відхилення параметрів режимів трансформатора у двох досліді. У разі збільшення відмінності в режимах коефіцієнти bz_i моделі (2) за модулем зменшуються, зближуючись (не стаючи меншими) зі значеннями для моделі (3). Зростання різниці модуля потужності навантаження від 1% до 10% (приблизно така сама різниця модулів струмів) призводить до зменшення bz_i приблизно в 10 разів (1% (див. таблицю 1)), залежність Dz від δ стає близькою до лінійної. Але й коефіцієнти чутливості, і похибка Dz моделі (2) залишаються в кілька разів більшими за відповідні значення інших моделей. Аналогічна поведінка

характеристик моделі (2) в разі збільшення різниці в $\cos(\varphi)$ дослідів.

Для моделі (3) коефіцієнти чутливості b_z збільшуються в кілька разів зі зростанням відмінності потужності навантаження або $\cos(\varphi)$ від 1% (див. таблицю 1) до 10%, а в разі подальшого зростання до 25% мало змінюються.

Допустимі похибки вимірювань режимних параметрів. Оскільки допустимим значенням зміни можливих діагностичних параметрів (z_k, z_c) варто вважати 3% (відповідно до значення тестової діагностики), прийнятним результатом методики контролю можна вважати ситуацію, коли похибки вимірювань призводять до зміни контрольованої величини (діагностичного параметру) не більше ніж на 1%.

За отриманими даними виконано оцінювання (таблиця 2) допустимої похибки вимірювання режимних параметрів для гарантованого отримання похибки розрахунку модуля опору 1% (при типових умовах проведення вимірювань, таких самих, як для таблиці 1).

Під час оцінювання необхідної похибки вимірювань (таблиця 2) не розглядалася можливість одночасного впливу кількох помилок, тому вимоги до точності можуть виявитися дещо завищеними в разі похибок різного знака. Водночас ці вимоги більш оптимістичні, ніж під час оцінювання найгіршого випадку.

З огляду на клас точності загальнодоступних в експлуатації засобів вимірювальної техніки (клас точності – 0,5 або 1), для впевненого виявлення неприпустимих деформацій обмоток під час контролю під навантаженням (похибка визначення $|z_c|$ або $|z_k|$ повинна бути не гірша за 1%) необхідно або забезпечення спеціальних умов проведення контролю (наприклад, при сталості похибки вимірювань режимних параметрів або під час контролю в спеціально визначених, оптимальних, робочих режимах трансформатора), або використання спеціальних засобів вимірювання.

Оцінювання допустимої похибки виміру параметрів режиму

Модель	Величина, що контролюємо	Похибка для модуля (%)		Похибка для кута фаз (градус)	
		U	I	φ_u	φ_i
(2)	z_c, z_k	<0,002	<0,025	<0,0005	<0,3
(3)	z_c	0,161	2	0,08	-
	z_k	0,165	<0,12	0,08	0,08
(4)	z_c	0,151	1	0,08	

Висновки. Модель на основі СЛАР без регуляризації (2) варто використовувати тільки в разі рівності похибок вимірювання режимних параметрів у необхідних двох дослідях. З огляду на те що забезпечити повну ідентичність похибки вимірювань у двох дослідях на практиці проблематично, а в інших випадках модель має дуже високі значення коефіцієнтів чутливості й нелінійно зростаючу зі зростанням похибки вимірювань похибку D_z , використовувати цю модель потрібно дуже обережно.

Модель із регуляризацією СЛАР (3) може використовуватися за умови контролю величини $|z_c|$, але не $|z_k|$ (в останньому випадку за можливих похибок виміру режимних параметрів спостерігаються високі значення коефіцієнта чутливості для струму й нелінійне зростання похибки моделі). Використання цієї моделі буде найбільш доцільно з погляду досягнення найбільшої адекватності й точності результату. Додаткова можливість зниження похибки для цієї моделі – використання залежності коефіцієнтів чутливості для напруги від різниці навантаження в дослідях.

Спрощена модель (4) вимагає одного дослідю при вимірах, але має незначний адитивний складник похибки, що залежить від режиму роботи трансформатора (0,14...0,375%). Припускаючи звичайну для експлуатації точність засобів вимірювань (клас точності – 0,5 або 1), можемо констатувати, що використання цієї простої моделі може бути доцільнішим, ніж використання більш складних і адекватних моделей (2) і (3), що володіють великим потенціалом тільки за високої точності вимірювань режимних параметрів.

Список літератури:

1. Алексеев Б.А. Крупные силовые трансформаторы: контроль состояния в работе и при ревизии. Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2010. 88 с.
2. Бутырин П.А., Алпатов М.Е. Непрерывная диагностика трансформаторов. *Электричество*. 1998. № 7. С. 45–55.
3. Беляев В.К., Паненко Е.Н. Определение диэлектрических параметров изоляции трансформаторов тока при множественных измерениях в системах контроля под рабочим напряжением. *Электротехника та електромеханіка*. 2016. № 5. С. 40–46.

4. Хренников А., Нестеренко А. Диагностика силовых трансформаторов. Оценка состояния обмоток по значению сопротивления КЗ. *Новости электротехники*. 2014. № 3 (87).
5. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. Москва: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.
6. Хоанг Ванг Нью, Малиновский В.Н. Методы и средства контроля и диагностики состояния обмоток мощных силовых трансформаторов. *Электротехника*. 2009. № 10. С. 36–41.
7. Беляев В.К., Ободовский В.Д., Паненко Е.Н. Анализ чувствительности диагностических моделей для контроля состояния обмоток трансформатора под нагрузкой. *Технічна електродинаміка*. 2013. № 4. С. 81–87.
8. Паненко Е.Н. Моделирование измерений для исследования моделей параметрической идентификации силового трансформатора. *Моделирование. Идентификация. Синтез систем управления: сборник тезисов 15 Междунар. научн. конф.* Донецк: Изд. ИПММ НАН Украины. 2012. С. 97–99.

ВЫБОР ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБМОТКИ ПОД НАГРУЗКОЙ

В статье рассмотрен метод функциональной диагностики состояния обмоток силового трансформатора по изменению их сопротивления. Проведено сравнение трех линейных диагностических моделей, используемых для определения характеристик обмоток трансформатора. Описана методика оценки характеристик качества (погрешностей и чувствительности) рассмотренных моделей. Определены особенности влияния погрешностей измерения режимных параметров трансформатора (напряжений, токов, углов фаз) на погрешности моделей при типичных режимах нагрузки трансформатора. Сформированы рекомендации по использованию рассмотренных диагностических моделей.

Ключевые слова: диагностика, модель, обмотка, сопротивление короткого замыкания, погрешность, трансформатор.

SELECTION OF TRANSFORMER DIAGNOSTIC MODEL FOR MONITORING SYSTEM OF THE MECHANICAL CONDITION OF WINDING UNDER LOAD

The method of functional diagnostics of the state of the power transformer windings based on the change in their short circuit resistance were considered. Three linear diagnostic models used to determine the characteristics of the transformer windings were compared. The methods for evaluation of the quality characteristics (inaccuracy and sensitivity factors) of the considered models are described. The features of the influence of measurement errors of regime parameters on model errors, with typical transformer operating modes close to the nominal mode, are determined. Recommendations on the use of the considered diagnostic models were formed.

Key words: diagnostics, error, model, short circuit resistance, transformer, winding.

УДК 621

Дурас М.В.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Мельничук В.В.

Житомирський агротехнічний коледж

Лавріщев О.О.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

У статті розглянуто основні передумови впровадження відновлювальних джерел електричної енергії, наведено опис першого етапу алгоритму вибору оптимального джерела відновлювальної електричної енергії та запропоновано перелік факторів, що впливають на прийняття рішення про доцільність вибору джерела відновлювальної електричної енергії.

Ключові слова: відновлювальне джерело електричної енергії, алгоритм вибору, матриця рішень, доцільність використання.

Постановка проблеми. Виробництво електричної енергії в Україні розподілене так: атомні електростанції виробляють 52,1% від загальної кількості, теплові електростанції – 39,8%, а всі інші типи джерел електричної енергії – 8,1% [1] (рис. 1).

Варто звернути увагу на те, що атомні електростанції, які є основними виробниками, майже всі вже пройшли перше продовження терміну експлуатації. На 2034 рік на 3-х станція закінчиться строк 2-го терміну продовження експлуатації. Паливо для реакторів вироблялось у Росії, але

через політичну ситуацію, що склалась, паливо закуповується в США, воно не забезпечує якісної роботи реакторів. Нині виникають порушення в режимах роботи й аварійні ситуації в роботі деяких станцій. Теплові електростанції під час будівництва були розраховані на вугілля, яке видобувалось на теренах держави, – антрацит, що на поточний момент є недоступним. Саме тому для забезпечення їхньої безперервної роботи вугілля закуповується в ПАР, але воно не відповідає вимогам наших ТЕС. Крім двох вищезгаданих надзвичайно важливих проблем, є ще низка менш

ресурсовитратних, але не менш важливих від того, а сам: ЛЕП, опори та матеріальне забезпечення розподільчих мереж має свої терміни експлуатації, що, зважаючи на час їх забудови, з кожним роком усе більше потребує комплексної заміни. Останніми роками всі вищезгадані фактори призводять до значного зниження надійності електропостачання споживачів усіх категорій. Тому розроблення універсального

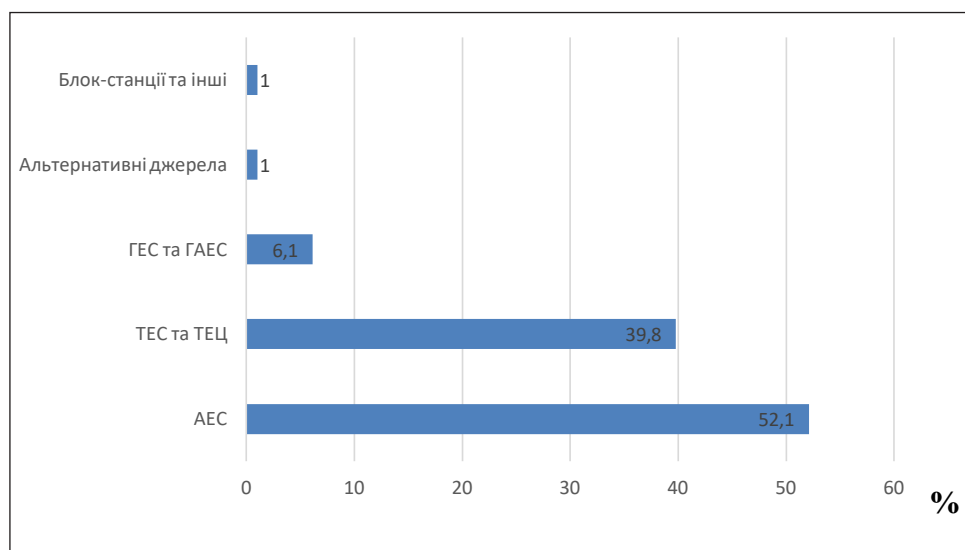


Рис. 1. Діаграма розподілу виробництва електричної енергії в Україні в 2016–2017 роках

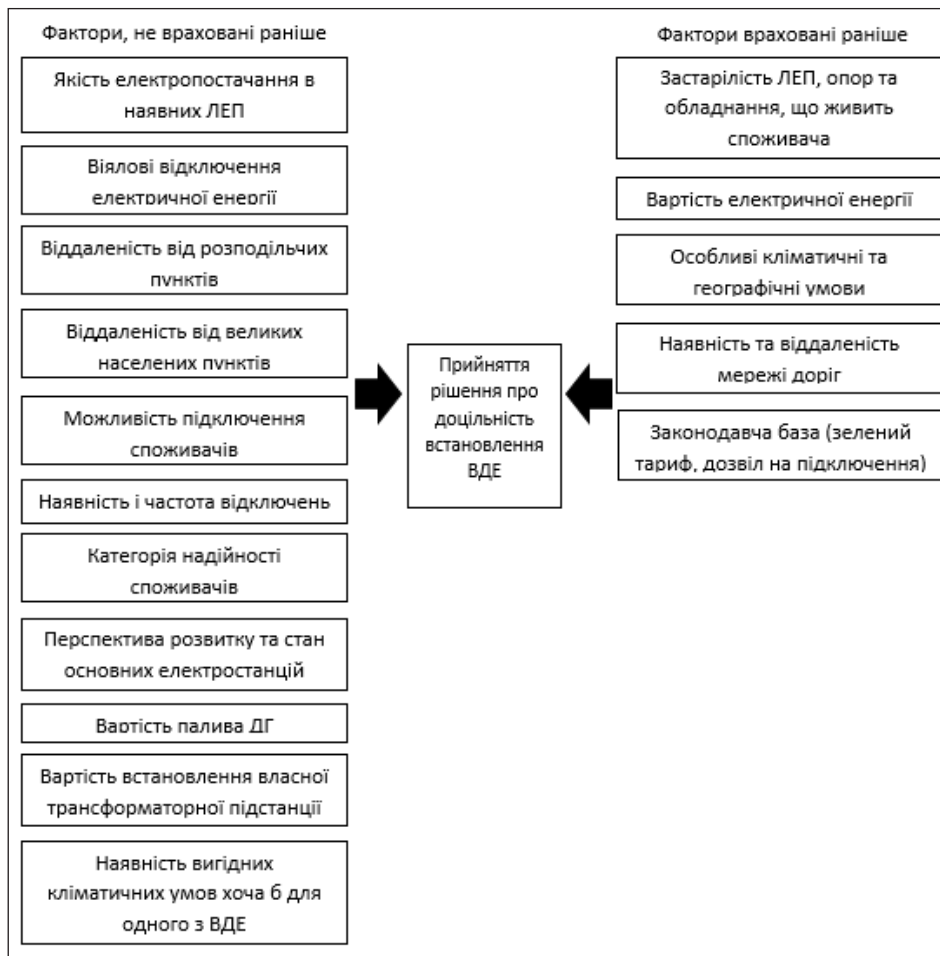


Рис. 2. Перелік факторів впливу на прийняття рішення про доцільність упровадження ВДЕ

алгоритму вибору й упровадження відновлювальних джерел електричної енергії є важливим та актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками Україна активно рухається шляхом децентралізації та обрала курс на розвиток альтернативних джерел електричної енергії. Саме це відображено в Паризькій угоді [2] та Національній енергетичній стратегії до 2035 року [3]. Питанням активного впровадження альтернативних джерел електричної енергії в економіку займається Ю.І. Башинська [4], яка детально вивчила потенціал відновлювальної енергетики в Західному регіоні України. Надійність електричних мереж вивчають учені: Л.І. Долецька, В.П. Кавченков, Р.В. Солопов [5], Н.І. Черкасова, Л.П. Коновалова. Питання економічної ефективності використання відновлювальних джерел електричної енергії в сільському господарстві розглянуто в роботах Т.А. Шатилової, В.Й. Едельмана.

Постановка завдання. Мета статті – аналіз стану джерел електричної енергії країни, пошук

універсального алгоритму для прийняття рішення про доцільність упровадження відновлювальних джерел електричної енергії на певній обраній території.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним зі шляхів вирішення неперервного забезпечення електричною енергією віддалених територій і сільськогосподарських підприємств є впровадження відновлювальних джерел електричної енергії (далі – ВДЕ). Алгоритм установа ВДЕ на будь-якій території розпочинається з визначення доцільності їх упровадження. На рисунку 2 наведено фактори, які мають вплив на прийняття рішення про доцільність упровадження ВДЕ на певній території.

Для прийняття рішення про доцільність упровадження ВДЕ по всіх факторах, які мають на це вплив, варто скласти матрицю рішень (рис. 3). На кожен із факторів визначається його значення, а саме: значення «1» – якщо фактор впливає позитивно; «0» – якщо фактор має нейтральний характер, «-1» – якщо вплив фактору негативний.

Фактор	1	0	-1
Яеп	+		
Вв		+	
Врп			+
Внп	+		

Рис. 3. Приклад матриці рішень

По кожному значенню підсумовується загальна сума, але варто враховувати ваговий коефіцієнт по кожному з них.

У загальному вигляді формула має такий вигляд:

$$K_{zag} = f(Яеп + Вв + Врп + Внп + Зо + Пм + Внч + Кс + Пр + Вдг + Втп + КУ + Вее + Ко + Дм + ЗБ),$$

де Яеп – якість електропостачання в наявних ЛЕП;

Вв – віялові відключення електричної енергії;

Врп – віддаленість від розподільчих пунктів;

Внп – віддаленість від великих населених пунктів;

Зо – застарілість ЛЕП, опор і мережевого обладнання;

Пм – можливість підключення споживачів;

Внч – наявність і частота відключення;

Кс – категорія надійності споживачів;

Пр – перспектива розвитку і стан основних електростанцій;

Вдг – вартість палива дизельного генератора;

Втп – вартість установаження власної трансформаторної підстанції;

КУ – наявність вигідних кліматичних умов хоча б для одного з ВДЕ;

Вее – вартість електричної енергії,

Ко – особливі кліматичні та географічні умови;

Дм – наявність і віддаленість мережі доріг;

ЗБ – законодавча база (зелений тариф тощо).

Після завершення підрахунку матриці рішень аналізується значення K_{zag} . Коли значення $K_{zag} > 0$,

упровадження ВДЕ у вибраній місцевості є доцільним, в іншому випадку ($K_{zag} < 0$) – недоцільне.

Під час прийняття рішення про доцільність упровадження відновлювальних джерел електричної енергії ми переходимо до наступного етапу алгоритму, а саме вибору кількості ВДЕ.

Наступним етапом після вибору кількості відновлювальних джерел електричної енергії є етап вибору типів ВДЕ, які пропонується встановлювати на обраній території. На цей етап також впливає низка факторів. Одним із них є ризик. Ризик виникає за малої кількості ВДЕ, оскільки кожне джерело виробляє енергію залежно від наявності того чи іншого кліматичного фактору, які в більшості не є постійними на території України. Чим більше джерел, тим менше ризик припинення електропостачання. Але не всі джерела варто встановлювати. По-перше, це економічно не вигідно, по-друге, не на всіх територіях вони будуть задіяні. Кожна територія володіє своїми параметрами, на які доцільно орієнтуватися. Усе залежить від місця розташування території, клімату й переважаючих ресурсних особливостей.

Заключним етапом є вибір параметрів для визначених ВДЕ. Його метою є підбір основних параметрів обраних установок. Наприклад, на яку потужність буде розрахована установка, який режим роботи матиме (біогазова когенераційна установка), інші параметри, які необхідно окреслити для кожного конкретного випадку.

Висновки. Отже, з огляду на викладене вище, можемо резюмувати таке:

1. Запропонований метод визначення доцільності впровадження відновлювальних джерел електричної енергії за допомогою «матриці рішень» є перспективним і передбачає універсальність для будь-якої території.

2. Убачається перспективним продовжити аналітичний пошук факторів, що мають вплив на прийняття рішення про доцільність упровадження ВДЕ.

3. Визначення «вагових коефіцієнтів» для кожного фактору впливу дасть змогу автоматизувати процес обрахунку та прийняття рішення про доцільність упровадження відновлювальних джерел електричної енергії на будь-якій території.

Список літератури:

1. Динаміка і структура виробництва електроенергії в Україні. URL: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/373-power-generation-2017-10> (дата звернення: 17.12.2018).
2. Паризька угода: Закон України від 14 липня 2016 р. № 1469-VIII. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161 (дата звернення: 17.12.2018).

3. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80> (дата звернення: 17.12.2018).
4. Башинська Ю.І. Загальносвітові та регіональні аспекти розвитку потужностей альтернативної енергетики. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2013. Вип. 5. С. 211–223.
5. Долецкая Л.И., Кавченков В.П., Солопов Р.В. Оценка эффективности методов повышения надежности распределительных электрических сетей. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2015. Том 7. № 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПРО ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В статье рассмотрены основные условия внедрения возобновляемых источников электрической энергии, приведено описание первого этапа алгоритма выбора оптимального источника возобновляемой электрической энергии и предложен перечень факторов, которые влияют на принятие решения о целесообразности выбора источника возобновляемой электрической энергии.

Ключевые слова: возобновляемый источник электрической энергии, алгоритм выбора, матрица решений, целесообразность использования.

DETERMINATION OF FACTORS INFLUENCING THE DECISION ABOUT THE FEASIBILITY OF USING RENEWABLE SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY

The article discusses the main conditions for the introduction of renewable sources of electric energy, describes the first stage of the algorithm for selecting the optimal source of renewable electric energy and suggests a list of factors that influence the decision on whether to choose a source of renewable electric energy.

Key word: renewable source of electric energy, algorithm of choice, decision matrix, expediency of use.

Сімейко К.В.

Інститут газу Національної академії наук України

Сидоренко М.А.

Інститут газу Національної академії наук України

ТЕПЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОМУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Високочисті вуглецеві матеріали широко застосовуються в електротранспорті й атомній енергетиці. Перспективною є технологія очищення вуглецевої сировини в електротермічному псевдозрідженому шарі. Авторами статті вивчені основні теплові параметри процесу високотемпературної очистки графіту в реакторі з електротермічним псевдозрідженим шаром. Підтверджена адекватність математичної моделі теплового балансу процесу. Зі збільшенням температури проведення процесу збільшується термічний коефіцієнт корисної дії процесу. Визначені основні критерії подібності. Результати проведених досліджень можуть бути використані для проектування та створення технологій високотемпературної обробки вуглецевих матеріалів.

Ключові слова: електротермічний псевдозріджений шар, вуглецеві матеріали, тепловий баланс, електротранспорт, атомна енергетика.

Постановка проблеми. У зв'язку з популярністю електротранспорту й електроніки спостерігається динамічне зростання споживання графіту батарейних марок як природного, так і синтетичного походження [1]. З урахуванням загальносвітової тенденції до 2025 р. попит на батарейний графіт збільшиться до 800 тис. т/рік [2].

Графіт як конструкційний і функціональний матеріал використовують починаючи з перших експериментальних ядерних реакторів, таких як «Ф-1» і «Чикагская поленница». Надалі він широко застосовувався у високотемпературних реакторах: AVR (Німеччина), FCV (США), покращеному реакторі з газовим охолодженням AGR (Англія) і в уран-графітових реакторах подвійного призначення (СРСР) – каналних реакторах великої потужності (РБМК) [3]. Нині графіт є конструкційним і функціональним матеріалом у ядерних енергетичних системах IV покоління: у високотемпературних газоохолоджувальних (ВТГР) і рідинно-сольових реакторах [4].

Одним із показників якості графіту для потреб ядерної енергетики, отримання рідкоземельних металів, анодів алюмінієвих електролізерів і літій-іонних батарей є вміст хімічних домішок. Навіть незначні частки елементів, таких як S, V, Ti, Cr, Mn, Fe і Si, істотно погіршують технологічні й експлуатаційні властивості кінцевої продукції. Тому у виборі вихідної сировини перевага нада-

ється матеріалам із високим вмістом вуглецю, відповідно малою зольністю та кількістю сірки.

Отже, питання розвитку та вдосконалення технологій виробництва батарейного та графіту ядерної чистоти має велике практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно для очищення графіту використовуються два принципово різні технологічні підходи: термічний і хімічний. На практиці ці методи можуть комбінуватися. Хімічне видалення домішок із природного і вторинного графіту шляхом кислотного вилугування застосовується практично у всьому світі і набуло найбільшого поширення в Китаї, Бразилії, Австралії та Росії [5–7]. Переважна більшість компаній здійснюють таку очистку на завершальному етапі обробки графітового концентрату. Як реагенти зазвичай використовуються розчини NaOH / Na₂CO₃, HF, HCl і H₂SO₄. Причому фторид водню є однією з найбільш популярних і водночас найбільш небезпечних кислот. Показники очищення графіту хімічним шляхом перевищують 98%. Співробітниками Київського національного університету технологій та дизайну [8] розроблена технологія обробки графітових концентратів сумішшю кислот H₂SO₄:HF або HNO₃:HCl:HF. Процеси передбачають одно- і тристадійну обробку з підігрівом графіту до 573...673 К на кожному етапі. Істотним недоліком хімічних методів є використання небезпечних агресивних кислот і негативний екологіч-

ний аспект цих технологій. Слід зазначити, що хімічні методи на основі кислот не використовуються в США, Канаді та країнах ЄС.

Термічне очищення графіту, з погляду енергоємності, є більш витратною альтернативою хімічним методам і використовується переважно у виробництві синтетичного графіту. У нагріванні вуглецевої сировини відновлення нелетких оксидів, присутніх у мінеральній частині, спостерігається вже за температур понад 1 273 К [9]. Продукти відновлення переходять безпосередньо в газову фазу або ж утворюють більш тугоплавкі сполуки з вуглецем (карбіди), випаровування яких настає за значно більших температур. За 2 473... 2 673 К зольність вуглецевих матеріалів може бути знижена до значень < 0,2% [9–10].

У промисловості термічна очистка та графітація вуглецевих матеріалів синтетичного походження реалізована в високотемпературних агрегатах із щільним шаром: електрокальцинаторах [11] і печах Ачесона [9; 12]. З огляду на обмежену газопроникність дрібнодисперсних матеріалів, а також низьку термічну стійкість футеровки електрокальцинатори не можуть розглядатися як агрегати для графітації й очищення батарейних марок графіту.

У сучасних печах Ачесона за температур 2 673... 2 773 К зольність графіту знижується до 0,09–0,11%, однак дуже важливе застосування «чистих» пересипних матеріалів, таких як пековий кокс і нафтовий кокс, що зменшує ймовірність вторинного забруднення графіту. За більш високих температур процес дозволяє знизити вміст мінеральних домішок до значень < 0,03%. Водночас режимні особливості роблять процес Ачесона однією з найбільш енергоємних технологій, оскільки використання теплових вторинних енергоресурсів практично неможливе.

Промислова компанія American Energy Technologies CO запропонувала двостадійну технологію прокалювання нафтового коксу, включаючи першу стадію – нагрів вихідної сировини до температури 1 173... 1 473 К з метою видалення основної частини летючих продуктів, і другу стадію – високотемпературну обробку коксу в печі з електротермічним псевдозрідженим шаром (далі – ЕТПШ) за температури до 2 973 К. Присутність псевдозрідженого шару вирішує кілька технологічних і технічних завдань одночасно: дозволяє підвищити електроопір шару порівняно з електроопором щільного шару часток вуглецевого матеріалу (печей Ачесона) і забезпечує винос летючих компонентів за високотемпературного нагрівання з робочої камери.

Кафедра промислової теплоенергетики Національної металургійної академії України спільно з ТОВ «Центр матеріалознавства» (м. Київ) та ДП «Конструкторське бюро «Південне» за підтримки Департаменту енергетики США і Брукхейвенської Національної Лабораторії (м. Нью-Йорк, США), Українського науково-технологічного Центру (м. Київ) та участі Американської енерготехнологічної компанії (Чикаго, США) розробили конструкцію лабораторної ЕТПШ продуктивністю 10 кг/год. Відповідно до завдання АЕТС розробка печі виконана для обробки графіту з розміром фракції 100 мкм, розрахункова продуктивність печі становить 1–10 кг/год, температура обробки 2 273... 2 873 К [13–14].

Найбільш ефективною, на думку авторів статті, є технологія очищення вуглецевих матеріалів у ЕТПШ, однак аналіз публікацій показав, що недостатньо вивченими є теплові параметри процесу високотемпературної обробки, зокрема недостатня кількість експериментальних даних. Цей фактор сповільнює розвиток екологічно чистих та енергетично ефективних технологій очищення вуглецевих матеріалів.

Постановка завдання. Метою дослідження, описаного у статті, є визначення основних теплових параметрів процесу високотемпературної обробки вуглецевих матеріалів у ЕТПШ. Зокрема, перевірка адекватності математичної моделі теплового балансу, визначення термічної ефективності реактора ЕТПШ і визначення критеріїв подібності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення процесу очищення вуглецевого матеріалу (природного графіту) використовувався реактор з ЕТПШ [15] з удосконаленою системою вивантаження. Як псевдозріджуючий агент використовувався азот підвищеної чистоти. Електрична потужність 5...10 кВт, витрата азоту 0,2...0,5 м³/год, разове завантаження 0,0007...0,002 м³ вихідної сировини, витрата води для охолодження 0,08...0,1 м³/год. Вимірювання температури проводилося за допомогою пірометрів «Промінь» і FLUS IR-866 U.

Завдяки серії проведених експериментальних досліджень у діапазоні температур 2 073... 3 073 К вихідний природний графіт очищено до високих ступенів чистоти (95,0...99,9% мас. вуглецю).

Математична модель теплового балансу виглядає таким чином:

$$Q_{0T_{зпр}} = \sum 2(G_A \cdot \rho_A \cdot C_A \cdot [T_z - T_{A0}]) + P_{неф.} \cdot C_{неф.} \cdot (T_z - T_{неф.0}) + \frac{T_z - T_{н.с.}}{\frac{L_1}{\lambda_{эф.} \cdot F_1} + \frac{L_2}{\lambda_{с.} \cdot F_2} + \frac{L_3}{\lambda_{ме.} \cdot F_3}} + G_e \cdot \rho_e \cdot C_e \cdot (T_{e1} - T_{e0}), \quad (1)$$

де T_z – температура процесу, К; $Q_{0T_{зпр}}$ – кількість теплоти, необхідної для проведення про-

цесу при T_z , Вт; G_A – прогнозована витрата азоту, яка подається у реактор, м³/год; ρ_A – густина азоту, кг/м³; C_A – теплоємність азоту, ккал/кг·К; T_{A0} – вихідна температура азоту, К; $P_{неф.}$ – прогнозована швидкість завантаження природного графіту, кг/год; $C_{неф.}$ – теплоємність природного графіту, ккал/кг·К; $T_{неф0}$ – температура природного графіту, К; $T_{н.с.}$ – температура навколишнього середовища, К; L_1, F_1 – довжина та площа внутрішніх конструкційних матеріалів, які виконані зі штучного графіту, відповідно м та м²; $\lambda_{зф.}$ – теплопровідність штучного графіту, Вт/(м·К); L_2, F_2 – довжина та площа першого шару теплоізоляції, виконаної з технічного вуглецю (сажі), відповідно м та м²; λ_c – теплопровідність технічного вуглецю, Вт/(м·К); L_3, F_3 – довжина та площа другого шару теплоізоляції, виконаної з термостійкої вати, відповідно м та м²; $\lambda_{те.}$ – теплопровідність термостійкої вати, Вт/(м·К); G_e – прогнозована витрата води для охолодження реактора, м³/год; ρ_e – густина води, кг/м³; C_e – теплоємність води, ккал/кг·К; T_{e0} – вихідна температура води, К; T_{e1} – прогнозована температура води для охолодження на виході з реактора, К.

Результати моделювання будуть вказані пунктирною лінією порівняно з експериментальними значеннями кількості теплоти, введеної у процес на рис. 1.

Експериментальні значення кількості введеної теплоти ($Q_{0T_{реаль.}}$) для реакторів з ЕТПШ відповідно до [16–17] визначається за вольт-амперною характеристикою (електричною потужністю):

$$Q_{0T_{реаль.}} = I_{T_{реаль.}} \cdot U_{T_{реаль.}} \quad (2),$$

де $I_{T_{реаль.}}$, $U_{T_{реаль.}}$ – відповідно сила струму А та напруга В, які визначалися за реальними показниками вольтметра й амперметра під час експерименту.

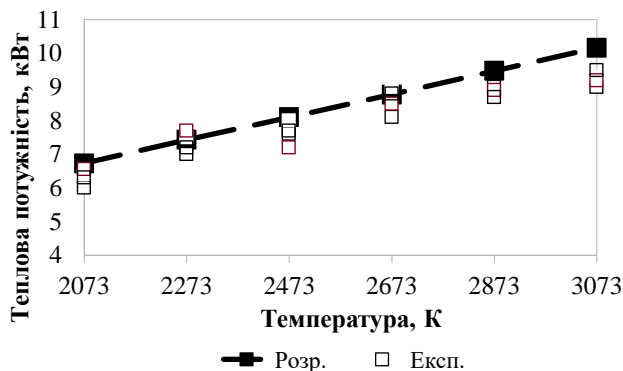


Рис. 1. Зіставлення змодельованого значення необхідної кількості теплоти для проведення процесу високотемпературної обробки вуглецевого матеріалу з експериментальними показниками

Відповідно до рис. 1 простежується динаміка збігу математичного моделювання й експериментальних даних. Максимальне відхилення: до 12%, середнє відхилення: 5–7%, що свідчить про адекватність математичної моделі.

Для експериментальних значень термічний ККД ($\eta_{m.T_{експ.}}$) у реакторах ЕТПШ для процесу високотемпературної обробки вуглецевих матеріалів розраховується таким чином:

$$\eta_{m.T_{експ.}} = \frac{2G_A' \cdot \rho_A \cdot C_A \cdot (T_z' - T_{A0}) + P_{неф.}' \cdot C_{неф.} \cdot (T_z' - T_{неф0})}{Q_{0T_{реаль.}}} \cdot 100\% \quad (3),$$

де G_A' – реальна витрата азоту, м³/год; $P_{неф.}'$ – реальна швидкість завантаження природного графіту, кг/год; G_e' – реальна витрата води для охолодження, м³/год; T_z' – температура процесу у реакційній зоні реактора, К.

Залежність термічного ККД від температури процесу наведена на рис. 2.

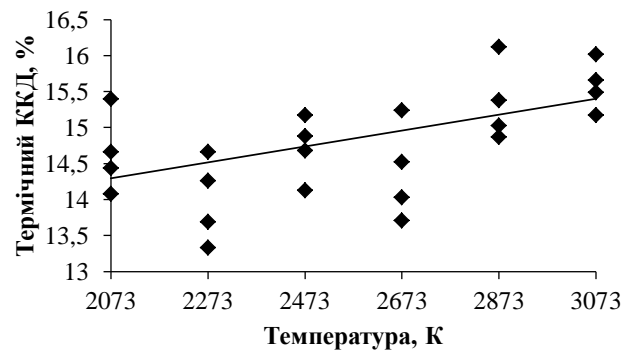


Рис. 2. Залежність експериментальних значень термічного ККД від температури процесу

Як видно з рис. 1, за температур вище 2 873 К експериментальні значення теплоти, введеної у реактор, менші за розрахункові. З рис. 2 можна відзначити динаміку зростання середнього значення термічного ККД зі збільшенням температури процесу. Ці спостереження можна пояснити зміною електропровідності та фізичних властивостей частинок псевдозрідженого шару, а також прогріванням внутрішніх частин реактора та теплоізоляції установки.

Відповідно до [18] критерій Нуссельта (Nu) для псевдозрідженого шару можна визначити таким чином:

$$Nu = 1,66 \cdot Re^{0,45} \quad (4),$$

де Re – критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_{кр.} \cdot d_{неф.}}{v_{ATz}} \quad (5),$$

де v_{ATz} – в'язкість азоту при T_z , Па·с; $d_{неф.}$ – діаметр частинок природного графіту, м. $w_{кр.}$ – швидкість початку псевдозрідження, м/с:

Залежність критеріїв подібності від температури

	2 073 К	2 273 К	2 473 К	2 673 К	2 873 К	3 073 К
<i>Nu</i>	7,12	6,96	6,81	6,69	6,57	6,47
<i>Re</i>	25,42	24,19	23,07	22,15	21,29	20,53
<i>St</i>	0,061	0,065	0,067	0,069	0,071	0,072
<i>Pe</i>	116,72	107,08	101,64	96,96	92,54	89,86

$$w_{кр.} = \frac{G_A'}{3600 \cdot F} \quad (6)$$

F – площа перерізу реакційної зони, м².

Тепловий критерій Стентона (*St*) можна розраховувати таким чином [18]:

$$St = 0,6 \cdot Re^{-0,7} \quad (7)$$

Відповідно до [19] через критерій Стентона та критерій Нуссельта можна визначити число Пекле:

$$Pe = Nu/St \quad (8)$$

Результати проведених розрахунків наведені у табл. 1.

Значення критерію Рейнольдса вказують на ламінарну течію азоту, аналогічно значення критерію Нуссельта вказують на ламінарний температурний режим. Значення критерію Стенсона вказує на низьку інтенсивність дисипації енергії в потоці газу. Зменшення значень числа Пекле зі збільшенням температури процесу вказує на зменшення ролі конвективної передачі теплоти в потоці газу. Таке явище підтверджується загальновідомим фактом, що зі збільшенням темпера-

тури збільшується частка променевого теплообміну в реакційній зоні ЕТПШ [20].

Висновки. Зі збільшенням температури проведення процесу збільшується термічний ККД, що свідчить про підвищення термічної ефективності процесу за високих температур. Підтверджена адекватність математичної моделі теплового балансу: середнє відхилення – 5,48%, максимальне відхилення – 11,5%. Розраховані значення критеріїв подібності вказують на ламінарний потік газу та температурний режим. Для інтенсифікації теплообміну можливо застосовувати інший газорозподільний пристрій у конструкції реактора з ЕТПШ.

Результати проведених досліджень можуть бути використані для проектування та створення технологій високотемпературної обробки вуглецевих матеріалів, зокрема для створення напівпромислових і промислових конструкцій реакторів з ЕТПШ для очищення графіту до високих ступенів чистоти (ядерної чистоти). Надалі такий метод має бути енергетично ефективнішим за термічні способи очистки графіту й екологічно чистішим порівняно з хімічними способами.

Список літератури:

1. Moradi B., Botte G.G. Recycling of graphite anodes for the next generation of lithium ion batteries. *Journal of Applied Electrochemistry*. 2016. № 46 (2). P. 123–148. doi: 10.1007/s10800-015-0914-0.
2. Li J., Henry F., Feng Y. How to develop best carbon / graphite products for lead-carbon battery applications (Superior Graphite). *Poster session presented at the 10th International conference on lead-acid batteries LABAT'2017*. Golden Sands, Bulgaria. 2017.
3. Доллежалъ Н.А., Емельянов И.Я. Канальный ядерный энергетический реактор. Москва: Атомиздат, 1980. 208 с.
4. Комир А.И., Одейчук Н.П., Николаенко А.А., Ткаченко В.И., Деревянко В.А., Кривченко О.В., Шепелев А.Г. Графит как конструкционный материал ядерных энергетических систем IV поколения. *Вопросы атомной науки и техники*. 2016. № 1 (101). С. 51–55.
5. Xie W., Wang Z., Kuang J., Xu H., Yi S., Deng Y., Cao T., Guo Z. Fixed Carbon Content and Reaction Mechanism of Natural Microcrystalline Graphite Purified by Hydrochloric Acid and Sodium Fluoride. *International Journal of Mineral Processing*. 2016. № 155. P. 45–54. doi: 10.1016/j.minpro.2016.08.002.
6. Syarifuddin F., Florena F.F., Hanam E.S., Trisko N., Kustiyanto E.E., Arinton G. Effect of acid leaching on upgrading the graphite concentrate from West Kalimantan (Indonesia). *AIP Conference Proceedings: 2nd Padjadjaran International Physics Symposium*. 2016. P. 1712. doi: 10.1063/1.4941905.
7. Thi H.T., Hong N.D. Sulfuric Acid Leaching Process for Producing High Purity Graphite from 92.6% C to 98% C. *World Journal of Research and Review*. 2017. № 5 (1). P. 23–26.
8. Коробко Д.І., Хоменко В.Г., Барсуков В.З., Макєєва І.С. Вплив домішок та методологія їх визначення в графіті як в активному матеріалі літій-іонних джерел струму. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2015. № 3. С. 220–226.

9. Соседов В.П., Чалых Е.Ф. Графитация углеродистых материалов. Москва: Metallurgy. 1987. 176 с.
10. Zaghba K., Songb X., Guerfia A., Rioux R., Kinoshita K. Purification process of natural graphite as anode for Li-ion batteries: chemical versus thermal. *Journal of Power Sources*. 2003. Vol. 119. P. 8–15. doi: 10.1016/S0378-7753(03)00116-2.
11. Gasik M.M., Gasik M.I., Urazlina O.Yu., Kutuzov S.V. Modelling and optimisation of anthracite treatment in an electrocalcinator. *Proceedings of the Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future*. Helsinki, June 6–9, 2010. P. 339–348.
12. Ragan S., Marsh H. Science and technology of graphite manufacture. *Journal of Materials Science*. 1983. № 18 (11). P. 3161–3176. doi: 10.1007/bf00544139.
13. Федоров С.С., Губинский М.В., Форись С.Н. Выбор размеров рабочего пространства электротермических печей кипящего слоя для переработки углеродных материалов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2014. № 4. С. 87–90.
14. Fedorov S.S., Gubinskii M.V., Foris S.N. Mathematical Simulation of the Structural Properties of Packed and Fluidized Beds. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2016. № 89 (3). P. 627–635.
15. Пат. 83147 Україна, МПК C10G 9/32 (2006.01). Реактор для піролізу газоподібних вуглеводнів / В.О. Богомолов, Б.І. Бондаренко, О.П. Кожан, К.В. Сімейко; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. № u201303318; заявл. 18 березня 2013 р. опубл. 27 серпня 2013 р., Бюл. № 16. 7 с.
16. Богомолов В.А. Исследование процесса и разработка технологии пиролиза природного газа в дисперсных средах: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.13. Киев, 1982. 211 с.
17. Кожан А.П. Исследование электротермических псевдооживленных систем (применительно к высокотемпературной переработке природного газа): дис. ... канд. техн. наук. 05.14.13. Киев, 1978. 198 с.
18. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. Москва: Химия, 1967. 664 с.
19. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики). Москва: Высшая школа, 1966. 488 с.
20. Махорин К.Е., Пикашов В.С., Кучин Г.П. Теплообмен в высокотемпературном кипящем слое. Киев: Наукова думка, 1981. 148 с.

ТЕПЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОМ ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Чистые углеродные материалы имеют широкое применение в электротранспорте и атомной энергетике. Перспективной является технология очистки углеводородного сырья в электротермическом псевдооживленном слое. Авторами статьи изучены основные тепловые параметры процесса высокотемпературной очистки графита в реакторе с электротермическим псевдооживленным слоем. Подтверждена адекватность математической модели теплового баланса процесса. С увеличением температуры проведения процесса увеличивается термический коэффициент полезного действия процесса. Определены основные критерии подобия. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проектировании и создании технологий высокотемпературной обработки углеродистых материалов.

Ключевые слова: электротермический псевдооживленный слой, углеродные материалы, тепловой баланс, электротранспорт, атомная энергетика.

THERMAL PARAMETERS OF HIGH-TEMPERATURE PROCESSING FOR CARBON MATERIALS IN AN ELECTROTHERMAL FLUIDIZED BED

High-grade purity carbon materials are widely used in electric transport and nuclear energetics. The technology of the purification of carbonaceous materials in an electrothermal fluidized bed is promising. The authors have studied the basic thermal parameters of the process of high temperature graphite treatment in a reactor with an electrothermal fluidized bed. The adequacy of the mathematical model of the heat balance of the process has been confirmed. When the temperature of the process increases, the thermal efficiency of the processes increasing. The basic similarity criteria are determined. The results of the research can be used in the design and creation of technologies for high-temperature processing of carbon materials.

Key words: electrothermal fluidized bed, carbon materials, thermal balance, electric transport, atomic energy.

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.291

Инкин А.В.

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХРАНИЛИЩ ГАЗА В ВОДОНОСНЫХ СТРУКТУРАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

В статье для сглаживания сезонных колебаний потребления природного газа на юго-востоке Украины показана возможность создания его хранилища в пермско-триасовом водоносном горизонте Левенцовской структуры Западного Донбасса. По результатам расчетов установлены изменения размеров и давлений формирующейся газовой полости, определены приёмистость одиночной скважины (2–5 тыс. м³/сут) и объем поглощаемого ею газа в период закачки (около 270 тыс. м³). Полученные результаты послужили основой для разработки геотехнологической схемы хранилища, определения необходимого количества эксплуатационных скважин и оптимального порядка их размещения с учетом геоморфологического строения территории, а также позволили обосновать зоны санитарной охраны для обеспечения безопасной работы полигона.

Ключевые слова: подземное хранение газа, водоносный горизонт, технологическая схема.

Постановка проблемы. Устойчивая работа топливно-энергетического комплекса Украины наряду с необходимостью решения проблем импортирования и разработки собственных месторождений природного газа в значительной мере зависит от надежности функционирования единой системы газоснабжения (далее – ЕСГ), включающей в себя технологические объекты по добыче, транспортировке, хранению и распределению газообразных углеводородов. Существенной особенностью ЕСГ является полная взаимосвязанность ее элементов, выражающаяся в изменении режима эксплуатации всей системы при смене условий работы отдельных объектов. Так, неравномерный режим потребления газа может привести к остановкам в его добычи и требует создания крупных резервуаров, способных аккумулировать газообразные углеводороды в объеме, достаточном для сглаживания сезонных колебаний их использования.

В настоящее время для обеспечения бесперебойной подачи газа потребителям предприятие «Укртрансгаз» эксплуатирует 13 подземных хранилищ газа (далее – ПХГ), активный объем которых достигает 32 млрд. м³. При этом на долю хранилищ, расположенных вблизи крупных горнопромышленных центров страны (Донецк, Днепропетровск, Кривой Рог), приходится менее 8% общих запасов (около 2,5 млрд. м³). Почти 70% государ-

ственного резерва природного газа сосредоточено в Западноукраинском комплексе, обеспечивающем надежность его транзита через территорию страны и регулирование неритмичности этого потока. Эти хранилища расположены в районе участков межгосударственных магистральных газопроводов, транспортировка газа из которых в восточные регионы нерентабельна. Недостаточный объем собственных и невозможность получения ресурса других хранилищ привели к ведению ограничений на потребления газа в зимний период на юго-востоке Украины, что вызвало плановые и аварийные прекращения отопления зданий.

Анализ последних исследований и публикаций. Для выхода из сложившейся ситуации в работах [1, с. 19; 2, с. 23–25] уже обоснована необходимость и возможность создания нового газохранилища с активным объемом 150 млн м³ в водоносных структурах Западного Донбасса. В качестве наиболее перспективного участка выбрана Левенцовская площадь (1930 км²), в разрезе которой заключен пермско-триасовый водоносный горизонт, представленный однородным по гранулометрическому составу кварц-полевошпатовым песчаником и характеризующийся высокими фильтрационно-емкостными и герметичными свойствами [3, с. 43–45].

Постановка задания. Для оценки динамики и технической параметризации накопления газа

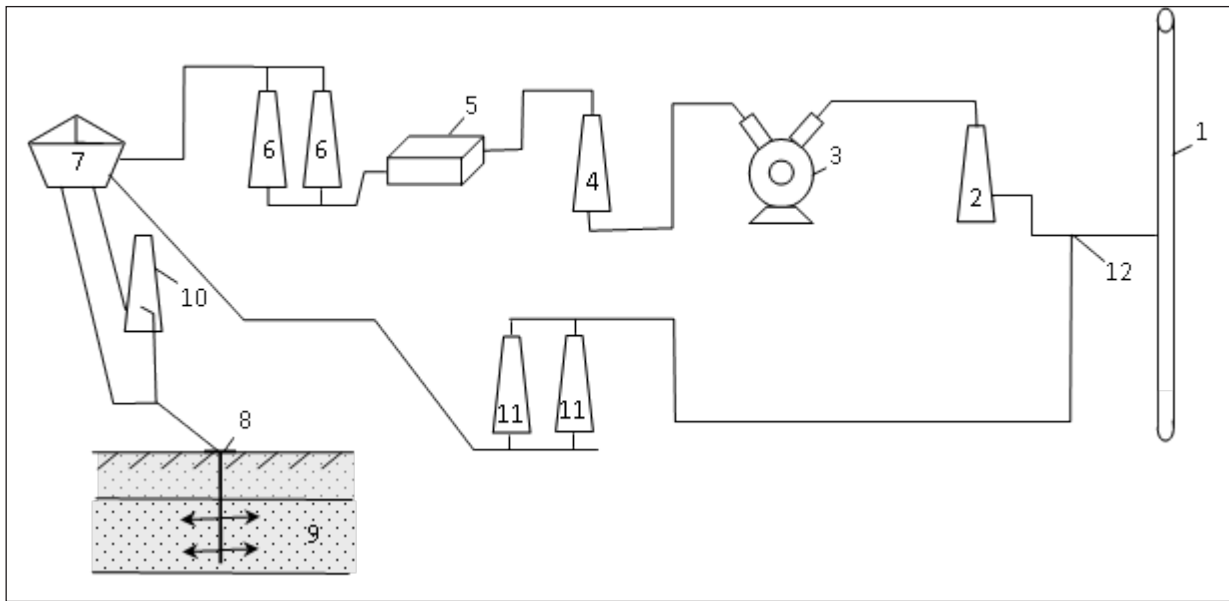


Рис. 1. Технологическая схема эксплуатации хранилища газа: 1 – магистральный газопровод; 2 – пылеуловитель; 3 – компрессор; 4 – сепаратор (горячий газ); 5 – градирня; 6 – сепаратор (охлажденный газ); 7 – распределительный пункт; 8 – скважина; 9 – пласт-коллектор; 10 – сепаратор; 11 – установка осушки газа; 12 – газопровод

в выделенной структуре необходимо разработать геотехнологическую схему хранилища и установить режим работы его эксплуатационных скважин, что составляет цель работы. При этом для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач: 1) установить порядок подготовки и аккумуляции газообразных углеводородов в горно-геологических условиях рассматриваемой территории; 2) оценить изменения размера и давления формирующейся в пласте-коллекторе газовой полости; 3) определить приёмистость скважин, их необходимое количество и оптимальный порядок размещения с учетом геоморфологического строения местности; 4) обосновать зоны санитарной охраны и мониторинговые мероприятия, предназначенные для обеспечения безопасной работы полигона.

Изложение основного материала исследования. Предназначенный для синхронизации газопотребления в юго-восточной части Украины природный газ отбирается из магистрального газопровода в районе г. Перещепино и подается в компрессорный цех на территории Левенцовской площади, где первоначально очищается в пылеуловителях от взвешенных частиц и капельной влаги, а затем направляется на прием компрессоров (рис. 1). Образованный сжатый газ подается в блок охлаждения и последовательно проходит через сепаратор, градирню и опять сепаратор. Для отделения капельного масла газ направляют на адсорберы и фильтры, после которых он посту-

пает в распределительный пункт, служащий для разделения потока по эксплуатационным скважинам. Далее, в соответствии с годовым графиком потребления энергоносителей, через фильтровую зону скважин газ закачивается в пермско-триасовый водоносный горизонт. Поступая в пласт под давлением, он вытесняет содержащуюся в нем воду и образует подземное газохранилище, при проектировании которого необходимо определить число эксплуатационных и наблюдательных скважин, место их размещения, активный и буферный объемы газа, его максимально допустимое и минимально необходимое давление. При расчете этих технологических параметров фильтрационные и физико-механические свойства выделенного коллектора необходимо принимать в соответствии с их пространственно-временными изменениями, вызванными взаимодействием углеводородного газа с горными породами и установленными ранее в работе [4, с. 106–109].

По результатам проведенной рекогносцировки на местности для нагнетательного контура предлагается использовать расположенную в северо-западном направлении балку Лезезина длиной 1 км. Эксплуатационные скважины размещаются в виде линейной галереи вблизи тальвега балки, а наблюдательные – в ее створе в направлении перемещения фронта вытеснения. В данной системе закачка газа в скважины производится через заложенные под землей выкидные линии (шлейфы), соединенные со сборным коллекто-

продвигающийся по мере закачки газа. Необходимо отметить, что математическое описание возникновения и объединения газовых зон, ввиду наличия эмпирических функций в уравнениях, в настоящее время весьма затруднительно, поэтому в научно-практических расчетах на момент начала промышленной закачки принимается некоторое начальное количество газа в хранилище.

Работа нагнетательного контура характеризуется сочетанием процессов вытеснения воды и возрастанием давления в пласте-коллекторе. При этом величина $P_{нз}$ в уравнении (1) с течением времени будет повышаться, что приведет к уменьшению проницаемости скважин и увеличению их необходимого количества. Для нахождения изменения давления в хранилище можно воспользоваться математической моделью [7, с. 50–55], основанной на следующих допущениях: 1) параметры закачки и отбора газа близки к синусоидальному закону, соответствующему сезонности газопотребления; 2) фильтрация фаз происходит перпендикулярно эксплуатационной галерее скважин шириной M (ось OX) в пласте постоянной мощности m , наклоненном к горизонту под углом α (рис. 2); 3) фронт вытеснения представляется контактной поверхностью, разделяющей пласт на две зоны ($OADE$ и $ABCD$), в каждой из которых движется только одна фаза; 4) давление газа равномерно распределено на фронте вытеснения; 5) водоносный пласт ограничен контуром питания с постоянным давлением P_{κ} в сечении $x = L$.

При принятых допущениях давление в газовой полости практически не зависит от пространственной координаты вследствие малой вязкости газа, а скорость фильтрации воды v_w определяется законом Дарси в виде:

$$v_w = -\frac{\kappa}{\mu_w} \cdot \left[\frac{P_z - P_{\kappa}}{L - x_a} + \rho_w g \cdot \operatorname{tg} \alpha \right], \quad (5)$$

где ρ_w , μ_w – соответственно плотность и вязкость воды.

Для определения давления в газовой зоне используется дифференциальное уравнение массового баланса:

$$\frac{dM_z}{dt} = q_z(t), \quad (6)$$

при этом масса газа в хранилище M_z определяется из выражения:

$$M_z = \rho_g V_z, \quad (7)$$

а объем газа V_z на единичной длине галереи находится как площадь поровой части трапеции ($OADE$):

$$V_z = \frac{x_a + m / 2 \sin \alpha}{\cos \alpha} \cdot n_a m, \quad (8)$$

где q_z – массовый расход газа; n_a – активная пористость пласта.

Давление в газовой зоне выражается уравнением состояния:

$$P_z = Z \cdot \rho_g \cdot RT, \quad (9)$$

где T , Z – температура и коэффициент сжимаемости газа; R – газовая постоянная.

В результате интегрирования уравнения материального баланса (6) с учетом (8) и (9), а также изотермичности процесса выражение давления относительно координаты x_a будет иметь вид:

$$P_z(t) = P_0 \frac{\phi(x_0)}{\phi(x_a)} + \frac{ZRT \cdot \cos \alpha}{n \cdot m \cdot \phi(x_a)} \int_0^t q_z(t) dt, \quad (10)$$

где $\phi(x_a) = x_a(t) + m / 2 \sin \alpha$.

Система уравнений (5) и (10) позволяет определить динамику движения газовой контактной поверхности и давление газа в хранилище. Граничные условия для решения этой системы могут быть следующими:

$$\begin{cases} P(t)|_{t=0} = P_0 \\ x_a(t)|_{t=0} = x_0 \end{cases}. \quad (11)$$

Введя безразмерные переменные, соответствующие размерным величинам в формуле (10):

$$X_a = \frac{x_a}{L}; \quad \tau = \frac{t}{t^*}; \quad t^* = \frac{nL}{(\kappa / \mu_w) \cdot (P_{\kappa} / L)}; \quad \dot{q}_z = \frac{q_z(t)}{q_{z0}};$$

$$P = \frac{P_z}{P_{\kappa}}; \quad \Phi = \frac{\phi}{L}; \quad G = \frac{\rho_w g L}{P_{\kappa}} \operatorname{tg} \alpha,$$

получим

$$P(\tau) = Q(\tau) / \Phi(X_a), \quad (12)$$

где

$$Q(\tau) = \Phi_0 P_0 + \frac{ZRT q_{z0} \cdot t^* \cdot \cos \alpha}{nmLP_{\kappa}} \int_0^{\tau} \dot{q}_z(\tau) d\tau.$$

Уравнение (5) после подстановки в него выражения (12) примет следующий вид:

$$\frac{dX_a}{d\tau} = \frac{Q(\tau) - \Phi(X_a)}{\Phi(X_a) \cdot (1 - X_a)} - G. \quad (13)$$

При заданных начальных условиях (11) решение уравнения (13) проведено в программной среде MatCad методом численного интегрирования по времени. При этом массовый расход газа принимался как кусочно-постоянная функция в пределах:

$$\bar{q}_z = \begin{cases} q_{\text{закачки}}, \\ 0, \\ q_{\text{отбора}}. \end{cases}$$

После определения положения газовой контактной поверхности по формуле (12) рассчитывалось давление в газовой зоне. Затем из уравнения состояния (9) находилась масса газа, содержащегося в хранилище.

На рис. 3 приведены результаты расчета динамики движения газовой контактной поверхности и давления газа в хранилище в условиях Левенцов-

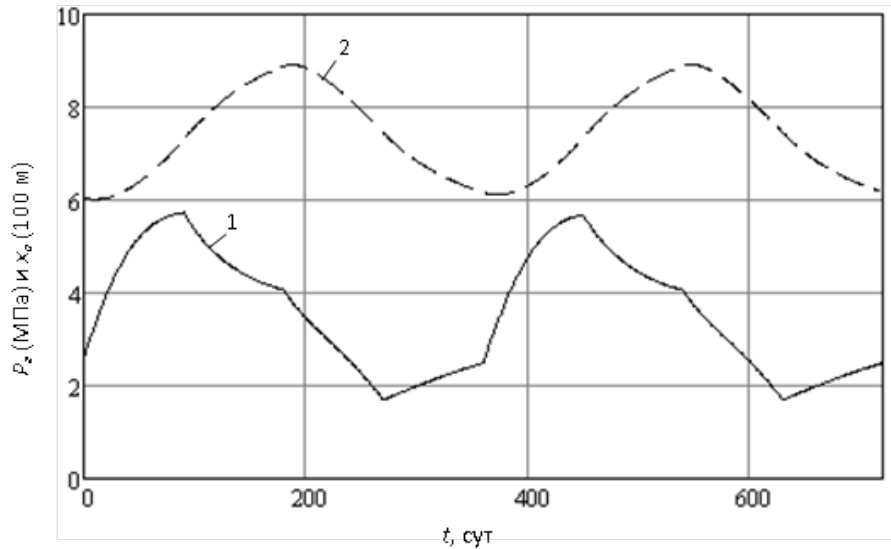


Рис. 3. Изменение давления (1) и положения газовой контактной (2) в Левенцовском водоносном газохранилище

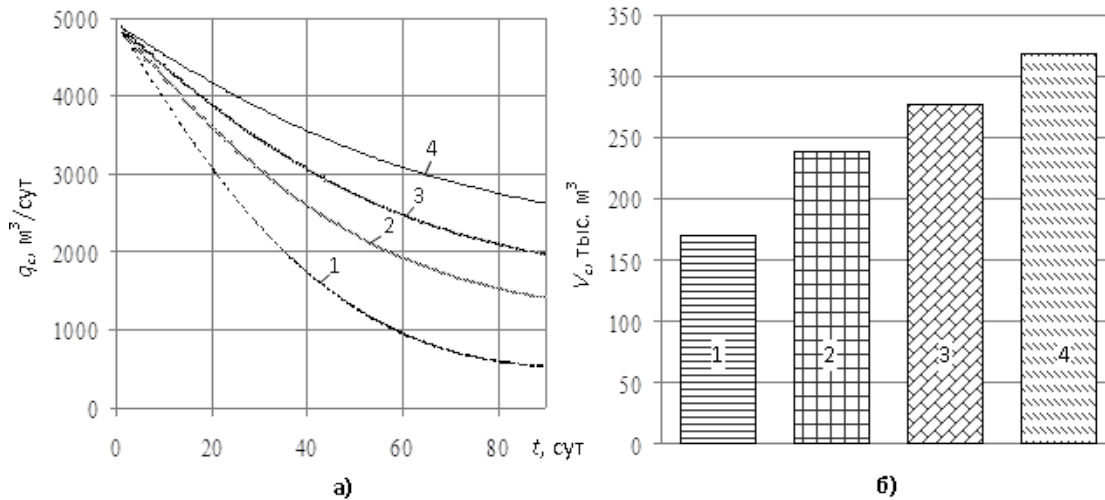


Рис. 4. Изменение приёмности «усредненной» скважины (а) и объема поглощенного ею газа (б): 1–4 – при длине нагнетательной галереи 300; 450; 600 и 900 м соответственно

ской структуры: $m = 120$ м; $M = 300$ м; $\alpha = 10^\circ$; $\rho_g = 1000$ кг/м³; $\rho_w = 0,001$ Па·с; $\rho_{гг\text{ норм. усл.}} = 0,8$ кг/м³; $T = 300$ К; $Z = 0,85$; $P_0 = 2,6$ МПа; $P_k = 4$ МПа; $x_0 = 600$ м; $L = 1000$ м; $t_{зак. (отб.)} = 90$ сут; $H = 450$ м; $q_{с0} = 0,05$ кг/м·с. Параметры проницаемости и пористости коллектора задавались последовательно, в соответствии с их временными изменениями при увеличении пластового давления, по закономерностям, установленным в работе [4, с. 106–109].

Анализ полученных графиков показывает, что к концу закачки газ-водяной контакт переместится на 200 м, однако в следующий период скорость его продвижения уменьшится, к окончанию простоя хранилища он достигнет 900-метровой отметки. Спустя 15 суток после начала отбора газа контакт

начнет обратное движение в сторону эксплуатационной галереи скважин, к завершению отбора остановится на отметке 680 м. При последующей паузе газовая полость продолжит уменьшаться и дойдет до своего начального положения. Также при закачке газа будет увеличиваться его давление в хранилище, однако своего максимума (5,8 МПа) оно достигнет уже к окончанию этого периода. Далее при простое и последующем отборе давление снизится до минимальных значений (около 2 МПа) и возвратится к своим начальным показателям (2,6 МПа) в следующий период простоя. Приведенные данные свидетельствуют, что максимальные и минимальные размеры газовой полости достигаются в моменты времени, не совпадающие с предельными

значениями давлений. Объем полости экстремален, когда давление в ней равняется давлению на контуре питания и полость находится в равновесии с окружающими подземными водами, что в годовом цикле эксплуатации хранилища происходит 2 раза: при закачке газа ($t \approx 10$ сут, x_a min) и при его отборе ($t \approx 190$ сут, x_a max).

Установленные закономерности распределения давления в пласте-коллекторе подставлялись в формулу (1) для нахождения изменения приёмистости эксплуатационных скважин во времени. С целью подбора наиболее благоприятного режима закачки газа выполнено варьирование размеров нагнетательной галереи, результаты которого приведены на рис. 4. Анализ графиков показывает увеличение приёмистости скважин и объема поглощаемого ими газа с повышением длины эксплуатационного ряда, что объясняется расширением фронта вытеснения и снижением пластового давления.

Таким образом, с одной стороны, увеличение расстояния между скважинами нагнетательного контура позволяет повысить объем аккумулируемого газа, с другой – это расстояние должно удовлетворять условию (2) по всему фронту вытеснения, чтобы избежать разрывов газовой контактной. При этом, исходя из геоморфологических условий, длина предполагаемой линии размещения скважин не должна превышать 1 км.

Для нахождения распределения избыточного давления и оценки оптимального расстояния между скважинами можно использовать уравнение Дюпюи, записанное в виде (1). Полученные в программной среде MatCad изолинии давления свидетельствуют, что удаление эксплуатационных скважин более чем на 90 м друг от друга приводит к недопустимому вклиниванию фронта вытеснения к нагнетательному контуру (более половины расстояния между скважинами и границей раздела), что может стать причиной нарушения сплошности формирующейся газовой полости.

С учётом установленных количественных закономерностей по приёмистости скважин можно сделать вывод, что в условиях Левенцовской структуры предполагаемый для хранения объем углеводородного газа (150 млн м³) рационально закачать под давлением 6 МПа через линейный 600-метровый ряд из 9 скважин. При этом, ввиду их длительной эксплуатации в резко изменяющихся термобарических условиях и возможной кольматации, необходимо предусмотреть резервные скважины для проведения профилактического ремонта.

Конструкции эксплуатационных скважин, с учетом их опыта сооружения, назначения и геологического строения участка, должны отвечать следующим требованиям [8: 9]. Закачка и отбор газа из хранилища осуществляется через колонны, собранные из насосно-компрессорных труб диаметром от 127 до 273 мм. Забой скважин, ввиду возможных процессов осыпания породы, оборудуется фильтром, а устье – колонной и трубной головкой. Колонная головка обвязывает верхние концы кондуктора и эксплуатационной колонны, герметизирует межтрубное пространство и является опорой трубной головки, предназначенной для подвязки фонтанных труб и заделки пространства между ними и эксплуатационной колонной. Непосредственно на трубную головку устанавливается фонтанная «елка» крестовидного или тройникового типа, служащая для контроля и регулирования работы скважин.

Выводы. Подводя итог, можно резюмировать, что в горно-геологических условиях Левенцовской площади Западного Донбасса возможно создание водоносного газохранилища, способного снизить сезонную неравномерность потребления газообразных углеводородов на юго-востоке Украины в объеме до 150 млн м³. Решенная в программной среде MatCad методом численного интегрирования газогидродинамическая задача, основанная на установленных ранее закономерностях изменения фильтрационных параметров пласта-коллектора при взаимодействии с природным газом, позволила определить темп его закачки, зависимость между приёмистостью скважин и давлением нагнетания, характер перемещения газовой контактной. По результатам расчетов установлено, что приёмистость одиночной скважины в период закачки изменяется от 2 до 5 тыс. м³/сут, а объем поглощаемого ею газа в среднем равен 270 тыс. м³. Полученные результаты послужили основой для разработки геотехнологической схемы газохранилища, обоснования оптимального порядка размещения 9 эксплуатационных скважин в виде линейного 600-метрового ряда и трех зон санитарной охраны (строгого режима, ограниченных мероприятий и профилактической) с радиусами 50, 920 и 3000 м соответственно. Полученные размеры значительно меньше территории Левенцовской структуры (1930 км²) и свидетельствуют о возможности локализации газохранилища в её пределах.

Дальнейшее развитие работы целесообразно путем установления потерь аккумулируемого газа за счет горно-геологических, физико-химических

и технических факторов, а также сопоставления полученных результатов с практическим опытом эксплуатации газохранилищ в разных странах мира. Кроме того, необходима экономическая оценка эффективности подземного хранения газа в пределах Левенцовской площади на основе современных критериев рентабельности инвестиционных проектов.

Список литературы:

1. Садовенко И.А., Инкин А.В., Якубовская З.Н. Оценка потерь газа при его хранении в водоносных пластах Западного Донбасса. *Научный вестник Национального горного университета*. 2012. № 6. С. 18–24.
2. Инкин А.В., Деревягина Н.И., Хрипливец Ю.В. Перспективы создания водоносного газохранилища в горно-геологических условиях Левенцовской площади. *Сборник научных трудов Национального горного университета*. 2014. № 44. С. 22–27.
3. Садовенко И.А., Рудаков Д.В., Инкин А.В. Моделирование теплопереноса в водоносном горизонте при аккумуляции и отборе тепловой энергии. *Научный вестник Национального горного университета*. 2012. № 1. С. 40–45.
4. Инкин А.В. Оценка изменения коллекторских свойств пород водоносного газохранилища. *Вестник Национального политехнического университета Армении*. 2015. № 2. С. 103–110.
5. Черных В.А. Гидрогеомеханика нефтегазодобычи. Москва, 2001. 277 с.
6. Тер-Саркисов Р.М. Разработка месторождений природных газов. Москва, 1999. 659 с.
7. Лурье М.В. Механика подземного хранения газа в водоносных пластах. Москва, 2001. 350 с.
8. Калинин А.Г., Левицкий А.З., Никитин Б.А. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ. Москва, 1998. 433 с.
9. Тагиров К.М., Нифантов В.И. Бурение скважин и вскрытие нефтегазовых пластов на депрессии. Москва, 2003. 160 с.

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СХОВИЩ ГАЗУ У ВОДОНОСНИХ СТРУКТУРАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

У статті для згладжування сезонних коливань споживання природного газу на південному сході України показано можливість створення його сховища в пермському-тріасовому водоносному горизонті Левенцовської площі Західного Донбасу. За результатами розрахунків встановлено зміни розмірів і тисків газової зони, визначено прийомистість одиночної свердловини (2–5 тис. м³/добу) й обсяг газу, який поглинається нею в період закачування (близько 270 тис. м³). Отримані результати послугували основою для розроблення геотехнологічної схеми сховища, визначення необхідної кількості експлуатаційних свердловин та оптимального порядку їх розташування з урахуванням геоморфологічної будови території, а також дали можливість обґрунтувати зони санітарної охорони для забезпечення безпечної роботи полігону.

Ключові слова: підземне зберігання газу, водоносний горизонт, технологічна схема.

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS PERATION OF GAS STORAGE IN THE AQUARIUS STRUCTURES OF THE WESTERN DONBASS

The insufficient volume of natural gas storage facilities and the inability to obtain the resource of other storage facilities led to the maintenance of limits on its consumption and the termination of heating of buildings in the winter period in the southeast of Ukraine. To overcome this situation, earlier the possibility of creating a new gas storage facility in the Permian-Triassic aquifer of the Lev-entsovskaya area of the Western Donbass was justified. On the basis of the solved gas-hydrodynamic problem, it is shown that in the mining and geological conditions considered, the injectivity of a single well during the injection period varies from 2 to 5 thousand m³/day, and the volume of gas absorbed by it on average is 270,000 m³. In the MatCad software environment, the calculations for determining the size and pressure changes formed by the gas cavity, determining the injectivity of the wells and their optimal order of location, taking into account the geomorphological structure of the territory, were carried out. Based on the study and systematization of regulatory documents to ensure the safe operation of the landfill, the sanitary protection zones and monitoring activities were justified.

Key words: underground storage of gas, aquifer, technological scheme.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК [66.067.12:661.333]+542.8

Золотарьова О.В.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ВИДІЛЕННЯ АМОНІЙНОГО АЗОТУ ЗІ СТІЧНИХ ВОД ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ МЕТОДОМ ОСАДЖЕННЯ

Стаття присвячена можливості виділення й утилізації амонійного азоту зі стічних вод хімічних підприємств його осадженням у вигляді нерозчинної сполуки – гексагідрату магнійамонійфосфату (МАФ), що використовується як мінеральне добриво. Ця технологія становить інтерес передусім для підприємств, що виробляють азотні добрива. Останніми роками спостерігається значне підвищення вимог до вмісту амонійного азоту у воді природних водоймищ. Дотримання таких жорстких вимог можливе лише за умови підвищення ефективності видалення сполук азоту зі стічних вод, що скидаються у водоймища.

Ключові слова: амонійний азот, гексагідрат магнійамонійфосфат, мінеральні добрива, реактив Несслера, хімічне осадження, дисперсність.

Постановка проблеми. Натепер на багатьох хімічних підприємствах існує проблема виділення й утилізації амонійного азоту зі стічних вод. Наявність іонів амонію у воді в концентраціях понад 1 мг/дм³ знижує здатність гемоглобіну риб зв'язувати кисень. Потрапляючи до водоймищ, амонійний азот стимулює розвиток синьо-зелених водоростей, відбувається евтрофікація (цвітіння) водоймищ. Унаслідок масового гниття водоростей у воді з'являється сірководень, меркаптани, феноли та інші токсичні продукти, зникає кисень, вода стає «мертвою». Отже, перевищення концентрації амонійного азоту є згубним для всього живого, передусім для риб [1, с. 71].

Наявні методи очищення та переробки азотовмісних стічних вод мають високу собівартість, що обмежує їх промислове застосування. Сучасні перспективні методи виділення й утилізації амонійного азоту зі стічних вод є наукоємними, а ще недостатньо вивченими. Однак саме за допомогою цих методів у майбутньому вдасться значно знизити високі економічні витрати на промислове використання цих технологій.

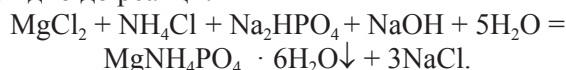
Одним із перспективних методів виділення й утилізації амонійного азоту зі стічних вод хімічних підприємств є його осадження у вигляді нерозчинної сполуки – гексагідрату магнійамонійфосфату (МАФ), що використовується як мінеральне добриво [5, с. 353].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми виділення й утилізації амонійного

азоту зі стічних вод хімічних підприємств розглядалися в роботах С.А. Лобанова, А.І. Посторонко, Н.Р. Кобецької та інших учених. Однак і сьогодні під час проведення експерименту осадження амонійного азоту у вигляді нерозчинної сполуки – гексагідрату магнійамонійфосфату – викликає багато запитань.

Постановка завдання. Метою дослідження є розроблення ефективної та економічної технології виділення й утилізації амонійного азоту зі стічних вод хімічних виробництв. Досягнення поставленої мети включає в себе дослідження фізико-хімічного процесу хімічного осадження (кристалізації) магнійамонійфосфату з одержанням кристалів з певною дисперсністю при високому ступені очистки стічних вод.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою дослідження фізико-хімічних закономірностей процесу виділення амонійного азоту зі стічної води проведено експерименти з вивчення процесу осадження магнійамонійфосфату за допомогою гідрофосфату натрію, гідроксиду натрію та хлориду магнію [4]. Осадження відбувалося відповідно до реакції:



До певної кількості модельного розчину стічної води з концентрацією NH_4^+ -іонів 2 г/л у прозорому реакторі, що розміщений у нефелометрі, під час перемішування добавляли стехіометричну кількість еквімолярного розчину гідрофосфату

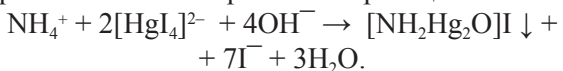
натрію з концентрацією 15,778 г/л, певну кількість 1%-ого розчину гідроксиду натрію, а потім стехіометричну кількість еквімолярного розчину хлориду магнію з концентрацією 10,589 г/л. Отриману суспензію витримували протягом 20 хв. при постійному перемішуванні.

У ході процесу реєстрували величину рН і величину пропускання світлового потоку через прозорий реактор. Оскільки, згідно з рівнянням реакції, величина рН у ході утворення осаду магнійамонійфосфату зменшується, то за зміною величини рН у часі судили про швидкість протікання реакції. За величиною світлопропускання через реактор оцінювали зміну швидкості утворення часток осаду магнійамонійфосфату на початковій стадії протягом певного часу.

Про завершення хімічної реакції та процесу утворення частинок осаду судили за характером залежностей, відповідно, від величини рН і ступеня кристалізації від часу: за час закінчення процесу брали час, після закінчення якого величина рН і ступінь кристалізації практично не змінювалися. Після витримання суспензії вимірювали швидкість седиментації отриманого осаду шляхом відстоювання в градуйованому циліндрі.

1. Визначення вмісту амонійного азоту в стічній воді фотометричним методом з реактивом Несслера

Метод вимірювання масової концентрації іонів амонію полягає в утворенні в лужному середовищі з реактивом Несслера жовтої сполуки йодиду меркурамонію за таким рівнянням реакції:



При низьких концентраціях амонійного азоту ця сполука знаходиться в стійкому колоїдному стані, придатному для колориметрування. При великому вмісті амонійного азоту випадає бурий осад, у цьому випадку визначення необхідно проводити після розбавлення проби.

Масову концентрацію амонію розраховують із застосуванням градувальної характеристики, що описує залежність оптичної щільності від вмісту амонію в градувальному розчині [3, с. 193].

Підготовка фотоелектроколориметра до роботи проводиться відповідно до інструкції з експлуатації приладу.

Безаміачну воду готують так: двічі перегнану воду пропускають через колонку з катіонітом КУ-2 або СБС.

Основний градувальний розчин із масовою концентрацією іонів амонію 1 мг/см³ готується з хлористого амонію, підготовленого за ГОСТ 4212-76: 2,9650 г хлористого амонію розчиняють у мірній колбі обсягом 1000 см³ в не-

ликій кількості безаміачної води, а потім доводять до мітки безаміачною водою.

Робочий градувальний розчин із масовою концентрацією іонів амонію 0,005 мг/см³ готують так: 1 см³ основного розчину доводять до мітки безаміачною водою в мірній колбі обсягом 200 см³.

Калій-натрій виннокислий, водний розчин із масовою концентрацією 500 г/дм³ готується так: розчиняють 50 г солі в безаміачній воді, доводять об'єм тією самою водою до 100 см³. Отриманий розчин кип'ятять до зникнення реакції на аміак. Потім охолоджують і доводять до 100 см³ безаміачною водою.

Реактив Несслера готується так: 1,0 г йодиду ртуті (II) і 5,0 г бромиду калію розчиняють у 10 см³ води. До отриманого розчину додають розчин, що містить 2,5 г гідроксиду натрію у 20 см³ води, потім 70 см³ води. Наступного дня прозорий розчин відокремлюють від осаду шляхом декантації. Розчин реактиву зберігають у темному місці в склянці з гумовою пробкою [2, с. 78].

2. Побудова градувального графіка

У ряд мірних колб обсягом 50 см³ вносять 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0 см³ робочого градувального розчину іонів амонію, розбавляючи приблизно до половини колби безаміачною водою, додають 0,5 см³ розчину калію-натрію виннокислого, перемішують, потім додають 1 см³ реактиву Несслера, доводять до мітки безаміачною водою та знову перемішують. Отримують розчини з концентраціями іонів амонію 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 мг/дм³ відповідно. Водночас готується холоста проба: у мірну колбу обсягом 50 см³, наполовину заповнену безаміачною водою, вносять 0,5 см³ розчину калію-натрію виннокислого, 1 см³ реактиву Несслера, доводять до мітки безаміачною водою, перемішують. Через 10 хвилин вимірюють оптичну щільність отриманих розчинів у кюветі з товщиною оптичного шару 2 см на фотоелектроколориметрі із синім світлофільтром. Як розчин порівняння використовується безаміачна вода.

За результатами вимірювання будується градувальний графік залежності: оптичної щільності (од. абс.) від масової концентрації іонів амонію (мг/дм³) [2, с. 82].

3. Виконання вимірювань

У мірну колбу обсягом 50 см³ поміщають таку кількість фільтрованої стічної води, щоб у ній містилося не більше ніж 0,06 мг іонів амонію, доливають 0,5 см³ розчину калію-натрію виннокислого, перемішують, потім додають 1 см³ реактиву Несслера, доводять до мітки безаміачною водою та перемішують. Через 10 хвилин вимірюють оптичну щільність отриманих розчинів у кюветі з товщиною оптичного шару 2 см на фотоелек-

троколориметрі із синім світлофільтром відносно дистильованої води [2, с. 82].

4. Дослідження впливу величини рН на процес осадження магнійамонійфосфату

При низькому значенні рН (5,72) величина ступеня очистки стічної води була невисокою (62%), при кінцевому значенні рН = 8,5 і більше досягнуті високі значення ступеня очистки (~95%).

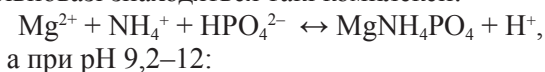
Це пов'язано зі зменшенням розчинення магнійамонійфосфату в лужному середовищі та виділенням осаду у твердій фазі. Як показав аналіз даних про швидкість хімічної реакції, що оцінюється за швидкістю зміни величини рН, реакція утворення магнійамонійфосфату закінчується менше ніж за 180, причому чим вища величина рН, зумовлена наявністю OH^- , тим швидше протікає реакція, що не суперечить закону діючих мас.

Однак досить високі значення рН негативно впливають на ефективність процесу очистки. При кінцевій величині рН = 10,5 (дослід № 4, таблиця 1) ступінь очистки залишається досить високим (93%), тоді як при рН = 12,3 (дослід № 5, таблиця 1) спостерігається різке зниження ступеня очистки до 59%. Звідси можна припустити, що магнійамонійфосфат розчиняється в надлишку лугу. Максимальний ступінь очистки досягається при рН 8,5–10.

Прийнявши, що $\tilde{N}_0^N = \tilde{N}_0^D = 1$, побудували графічну залежність рівноважних концентрацій амонійного азоту й фосфат-іонів від величини рН розчину.

При низьких значеннях рН (у межах від 3 до 7,2) в розчині, що містить фосфат-іони та іони амонію, переважають іони H_2PO_4^- і NH_4^+ .

У діапазоні рН від 7,2 до 12 у розчині переважає іон HPO_4^{2-} , однак при рН вище 9,2 концентрація вільного аміаку починає перевищувати концентрацію іонів NH_4^+ , отже, в діапазоні рН 7,2–9,2 в рівновазі знаходяться такі комплекси:



При рН > 12 у розчині переважно знаходяться NH_3 й іони PO_4^{3-} , однак не можна сказати, що в розчині наявні іони водню H^+ , оскільки реакційне середовище сильнолужне. Отже, найбільш імовірний механізм рівноважної реакції при рН вище 12 подається так:



Під час аналізу отриманих експериментальних даних видно, що при низьких початкових значеннях рН величина рН у ході утворення осаду магнійамонійфосфату зменшується, що свідчить про механізм протікання реакції з утворенням іонів водню H^+ ; при високих початкових значеннях

рН ця величина в ході реакції збільшується, що підтверджує запропонований механізм реакції з утворенням іонів OH^- . Крім того, запропонований механізм рівноважної реакції під час осадження магнійамонійфосфату в лужному середовищі пояснює низький ступінь очистки стічної води від іонів амонію при рН > 11. У разі надлишку іонів OH^- рівновага реакції зміщується в бік утворення вихідних компонентів, що супроводжується розчиненням осаду магнійамонійфосфату й виділенням іонів амонію в рідку фазу.

Аналіз даних щодо швидкості процесу утворення осаду магнійамонійфосфату на початковій стадії, що оцінюється за величиною світлопропускання через суспензію, показав, що утворення часток магнійамонійфосфату відбувається швидко та закінчується практично за 10 с. Чим вища величина рН у процесі реакції, тим швидше протікає процес утворення часток осаду. Це пов'язано зі зменшенням розчинності магнійамонійфосфату в разі збільшення величини рН до певних меж (рН = 10,5). Однак високі значення рН (8,5–11) негативно впливають на швидкість процесу седиментації отриманої суспензії, оскільки лужне середовище призводить до низької розчинності осаду та високого пересичення. Це сприяє високій швидкості зародкоутворення й низькій швидкості росту кристалів, що, у свою чергу, призводить до утворення дрібнодисперсної суспензії, яка повільно відстоюється та фільтрується.

5. Дослідження впливу режиму подачі реагентів на процес осадження магнійамонійфосфату

Для створення невеликого пересичення й одержання крупнокристалічного осаду проведено експерименти з дозованою подачею реагентів за допомогою перистальтичного насоса при оптимальній величині рН = 8,5, також вивчена черговість подачі реагентів. За прямим порядком подачі реагентів до розчину, що містить іони NH_4^+ і PO_4^{3-} та луг, подавали розчин, що містить іони Mg^{2+} . При зворотному порядку подачі реагентів до розчину, що містять іони NH_4^+ і Mg^{2+} , подавали розчин, що містить іони PO_4^{3-} та луг [3, с. 194].

Результати експериментів з різними способами подачі реагентів показали, що ступінь очистки від іонів амонію в усіх експериментах (досліди № 6–9, таблиця 1) був високим, причому його значення були практично однаковими (91–94%). Хімічна реакція завершилася протягом 120–180 с для всіх режимів подачі реагентів.

Різкі зміни величини рН на самому початку процесу в разі миттєвої подачі реагентів (досліди № 6, 8, таблиця 1) пов'язані з недостатнім масообміном у реакторі в початковий момент процесу

й рівновагою, що не встановилася, при додаванні осаджувального реагенту в реактор. У разі прямої дозованої подачі реагентів величина рН плавно знижується за рахунок подачі розчину $MgCl_2$ до лужного розчину, який містить іони NH_4^+ і PO_4^{3-} , до моменту досягнення рівноваги. У разі потрапляння в реактор уже невеликого надлишку розчину $MgCl_2$ величина рН починала різко падати до припинення подачі розчину й устанавлення рівноваги. У разі зворотної дозованої подачі осаджувальних реагентів величина рН у реакторі збільшувалася з подачею лужного розчину, що містить іони NH_4^+ і PO_4^{3-} , до настання моменту насичення та початку масової кристалізації осаду (індукційний період), після чого спостерігалось зниження величини рН. При подальшій подачі лужного розчину величина рН у реакторі збільшувалася до припинення подачі розчину й устанавлення рівноваги.

Процес утворення часток осаду магнійамонійфосфату протікав швидко, причому в експериментах із миттєвою подачею реагентів час досягання максимально досяжного ступеня хімічного осадження становив менше ніж 2 с. Більш тривалий час був потрібен у разі поступової подачі реагентів (10–15 с), що пояснюється невисокою швидкістю подачі осаджувальних реагентів (дослід № 7 і 9, таблиця 1). Як і передбачалося вище, при зворотній дозованій подачі осаджувальних реагентів у зв'язку з низьким початковим значенням величини рН індукційний період є найбільш тривалим порівняно з іншими режимами подачі і становить 10–15 с. При прямій дозованій подачі реагентів утворення частинок магнійамонійфосфату відбувається практично відразу з моменту подачі розчину $MgCl_2$ в реактор, тобто процес масової кристалізації проходить у міру подачі розчину в реактор.

Найбільш високу швидкість седиментації мала суспензія, отримана шляхом зворотної дозованої подачі реагентів (дослід № 9, таблиця 1). Однак така суспензія виявилася полідисперсною (містила як великі, так і дрібні кристали). Це пов'язано з тим, що на початку подачі суміші розчинів Na_2HPO_4 та $NaOH$ у реактор величина рН була невисокою, що сприяло утворенню крупнокристалічного осаду. У процесі подачі реагентів до реакційної суміші величина рН збільшилася, що призвело до високої швидкості зародкоутворення та низької швидкості росту кристалів, а отже, й утворення дрібнокристалічного осаду. Суспензія, отримана при прямій дозованій подачі реагентів (дослід № 7, таблиця 1), була дрібнодисперсною, являла собою осад у вигляді пластивців і мала низьку швидкість седиментації. Це може бути пояснено високими початковими значеннями

величини рН під час осадження. У процесі осадження при поступовій подачі розчину $MgCl_2$ в реакційну суміш зберігається лужне середовище, що сприяє низькому розчиненню осаду магнійамонійфосфату й утворенню дрібнодисперсних часток.

Суспензії, отримані при миттєвій подачі реагентів, мають високі швидкості седиментації. Оскільки при миттєвій подачі рівновага встановлюється практично відразу після введення осаджувальних реагентів у реактор і величина рН у ході процесу вже практично не змінюється та залишається в оптимальному для осадження лужному діапазоні 8–9, утворюється крупнокристалічний монодисперсний осад. Суспензія, отримана при зворотній миттєвій подачі реагентів (дослід № 8, таблиця 1), мала трохи більшу швидкість седиментації в початковий момент часу, ніж при прямій миттєвій подачі (дослід № 6, таблиця 1). Це пов'язано з дещо меншим значенням кінцевої величини рН при осадженні в досліді № 8.

Отже, на дисперсність осаду магнійамонійфосфату мало впливає швидкість подачі реагентів і концентрація компонент, істотно – рівень пересичення, що визначається передусім величиною рН. Швидкості зародкоутворення та росту кристалів магнійамонійфосфату під час процесу кристалізації змінюються суворо відповідно до зміни величини рН, і для одержання монодисперсного осаду величина рН при осадженні повинна бути однаковою в ході всього процесу кристалізації. При цьому величина рН повинна знаходитися в такому діапазоні, котрий би забезпечував як високий ступінь очистки, так й утворення крупнокристалічного осаду.

Також проведені експерименти з вивчення впливу надлишку осаджувальних реагентів щодо амонію при прямій і зворотній подачі реагентів (дослід № 10–11, таблиця 1). Більш високий ступінь очистки (95%) досягається при прямій подачі реагентів з невеликим надлишком (6,7%), тобто при подачі розчину $MgCl_2$ до суміші розчинів NH_4Cl , Na_2HPO_4 та $NaOH$. Це пов'язано з різним механізмом протікання реакції в початковий момент процесу. При зворотній подачі осаджувальних реагентів величина рН у початковий момент часу є невисокою, і реакція осадження магнійамонійфосфату відбувається за механізмом з утворенням іонів H^+ , що трохи збільшує розчинність осаду. При прямій подачі значення величини рН у початковий момент часу лежить у лужному діапазоні, і реакція осадження протікає за механізмом без утворення іонів водню.

Отже, аналіз отриманих результатів щодо виділення амонійного азоту зі стічної води показав, що оптимальним режимом осадження магнійамо-

Результати експериментів з переробки стічної води при різних величинних рН і реагентних режимах

№ з/п	Співвідношення об'ємів реагентів до об'єму стічної води, м ³ /м ³		рН _{поч}	рН _{кін}	τ _{х.р.} , с	τ _{х.о.} , с	С _{вих} (NH ₄ ⁺), г/л	С _{кін} (NH ₄ ⁺), г/л	X, %	Примітка
	Na ₂ HPO ₄	MgCl ₂								
1	1,00	1,00	7,85	5,72	180	10	2	0,761	61,9	Миттєва подача MgCl ₂ в розчині NH ₄ Cl і Na ₂ HPO ₄ . Стехіометричне співвідношення реагентів.
2			9,73	8,52	130	10	2	0,090	95,5	
3			10,42	10,26	40	2	2	0,087	95,6	
4			10,27	10,56	–	2	2	0,14	93,1	
5			12,38	12,29	–	2	2	1,18	59	
6			10,5	8,53	50	2	2	0,176	91,2	
7	1,00	1,00	10,33	8,01	110	10	2	0,133	93,3	Дозована подача MgCl ₂ в розчині NH ₄ Cl і Na ₂ HPO ₄ . Стехіометричне співвідношення реагентів.
8			6,86	8,12	70	2	2	0,176	91,2	Миттєва подача Na ₂ HPO ₄ і NaOH у розчині NH ₄ Cl і MgCl ₂ . Стехіометричне співвідношення реагентів.
9			6,54	8,68	150	15	2	0,127	93,6	Дозована подача Na ₂ HPO ₄ і NaOH у розчині NH ₄ Cl і MgCl ₂ . Стехіометричне співвідношення реагентів.
10	1,07	1,07	10,43	8,23	–	2	2	0,106	94,7	Миттєва подача MgCl ₂ в розчині NH ₄ Cl і Na ₂ HPO ₄ . Надлишок реагентів – 6,7%.
11			6,62	8,1	–	2	2	0,154	92,3	Миттєва подача Na ₂ HPO ₄ і NaOH у розчині NH ₄ Cl і MgCl ₂ . Надлишок реагентів – 6,7%
12	0,05	0,05	9,61	8,42	150	30	0,1	0,047	53,1	Миттєва подача MgCl ₂ в розчині NH ₄ Cl і Na ₂ HPO ₄ . Стехіометричне співвідношення реагентів.
13	5,00	5,00	10,53	8,29	25	2	10	0,73	92,6	
14	25,00	25,00	10,51	5,42	15	2	50	1,89	96,2	
15	1,00	1,00	9,5	8,0	–	–	2	0,667	66,7	Миттєва подача MgCl ₂ в розчині NH ₄ Cl і Na ₂ HPO ₄ . Стехіометричне співвідношення реагентів. Температура дослідів – 81°C

нійфосфату є режим прямої миттєвої подачі реагентів-осаджувачів з невеликим надлишком щодо іонів амонію. Наведений режим забезпечує як високий ступінь очистки стічної води (95%), так і високу швидкість хімічного осадження та седиментації отриманої суспензії.

Висновки. У процесі дослідження можемо резюмувати таке:

1. Досліджено процес виділення й утилізації амонійного азоту зі стічних вод методом осадження магнійамонійфосфату. Вивчено закономірності процесу хімічного осадження. Установлено, що максимальний ступінь очистки стічних вод від іонів амонію методом осадження магнійамонійфосфату за допомогою гідрофосфату натрію та хлориду магнію (понад 95%) досягається в діапазоні рН 8,5–10 і при невеликому надлишку осаджувальних реагентів (5%).

2. Виявлено, що на швидкість зародкоутворення та зростання кристалів насамперед впливає не швидкість подачі й концентрація реагентів, а рівень пересичення в процесі кристалізації, який визначається передусім величиною рН. Оптимальним режимом осадження магнійамонійфосфату є режим прямої миттєвої подачі реагентів, що полягає в додаванні до стічної води спочатку розчину Na_2HPO_4 і розчину NaOH , а потім розчину MgCl_2 . Цей спосіб подачі реагентів забезпечує високий ступінь очистки стічної води, високу швидкість хімічного осадження й седиментації отриманого осаду магнійамонійфосфату.

3. Установлено, що проведення процесу при підвищеній температурі призводить до зниження ступеня очистки стічної води та утворення дрібнодисперсної суспензії магнійамонійфосфату.

Список літератури:

1. Золотарьова О.В., Лаврухіна А.І. Дослідження закономірностей процесу виділення амонійного азоту зі стічних вод методом осадження. *Wykształcenie i nauka bez granicy – 2018: Nauka i studia: materiały XIV Międzynar. nauk.-prakt. konf., 7–15 grudnia 2018. Przemysł, 2018. Str. 71–73.*

2. Лобанов С.А. Технология выделения и утилизации аммонийного азота из сточных воды химических предприятий: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.17.01 / ПГТУ. Пермь, 2007. 111 с.

3. Лобанов С.А., Тимаков М.В., Пойлов В.З. Перспективные способы очистки сточных вод от ионов аммония. *Высокие технологии в промышленности России и методические особенности преподавания в техническом вузе: материалы Региональной научно-практической конференции, 6–8 апреля 2004 г. Березники: БФ ПГТУ, 2004. С. 192–195.*

4. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот): монография. Ленинград: Химия, 1974. 768 с.

5. Кобецька Н.Р. Екологічне право України: навчальний посібник. Київ: Юрінком Інтер, 2008. 352 с

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ АММОНИЙНОГО АЗОТА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ

Статья посвящена возможности выделения и утилизации аммонийного азота из сточных вод химических предприятий его осаждением в виде нерастворимого соединения – гексагидрата магнийаммонийфосфата (МАФ), который используется в качестве минерального удобрения. Данная технология представляет интерес в первую очередь для предприятий, которые производят азотные удобрения. В последние годы наблюдается значительное повышение условий к содержанию аммонийного азота в воде природных водоемов. Соблюдение таких жестких условий возможно только при условии повышения эффективности выделения соединения азота из сточных вод, которые сбрасываются в водоемы.

Ключевые слова: аммонийный азот, гексагидрат магнийаммонийфосфат, минеральные удобрения, реактив Несслера, химическое осаждение, дисперсность.

RESEARCH ON PATTERNS OF ALLOCATION PROCESSES OF AMMONIUM NITRATE FROM THE EFFLUENTS OF CHEMICAL FACILITIES USING A PROCEDURE FOR DEPOSITION

The article focuses on the possibility of the allocation and utilization of ammonium nitrate from the effluents of chemical facilities by its deposition in the form of an insoluble compound – magnesium ammonium phosphate hexahydrate (MAPH), which is used as mineral fertilizer. This technology is primarily of interest for the facilities that produce nitrogen fertilizers. In recent years, there has been a significant increase in the requirements for the content of ammonium nitrate in water of the natural reservoirs. Compliance with such stringent requirements is possible only if the efficiency of the nitrogen compound allocation from the effluents discharged into the reservoirs is increased.

Key words: ammonium nitrate, magnesium ammonium phosphate hexahydrate, mineral fertilizers, Hessler's reagent, chemical deposition, dispersion.

УДК 661.152.4

Іванченко А.В.

Дніпровський державний технічний університет

Судакова Д.О.

Дніпровський державний технічний університет

Гром А.О.

Дніпровський державний технічний університет

Крюковська О.А.

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

Стаття присвячена дослідженню технології одержання біогазу з рослинної сировини та його впливу на організм людини. Зазначено актуальність проблеми переробки рослинної сировини та впливу під час виробництва біогазу на організм людини. Розроблено новий спосіб інтенсифікації процесу анаеробного зброджування. На підставі експериментальних досліджень доведено, що найбільший об'єм біогазу виділяється під час використання як сировини рослинних відходів і молочної сироватки. Отриманий біогаз можна повторно використовувати у виробництві.

Ключові слова: біогаз, метан, охорона праці, біогазова установка, анаеробне зброджування.

Постановка проблеми. В Україні гостро стоїть основна проблема у сфері екології – це забруднення навколишнього середовища відходами [1, с. 314].

Перспективною вважається необхідність одержання нового джерела енергії в умовах енергетичної кризи. Упровадження технологій одержання біогазу в Україні тільки набуває поширення.

Забезпечення здорових і безпечних умов праці стає одним із пріоритетів політики Європейського Союзу. Україна як член європейської спільноти дотримується принципів охорони праці, які відображені в законодавстві Євросоюзу, про охорону праці, зокрема Рамкової директиви (Ради щодо запровадження заходів заохочення поліпшення безпеки та охорони здоров'я працівників на роботі № 89/391/ЄЕС) [2, с. 40].

Будь-яке середовище, в якому перебуває людина, особливе виробниче, є джерелом потенційних небезпек. Очевидно, що кожна потенційна небезпека має свою матеріальну основу. Зберігаючи традиційні назви для виробничих чинників, можемо вважати, що матеріальна основа потенційної небезпеки є небезпечним чи шкідливим чинником для здоров'я людини. Небезпечний чинник за певних умов може призвести до травм на виробництві [3, с. 1].

Вільне розповсюдження біогазу в атмосферному повітрі викликає низку негативних ефектів, зумовлених токсикологічними властивостями компонентів біогазу.

Хімічний склад біогазу на біогазових установках представлений на рисунку 1.

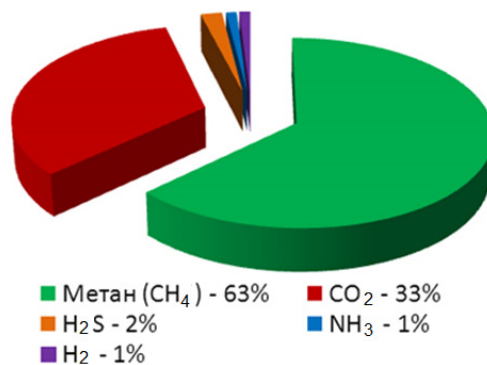


Рис. 1. Хімічний склад біогазу установок анаеробної переробки відходів

Потрапляючи в організм людини через дихальні шляхи, отруйні речовини проникають у систему кровообігу, вражаючи життєво важливі органи, впливають на метаболізм майбутніх матерів, можуть викликати дефекти розвитку плода і знизити здатність до відтворення потомства.

Підвищений уміст вуглекислого газу є причиною виникнення ацидозу, що викликає зміну кислотно-лужної рівноваги організму. Утворення й виділення біогазу на полігонах відбувається безперервно протягом кількох десятків років до повного закінчення процесів метанового бродіння, тому люди, які проживають поблизу полігонів, перебувають у зоні постійного впливу біогазу [4, с. 60].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Анаеробне зброджування – процес мінералізації органічної речовини осадів в анаеробних умовах, що супроводжується посиленням газовиділенням, також застосовують для стабілізації осадів. Анаеробне зброджування – складний мікробіологічний процес мінералізації, в ході якого органічна речовина без доступу повітря трансформується в газоподібний метан (CH_4) та діоксид вуглецю (CO_2) [5, с. 4].

Фактори, що впливають на процес анаеробної переробки промислових відходів: температура, вміст кислот, рН, буферні властивості, інгібітори, живильне середовище, склад газу, концентрація твердих частинок [6, с. 14].

Методи інтенсифікації процесу анаеробної переробки промислових відходів: мікробіологічні методи інтенсифікації процесу метанового зброджування (коферментація, нові штами мікроорганізмів, добавки, що стимулюють процеси окислення, іммобілізація мікроорганізмів на носії), конструктивно-технологічні методи інтенсифікації процесу метанового зброджування (підготовка сировини, перемішування, температура, підігрів) [7, с. 1].

Аналіз технічної літератури свідчить про те, що необхідне розроблення нового способу інтенсифікації процесу анаеробного зброджування.

Становить науковий інтерес аналіз впливу основних компонентів біогазу, а саме метану та карбон (IV) оксиду, на організм людини.

Метан, що входить до складу біогазу, практично не отруйний у невеликих кількостях. Він легший за повітря, легко запалюється й утворює з повітрям або киснем вибухову суміш. У разі витоку за наявності вентиляції газ випаровується без будь-яких наслідків.

Дослідження впливу CO_2 на самопочуття людей показали, що при високих концентраціях цього газу в повітрі проявляється значне зниження уваги й виникає хронічна втома. Більше того, вуглекислий газ стає причиною підвищеної захворюваності людей, передусім страждають носоглотка та дихальні шляхи, підвищується кількість астматичних нападів.

Біогаз у суміші з повітрям у пропорції від 5% до 15% за наявності джерела запалення з температурою $600\text{ }^\circ\text{C}$ або більше може призвести до вибуху. Відкритий вогонь небезпечний при концентраціях біогазу в повітрі більше ніж 12%. Забороняється куріння й розведення вогню біля установки. Під час проведення зварювальних робіт відстань до газового обладнання повинна бути не меншою за 10 м [8, с. 1].

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу шкідливих чинників на стан здоров'я, а саме вплив шкідливих чинників на організм людини під час виробництва біогазу на біогазових установках.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення експериментів складено лабораторну установку для отримання біогазу, схема якої зображена на рисунку 2.

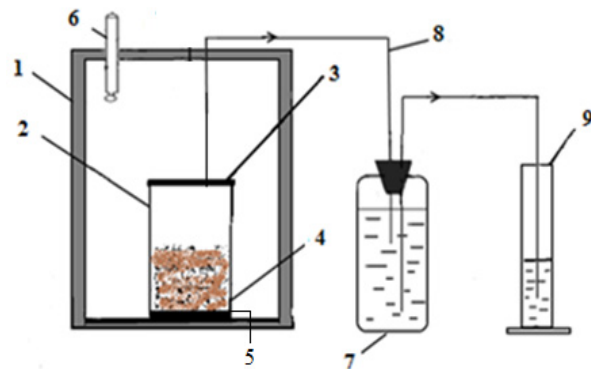


Рис. 2. Схема лабораторної установки одержання біогазу: 1 – герметичний теплоізолюючий ковпак; 2 – біореактор; 3 – кришка герметична; 4 – нагрівач із терморегулятором; 5 – електроживлення; 6 – термометр; 7 – приймач газу; 8 – трубопровід відводу газу; 9 – циліндр для вимірювання об'єму води

Експеримент проводили у скляному реакторі ємністю 1 дм^3 , щільно закритому гумовою пробкою, до якого приєднували герметичну ємність для збирання біогазу та циліндр для вимірювання об'єму витісненої біогазом води.

Підтримку постійної температури мезофільного режиму зброджування виконували завдяки нагрівачу з терморегулятором. Для мінімізації теплових утрат біореактора використовували пінопластовий ковпак, товщиною стінки 20 мм.

Дослідження проводили так. У біореактор 2 завантажували вихідну сировину, герметично закривали кришкою 3 з трубопроводом для відводу газу 8, що з'єднував реактор 2 та приймач біогазу 7. Приймач біогазу 7 заповнювали водою. До біореактора 2 приєднували нагрівач із тер-

морегулятором 4 до електроживлення 5 і накривали герметичним теплоізолюючим ковпаком 1. Після цього всі з'єднувальні канали перевіряли на герметичність. Об'єм біогазу заміряли за обсягом витісненої рідини (води) з приймача газу 7 у циліндр 9. Щодоби в мірному циліндрі з водою контролювали об'єм біогазу, який утворився.

При цьому під ковпаком 1 підтримувалась температура 33 °С [9, с. 120].

Залежність виходу біогазу від тривалості процесу анаеробного зброджування під час застосування як сировини рослинних відходів показано на рисунку 3.

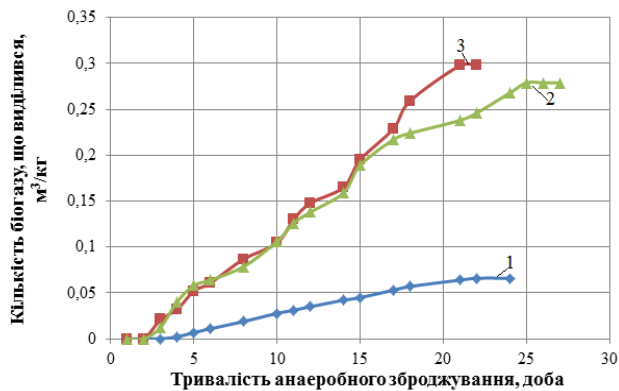


Рис. 3. Залежність виходу біогазу від тривалості процесу анаеробного зброджування під час застосування як сировини рослинних відходів: 1 – без додавання сироватки; 2 – з додаванням сироватки у співвідношенні «рослинні відходи:сироватка» 2:1; 3 – з додаванням сироватки у співвідношенні «рослинні відходи:сироватка» 1:1

Експериментально доведено, що найбільший об'єм біогазу виділяється в разі використання як сировини рослинних відходів і молочної сироватки у співвідношенні «рослинні відходи:сироватка» 1:1. Додавка сироватки призводить до підвищення виходу біогазу у 4,2 рази. Установлено, що додавання сироватки призводить до скорочення часу перебування сировини в реакторі анаеробного зброджування з 27 до 22 діб.

При цьому встановлено, що вологість сировини без додавання сироватки до зброджування становила 74,3%, а після зброджування – 79,6%. Вологість сировини з додаванням сироватки у співвідношенні «рослинні відходи:сироватка» 1:1 до зброджування становила 88,5%, а після – 91,2%.

Біогаз у суміші з атмосферним повітрям може вибухнути, якщо процент його вмісту в загальній сумі становить близько 6–12% і водночас з'являється джерело запалення, що має температуру більше ніж 700 °С. Крім того, небезпека вибуху виникає й у разі суміші біогазу з повітрям,

коли вміст біогазу в ній більший ніж 12%. Можливе запаморочення внаслідок отруєння, при вдиханні в легені біогазу достатньою концентрацією.

Залежність виходу CH_4 і CO_2 від часу представлена на рисунку 4.

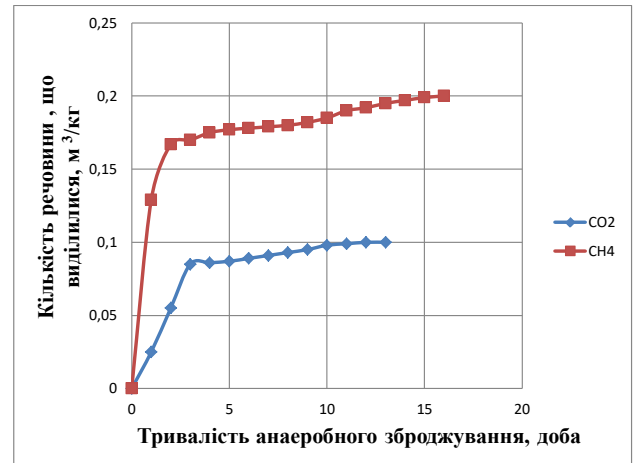


Рис. 4. Залежність виходу CH_4 і CO_2 від тривалості процесу анаеробного зброджування

Метан, що виділяється під час бродіння сировини, у великих концентраціях надає наркотичної дії. Він впливає за принципом анестезуючих препаратів: знижуються чутливість і показники артеріального тиску [3, с. 1].

Надзвичайно важливо стежити за вмістом CO_2 в приміщеннях. Підвищений уміст вуглекислого газу знижує продуктивність праці працівників і негативно позначається на їхньому здоров'ї.

Найбільш економічно ефективним рішенням має стати уловлювання й безпосереднє використання діоксид вуглецю як робочого тіла. По-перше, холодоагент CO_2 все ширше використовується в холодильних установках, не має кольору, запаху та важчий за повітря. По-друге, застосування CO_2 надзвичайно перспективно не тільки через простоту його отримання, а й тому, що використання цього газу в різних агрегатних станах (газ, рідина, тверде речовина) дає змогу вирішувати різні технологічні завдання. При цьому зневоднений діоксид вуглецю (як газоподібний, так і рідкий) не наражає на корозії метали [10, с. 22].

Перед запуском біогазова установка повинна проходити процес прийняття експертом для включення.

Висновки. На основі обробки відомих теоретичних та отриманих експериментальних даних рекомендовано таке вдосконалення промислової технології отримання біогазу: додавання молочної сироватки рослинної сировини при співвідношенні 1:1, що дає можливість ско-

ротити час перебування продуктів переробки в реакторі одержання біомінерального добрива з 27 до 22 діб.

Результати роботи дають змогу зробити висновок, що розроблення технологій переробки вторинної сировини в якісні біомінеральні добрива є новим і перспективним науковим напрямом.

До складу біогазу входять CO_2 і CH_4 . Метан, що входить до складу біогазу, практично не отруйний. Він легший за повітря, легко запалюється й утворює з повітрям або киснем вибухову суміш. У разі витoku за наявності вентиляції газ випарується без будь-яких наслідків.

CO_2 входить до складу біогазу, теж може накопичуватись у глибоких виїмках, оскільки він важ-

чий за повітря, за наявності нещільності в установці викликає небезпеку задухи.

Орган, який видає дозвіл перед запуском біогазової установки, повинен отримати свідоцтво про перевірку на непроникність газгольдера до вказівок міцності на розрив, а також для підтвердження газопроникності щодо метану і стійкості використаного матеріалу плівки до температури необхідно надати зразок матеріалу плівки. Крім того, обов'язковою є наявність протоколу про прийняття експертом у газовій галузі, який би свідчив, що газова установка, включаючи всі газопроводи, відповідає всім загальноприйнятим правилам безпеки техніки. Також має бути підтвердження фахівця з електротехніки, що електричне обладнання відповідає вимогам безпеки експлуатації.

Список літератури:

1. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. Москва, 2015. 314 с.
2. Директива № 89/391/ЄЕС Ради: директиви 2007/30/ЄС Європарламенту та Ради від 20 червня 2007. База даних «Законодавство України». URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b23 (дата звернення: 20.09.2018).
3. Техника безопасности и запуск в работу биогазовой установки. *Книги о биогазе: практическое пособие*. URL: <http://www.rosbiogas.ru/literatura/biogazovie-ustanovki-prakticheskoe-posobie/tehnika-bezopasnosti-i-zapusk-v-rabotu-biogazovoj-ustanovki.html> (дата обращения: 01.10.2018).
4. Бичелдей Т.К. Биогаз как антропогенный фактор воздействия на человека: дисс. ... канд. биол. наук: спец. 03.02.08. Москва, 2011. 199 с.
5. Сорокіна К.Б., Козловська С.Б. Технологія перероблення та утилізації осадів: навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2012. 226 с.
6. Баадер Б.А, Доне Е.В., Бренндерфер М.А. Теория и практика: учебное пособие. Москва, 1982. 148 с.
7. Руководство по биогазу. От получения до использования. Гюльцов, 2012. URL: http://esco-ecosys.parod.ru/2012_9/art272.pdf (дата обращения: 01.10.2018).
8. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: Постановление Госгортехнадзора России от 21 июля 2000 года № 42. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901837143> (дата обращения: 25.10.2018).
9. Іванченко А.В. Використання молочної сироватки в технології одержання біомінеральних добрив з відходів. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2018. № 1 (32). С. 119–127.
10. Гафуров А.М. Способ утилизации тепловых вторичных энергоресурсов промышленных предприятий для выработки электроэнергии. *Известия высших учебных заведений «Проблемы энергетики»*. 2016. № 11–12. С. 37–43.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Статья посвящена исследованию технологии получения биогаза из растительного сырья и его влияния на организм человека. Указана актуальность проблемы переработки растительного сырья и влияния при производстве биогаза на организм человека. Разработан новый способ интенсификации процесса анаэробного сбраживания. На основании экспериментальных исследований доказано, что наибольший объем биогаза выделяется при использовании в качестве сырья растительных отходов и молочной сыворотки. Полученный биогаз можно повторно использовать в производстве.

Ключевые слова: биогаз, метан, охрана труда, биогазовая установка, анаэробное сбраживание.

**STUDYING THE PROCESS OF BIOGAZES FROM PLANT MIXTURES
AND ITS IMPACT ON HUMAN ORGANISM**

The article is devoted to the study of technology of production of biogas from plant raw materials and its influence on the human body. The urgency of the problem of processing of plant raw materials and the effect of biogas production on the human body have been noted. A new way of intensifying the process of anaerobic digestion has been developed. Based on experimental studies, it is proved that the largest volume of biogas is released when vegetable waste and serum are used as raw material. The resulting biogas can be reused in production.

Key words: *biogas, methane, labor protection, biogas plant, anaerobic digestion.*

УДК 658.502.174

Маркіна Л.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Крива М.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ГУМО-ТЕХНІЧНИХ ВІДХОДІВ

У статті проведено моделювання технологічних режимів рециркуляції парогазової суміші в багатоконтурній циркуляційній системі (БЦС) шляхом керування парорідинною рівновагою матеріальних потоків. Результатами дослідження є забезпечення екологічної безпеки процесу за рахунок оптимізації температурних режимів конденсації багатокомпонентної парогазової суміші на контурах залежно від константи рівноваги.

Ключові слова: багатоконтурний циркуляційний піроліз, багатоконтурна циркуляційна система, рециркуляція, константа фазової рівноваги, склад фракцій, оптимізація, матеріальний баланс.

Постановка проблеми. Проблеми утилізації гумо-технічних відходів (далі – ГТВ) гостро постають сьогодні у світі, оскільки обсяг останніх безперервно збільшується. З погляду екологічної безпеки найбільш перспективним методом утилізації є піролізні технології, що дають змогу не тільки вирішити екологічні проблеми, а й забезпечити високу рентабельність переробних виробництв з отриманням цінних продуктів, таких як альтернативне паливо.

Термічна деструкція ГТВ в піролізному обладнанні характеризується виділенням мономерів каучуку, які схильні утворювати різноманітну суміш високомолекулярних речовин, а також більш стабільні, стійкі з'єднання, серед яких – гетероатомні сполуки: сірко-, азото- та кисневмісні компоненти.

Потрапляння таких речовин до складу кінцевих фракцій різко погіршує експлуатаційні якості отриманих альтернативних палив, а також становить екологічну небезпеку для людей і довкілля, оскільки є ризик утворення токсичних сполук у продуктах горіння кінцевих фракцій.

Тому деструктивні перетворення під час термічної утилізації ГТВ необхідно контролювати, змінюючи основні параметри проведення процесу з метою отримання високоцінних фракцій і кінцевих продуктів з високою теплотворною здатністю. Це дасть можливість забезпечити екологічність процесу, запобігти потраплянню шкідливих і токсичних компонентів у кінцеві продукти, а також поліпшити їх якість за рахунок варіювання компонентним складом.

Для вирішення поставлених завдань і забезпечення екологічно безпечної утилізації ГТВ про-

водиться дослідження на лабораторній установці за технологією багатоконтурного циркуляційного піролізу (далі – БЦП) [1], яка розроблена та запатентована вченими Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв).

Прогнозування виходу, вуглеводневого складу, а також фізико-хімічних характеристик фракцій, отриманих у результаті утилізації гумо-технічних відходів за технологією БЦП, здійснюється на основі вибору оптимального режиму роботи контурів багатоконтурної циркуляційної системи.

Оптимальний режим роботи контурів – це залежність температури від константи рівноваги, що безпосередньо дає можливість визначити кількісний і якісний склад розділених фракцій на кожному контурі БЦС.

Отримання такої залежності дає змогу визначити умови, за яких будуть досягатися необхідні значення найважливіших показників якості для отримання конкурентоспроможного альтернативного палива, а також для проведення процесу утилізації відходів в екологічно безпечному режимі

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досвід розвинутих країн і методи, що вони використовують, можуть бути основою для створення технологій щодо знешкодження гумотехнічних відходів.

У роботах [2; 3] представлені дослідження методу сопіролізу з використанням біомаси та відпрацьованих шин. Для отримання повноцінної рідкої фракції необхідні коригування типів і співвідношень сировини, однак у статті таких співвідношень не виявлено.

Дослідження [4; 5; 6] базуються на вирішенні проблеми утилізації відпрацьованих шин методом піролізу в лабораторних умовах. Отримані результати щодо характеристик піролізного рідкого палива, безумовно, відповідають нормам і можуть бути конкурентоспроможними, однак сумніву піддається обладнання для його отримання.

Робота [7] використовує контрольовану технологію нагрівання мікрохвильової печі для піролізу гумових шин з отриманням піромасла. Для ініціювання піролізу доданий мікрохвильово-поглинаючий матеріал – активоване вугілля, за рахунок чого досягається отримання висококалорійного піромасла.

У результаті проведеного огляду робіт з'ясовано, що установки для утилізації гумових відходів – це великі й металоемні апарати, що вимагають великих капіталовкладень, більш того, це ще й енергоємний процес. На очищення кінцевого продукту може витратитися до 70% усієї енергії. Тому стає нагальною проблема розроблення найбільш економічної технології поділу продуктів піролізу відходів. При збільшенні кількості компонентів, що розділяються, збільшується й кількість варіантів їх поділу [8], що відрізняються один від одного енерговитратами.

Недосконалість наявних методів термічної утилізації зношених автошин спонукає до вдосконалення технологій піролізу із забезпеченням максимально можливої екологічності технологічних процесів і повного використання всіх відходів виробництва – наближення до створення безвідходних технологій.

Постановка завдання. Мета статті – забезпечення екологічної безпеки термічної утилізації гумо-технічних відходів шляхом керування парорідинною рівновагою на контурах багатоконтурної циркуляційної системи (далі – БЦС).

Для досягнення мети дослідження поставлено такі завдання:

- розроблення математичної моделі процесу рециркуляції та встановлення парогазової рівноваги під час розділення потоків багатокомпонентної ПГС на контурах БЦС;

- розроблення методики розрахунку константи рівноваги та визначення складу й енергетичного потенціалу сконденсованих фракцій для екологічно безпечної утилізації ГТВ за технологією БЦП;

- визначення залежності константи рівноваги від температури конденсації на кожному контурі БЦС і визначення оптимальних робочих параметрів контурів охолодження, що забезпечують підвищення глибини відбору цільових компонентів;

- підтвердження адекватності моделі з використанням експериментального стенду ЕУ БЦП-14.

Виклад основного матеріалу дослідження. Технологія БЦП – це система піролізного реактора – багатоконтурна циркуляційна система (далі – БЦС).

Механізм роботи БЦС являє собою безпервну зміну концентрації рідких і парогазових потоків уздовж усієї поверхні контакту фаз. З іншого боку, конструктивне оформлення БЦС полягає в тому, що контури діють як ряд цілком самостійних одиниць контакту для парогазових і рідких потоків високомолекулярних вуглеводнів, що зустрічаються та перемішуються впродовж усього руху по БЦС.

При переході від складу фаз в одному міжконтурному відділенні до складу фаз в сусідньому за кількісну основу приймається **гіпотеза теоретичного контуру** (сходинки) [9], що базується на поступовому розрахунку концентрації узагальнених компонентів від контуру до контуру за матеріальними балансами.

Багатокомпонентна парогазова суміш умовно розглядається як бінарна, яка складається з легкого й важкого ключових компонентів (далі – ЛКК і ВКК). Установлення парорідинної рівноваги відповідає збагаченню рідкої фази важкими висококиплячими ключовими компонентами (далі – ВКК), а парової фази – збагаченню легкокиплячими ключовими компонентами (далі – ЛКК).

Сутність процесів, які проходять у БЦС (рис. 1), та одержувані при цьому результати можна простежити за допомогою $t - x' - y'$, на якій значенню x'_i відповідає мольна концентрація компонента в рідкій фазі, а значенню y'_i – мольна концентрація компонента ЛКК в парогазовій фазі.

На першому контурі відбувається охолодження первинної ПГС G кмоль зі складом x'_i до температури 350°C, у результаті чого отримаємо парогазову суміш G_1 зі складом y'_{i1} мольних часток ЛКК, яка знаходиться в рівновазі з сконденсованою важкою рідкою фракцією F_1 зі складом x'_{i1} .

Подальший перехід G_1 кмоль на другий контур із температурою охолодження 250°C призводить до її конденсації з отриманням рідкої фракції F_2 зі складом x'_{i2} , збагаченої ВКК ($x'_{i2} > x'_{i1}$). Утворена при цьому G_2 кмоль зі складом y'_{i2} мольних часток ЛКК потрапляє до третього контуру з температурою охолодження до 150°C, конденсація якої дає рідку фракцію F_3 з ще більшим умістом ВКК та має склад x'_{i2} .

Основні термодинамічні показники, що характеризують рівновагу термодинамічної системи та параметри потоку первинної ПГС

Параметр	Назва параметра	Т 450°C	Т 600°C	Розмірність в системі одиниць	
				СИ	Технічна
S	Ентропія	82627+01	97827+01	кДж/(кг-К)	ккал/(кг-К)
I	Ентальпія	-20879+04	-86983+03	кДж/кг	ккал/кг
U	Внутрішня енергія	-22960+04	-11854+04	кДж/кг	ккал/кг
M	Загальне число молей компонентів	75752+02	89687+02	моль/кг	моль/кг
C_p	Питома теплоємність при постійному тиску (заморожена)	22847+01	25873+01	кДж/(кг-К)	ккал/(кг-К)
C_p	Питома теплоємність при постійному тиску (рівноважна) C_p''	61695+01	97336+01	кДж/(кг-К)	ккал/(кг-К)
MU	Коефіцієнт динамічної в'язкості	24941-04	29297-04	Н-с/м ²	кгс-с/м ²
LT ^{'''}	Повний коефіцієнт теплопровідності	19428+01	20333+01	Вт/(м-К)	ккал/(м-час-К)
MM	Середня молярна маса	13201+02	11150+2	г/моль	г/моль
$C_{p,г}$	Питома теплоємність газової фази при постійному тиску (заморожена)	29995+01	36810+01	кДж/(кг-К)	ккал/(кг-К)
$M_{M,г}$	Середня молярна маса газової фази	14615+02	10234+02	г/моль	г/моль
R _г	Газова стала	56890+03	81244+03	кДж/(кг-К)	ккал/(кг-К)
Z	Масова доля всіх конденсованих фаз	49413	55512	1	1

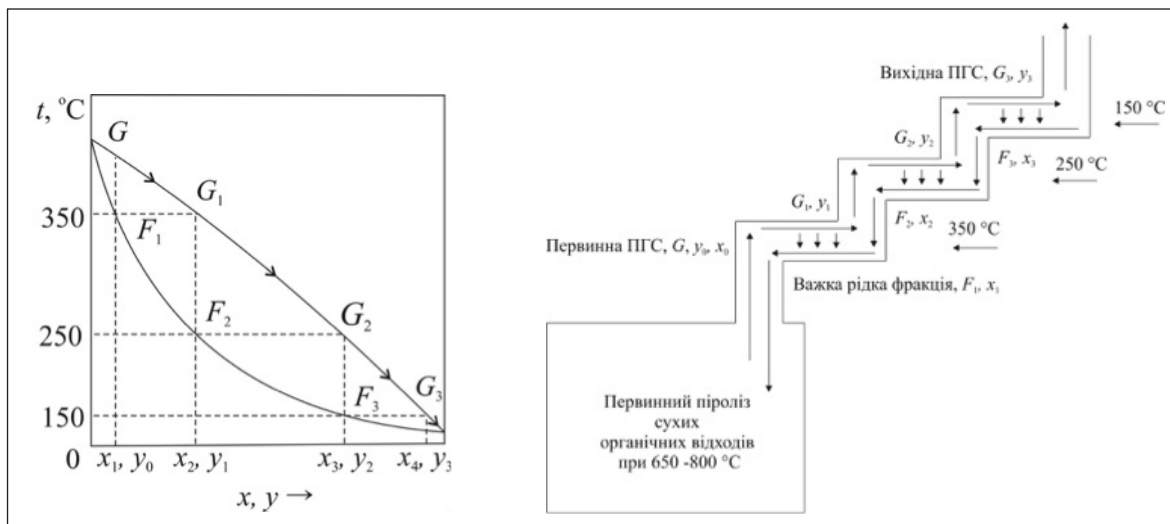


Рис. 1. Процес рециркуляції в триконтурній циркуляційній системі:
а – на діаграмі $t-x-y$; б – принципова схема матеріальних потоків на контурах БЦС

Отримана на третьому контурі фаза G_3 кмоль зі складом y'_{i2} мольних часток ЛКК, що являє собою практично чистий ЛКК, спрямовується до вихідного конденсатора з водяним охолодженням, де відбувається відділення цільової низькомолекулярної рідкої фракції зі складом x'_{i4} з молекулярною масою 200, та отриманням залишкового піролізного газу зі складом y'_{i4} , що є висококалорійним екологічно «чистим» енергоносієм.

Відділені від ПГС на кожному контурі важкі рідкі фракції повертаються до реактора, де

її взаємодія з висококиплячою рідкою фазою первинного піролізу супроводжується вибуховим кипінням і характеризується виділенням великої кількості теплової енергії. При цьому здійснюється глибока деструкція сконденсованих компонентів з утворенням вторинної ПГС більш легких речовин, що потрапляють разом із первинною ПГС до БЦС для подальшої рециркуляції.

Така безперервна циркуляція буде повторюватися до тих пір, доки вся кількість сировини, що

не прореагувала, не перетвориться в кінцеві продукти із заданими характеристиками.

Методика розрахунку константи рівноваги під час розділення багатоконпонентної парогазової суміші в БЦС

На кожному контурі процес розділення парогазової суміші (далі – ПГС) здійснюється за рахунок масо- та енергообміну між потоками й характеризується встановленням фазової рівноваги, за рахунок чого, власне, і здійснюється конденсація важких, небезпечних і нецільових компонентів. Регулювання процесом фазової рівноваги на окремо взятому контурі зумовлене такою величиною, як константа рівноваги.

Рівноважну ступінь перетворення за хімічними реакціями конденсації отримуємо з рівняння залежності константи рівноваги K_p від зміни стандартної енергії Гіббса G :

$$\ln K_p = -\Delta G^\circ / RT.$$

В основі таких розрахунків лежить рівняння ізотерми Вант-Гоффа. У свою чергу, ізобарно-термічний потенціал ΔG° залежить від зміни стандартних ентальпій ΔH° та ентропій ΔS° реакцій конденсації.

Оскільки в цьому випадку важлива зміна термодинамічних функцій, а не їх абсолютна величина, то необхідно мати точку відліку для подальшого проведення моделювання парорідинної рівноваги на контурах БЦС.

Для розрахунку константи рівноваги K_p на першому контурі такою точкою відліку приймаються основні термодинамічні показники (таблиця 1), що характеризують рівновагу системи та параметри вхідного двофазного потоку ПГС G кмоль, отриманого в результаті первинної деструкції гумо-технічних відходів у реакторі устаткування БЦП.

Основні термодинамічні показники визначені за допомогою програмного комплексу Астра 4 [10]. Також для розрахунків використовуються значення концентрацій основних складників парогазової суміші, що розраховані та опубліковані в роботі [11].

Значення конструкційних і режимних параметрів технологічного процесу БЦП, а також бруто-формули вихідної маси відходів за даними [12] представлені в таблиці 2.

Розрахунок здійснюється на основі методу Темкіна-Шварцмана [13], що базується на використанні закону Кірхгофа й емпіричних даних щодо теплоти реагуючих речовин. Згідно з рівнянням:

$$\left(\frac{\partial(\Delta H)}{\partial T} \right)_p = \Delta C_p. \quad (1)$$

Таблиця 2

Технологічні параметри процесу утилізації гумо-технічних відходів за технологією БЦП

Параметр	Показник
Елементний склад гумо-технічних відходів	Бруто-формула $C_{440,4}H_{634,9}O_{58,1}N_{57,2}S$
Теплотворна здатність (Q) потоку G	25232 кДж/кг
Об'єм реактора (V)	0,014 м ³
Тиск (P)	0,1013 мПа
Температура (T)	450-600 °С
Коефіцієнт надлишку повітря	0,05%

Інтегруючи його в межах від 298 К до T , отримаємо:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT. \quad (2)$$

Для зміни ентропії під час хімічної реакції ΔS можна написати:

$$dT(\Delta S) = \Delta C_p dT,$$

Звідки

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT. \quad (3)$$

Ці рівняння дають змогу врахувати вплив температури на ΔG° шляхом уведення інтегральних поправок:

$$\Delta D_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT - \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT. \quad (4)$$

або

$$\frac{\Delta D_T^0}{T} = \frac{\Delta H_{298}^0}{T} - \Delta S_{298}^0 - \left(\int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT - \frac{1}{T} \int_{298}^T \Delta C_p dT \right). \quad (5)$$

Останнє рівняння можна перетворити до більш зручного вигляду, для чого введемо допоміжні змінні:

$$\Delta C_p dT = du \quad u = \int \Delta C_p dT$$

$$\frac{1}{T} = \vartheta \quad \text{та (6). Тоді } \partial \vartheta = \frac{dT}{T^2}, \quad (7)$$

Оскільки справедлива рівність:

$$\int \vartheta du - u \vartheta = - \int u d\vartheta. \quad (8)$$

то вираз у дужках у рівнянні (5) можна замінити на:

$$\int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT - \frac{1}{T} \int_{298}^T \Delta C_p dT = - \int_{298}^T \frac{dT}{T^2} \int_{298}^T \Delta C_p dT. \quad (9)$$

та отримати остаточно:

$$\frac{\Delta D_T^0}{T} = \frac{\Delta H_{298}^0}{T} - \Delta S_{298}^0 - \int_{298}^T \frac{dT}{T^2} \int_{298}^T \Delta C_p dT. \quad (10)$$

Отже, розрахункове рішення рівняння (10) дає змогу отримати значення константи рівноваги на першому контурі. Далі за допомогою методики розрахунку фазової парорідинної рівноваги багатоконпонентної ПГС на контурах БЦС визнача-

емо склад і мольний потік рідкої та парової фаз, що розділися на першому контурі.

Константу рівноваги для другого, третього й четвертого контурів визначаємо за допомогою рівняння 10 підстановкою значень теплового ефекту і зміни ентропії, а також аналітичного вираження температурної залежності теплоємності кожного компонента ПГС, отриманого на попередньому контурі за необхідної температури охолодження.

Методика розрахунку фазової парорідинної рівноваги для окремого контуру

$G = F_1 + G_1$ – матеріальний баланс першого контуру (1);

$G_1 = F_2 + G_2$ – матеріальний баланс другого контуру (2);

$G_2 = F_3 + G_3$ – матеріальний баланс третього контуру (3);

$G_3 = F_4 + G_4$ – матеріальний баланс четвертого контуру (4);
де F_4 та G_4 кінцеві товарні продукти.

Замінивши G_1 та G_2 отримуємо наступний вираз матеріального балансу процесу рециркуляції БЦС:

$$G = F_1 + F_2 + F_3 + G_3 \quad (5)$$

Виходячи з міркувань, що загальне число кмолей компонентів системи до та після процесу конденсації залишається незмінним, а змінюється лиш їх розподілення між фазами, складено рівняння матеріального балансу за числом кмолей ЛКК.

Матеріальний баланс процесу рециркуляції БЦС відносно ЛКК записується аналогічно рівнянню (5) і може бути представлений у такому вигляді:

$$GX_i = F_1x'_{i1} + F_2x'_{i2} + F_3x'_{i3} + G_3y'_{i3} \quad (6)$$

Число кмолей парового відгону процесу фазової рівноваги на контурах, що належать до 1 кмоль первинної ПГС $e' = G/G_1$, називається **мольним ступенем відгону**, дорівнює:

$$e' = \frac{G_1}{G} = \frac{X' - x'_1}{y'_1 - x'_1} \quad (7)$$

Число кмолей рідкої фракції, що сконденсувалася на контурі в розрахунку на 1 кмоль первинної ПГС, $r' = F_1/G$, називається **ступенем конденсації або рециркуляту**, дорівнює:

$$r' = 1 - e' = \frac{F_1}{G} = \frac{y'_1 - X'}{y'_1 - x'_1} \quad (8)$$

Тотожні за формою співвідношення матеріальних балансів отримують у тому випадку, коли для кількісного вимірювання потоків використовуються не кмолі, а кг, а для представлення концентрацій – масові частки замість мольних.

Аналогічним чином підстановкою відповідних масових часток, замість мольних, у рівняннях (7) і (8) визначаються масові ступені відгону та конденсації [14].

Взаємний перерахунок мольного та масового ступенів відгону ведеться за допомогою молекулярної маси первинної ПГС M_G , парової фази M_{G1}

та рідкої фракції M_{F1} . Відповідний масовий ступінь відгону рівний:

$$e = \frac{G_1 M_{G1}}{G M_G} = e' \frac{M_{G1}}{M_G} \quad (9)$$

$$r = \frac{F_1 M_{F1}}{G M_G} = r' \frac{M_{F1}}{M_G} \quad (10)$$

Розрахунок однократної конденсації полягає в визначенні частки парів і частки рідкої фази, що утворюються під час розділення ПГС G кмоль, склад якої X'_i на першому контурі БЦС (1 контур БЦС $t=350^\circ\text{C}$).

Розрахункове рівняння визначення складів рівноважних фаз отримано шляхом спільного рішення рівняння матеріального балансу процесу конденсації та рециркуляції ПГС у БЦС і рівнянням рівноважних фаз за вмістом ключового компонента і:

$$X'_1 = e' y'_{i1} + (1 - e') x'_{i1}, \quad (11)$$

$$\text{та} \quad y'_{i1} = K_{Pi} x'_{i1}, \quad (12)$$

де X'_i – мольна частка ключового компонента і в первинній ПГС G ;

e' та $(1 - e')$ – мольна частка відгону парів і рідкої фази відповідно;

y'_{i1} і x'_{i1} – мольна частка ключового компонента і паровій фазі G_1 і в рівноважній рідкій фазі F_1 ;

K_{Pi} – **константа фазової рівноваги ключового компонента і**.

Спільним вирішенням рівнянь (11) і (12) отримуємо таке рівняння:

$$x'_{i1} = \frac{X'_i}{1 + e'(K_{Pi} - 1)}. \quad (13)$$

Записавши рівняння (13) для концентрацій усіх m компонентів вихідної суміші, а потім просумувавши його ліві та праві частини, отримуємо:

$$\sum_{i=1}^m x'_{i1} = \sum_{i=1}^m \frac{X'_i}{1 + e'(K_{Pi} - 1)}. \quad (14)$$

Оскільки $\sum_{i=1}^m x'_{i1} = 1$, то кінцеве рівняння для розрахунку e' має вигляд:

$$\sum_{i=1}^m \frac{X'_i}{1 + e'(K_{Pi} - 1)} = 1. \quad (15)$$

Рівняння (15) є алгебраїчним рівнянням у ступені m . Корінь цього рівняння обмежений нерівністю $0 \leq e' \leq 1$, його знаходять методом послідовних наближень, підбираючи таке значення e' , яке із заданою точністю перетворює рівняння в тотожність.

Після розрахунку частки відгону e' за рівняннями (13) і (14) визначають склад рівноважних фаз. Якщо очікується мала частка відгону, менше ніж 0,05, то розрахунок рекомендується проводити за рівнянням

$$\sum_{i=1}^m y'_{i1} = \sum_{i=1}^m \frac{K_{Pi} X'_i}{1 + e'(K_{Pi} - 1)} = 1. \quad (16)$$

Матеріальний баланс багатоконтурної циркуляційної системи

БЦС	Температура контуру, T, °C	M, кг, кмоль	Поступає на контур		Виходить з контуру						Константа рівноваги, K _j
			G _j , кг/г	y _i , % мас	G _j , кг/г	y _{ij} , % мас	e _j	F _j , кг/г	x _{ij} , % мас	r _j	
1 контур			G	X_i	G₁	y_{i1}	e₁	F₁	x_{i1}	r₁	K_{i1}
	375	1881	50,0	0,595	41,5	0,494	83	8,5	0,101	17	0,103
	370	1867	50,0	0,595	37,0	0,440	74	13,0	0,155	26	0,168
	365	1842	50,0	0,595	31,5	0,375	63	18,5	0,220	37	0,233
	360	1836	50,0	0,595	28,5	0,339	57	21,5	0,256	43	0,298
	355	1827	50,0	0,595	25,5	0,303	51	24,5	0,292	49	0,363
	350	1811	50,0	0,595	23,0	0,274	46	27,0	0,321	54	0,442
	345	1798	50,0	0,595	15,5	0,184	31	34,5	0,411	69	0,494
	340	1783	50,0	0,595	11,0	0,131	22	39,0	0,464	78	0,556
	335	1761	50,0	0,595	7,5	0,089	15	42,5	0,506	85	0,621
2 контур			G₁	y_{i1}	G₂	y_{i2}	e₂	F₂	x_{i2}	r₂	K_{i2}
	275	1371	28,5	0,325	24,0	0,273	84	4,5	0,05	21	1,361
	270	1323	28,5	0,325	22,5	0,257	79	6,0	0,07	35	2,168
	265	1297	28,5	0,325	20,8	0,237	73	7,70	0,09	27	3,005
	260	1203	28,5	0,325	18,5	0,211	65	10,0	0,114	35	3,762
	255	1178	28,5	0,325	16,8	0,192	59	11,7	0,133	41	4,529
	250	1138	28,5	0,325	15,4	0,176	54	13,1	0,150	46	5,396
	245	1101	28,5	0,325	14,0	0,159	49	14,5	0,166	51	6,161
	240	1065	28,5	0,325	11,7	0,133	41	16,8	1,190	59	6,576
	235	1031	28,5	0,325	9,7	0,111	34	18,8	0,215	66	7,261
3 контур			G₂	y_{i2}	G₃	y_{i3}	e₃	F₃	x_{i3}	r₃	K_{i3}
	175	618	14,0	0,159	11,2	0,127	80	2,8	0,032	20	10,858
	170	563	14,0	0,159	10,1	0,114	72	3,9	0,045	28	11,095
	165	539	14,0	0,159	9,24	0,105	66	4,8	0,054	34	11,332
	160	512	14,0	0,159	8,1	0,092	58	5,9	0,067	42	11,569
	155	498	14,0	0,159	7,4	0,084	53	6,7	0,074	47	11,806
	150	409	14,0	0,159	6,4	0,073	46	7,6	0,086	54	12,043
	145	358	14,0	0,159	5,5	0,062	39	8,5	0,097	61	12,380
	140	301	14,0	0,159	4,3	0,049	31	9,6	0,109	69	12,479
	135	272	14,0	0,159	3,2	0,051	23	10,8	0,108	77	12,972
4 контур			G₃	y_{i3}	G₄	y_{i4}	e₄	F₄	x_{i4}	r₄	K_{i4}
	100	251	10,1	0,114	1,818	0,020	18	8,282	0,093	82	14,354
	85	236	10,1	0,114	2,525	0,029	25	7,575	0,085	75	16,491
	60	218	10,1	0,114	4,545	0,052	45	5,555	0,627	55	18,587
	45	201	10,1	0,114	6,363	0,071	63	3,737	0,04	37	19,492

Примітка: i – компонент; j – номер контуру; M – молекулярна маса ПГС, що потрапляє на контур; G_j , кг/г – кількість компонентів у парогазовому потоці (кількісний показник потоку, масова витрата, продуктивність); y_{ij} – склад рівноважної парової фази (масова частка ЛЛК компонента в паровій фазі); e_j – масова частка відгону; F_j , кг/г – кількість компонентів у сконденсованому потоці (кількісний показник потоку); x_{ij} – склад рівноважної рідкої фази (масова частка ВКК компонента в рівноважній рідкій фазі); r_j – масова частка рециркуляту.

Так, використовуючи цей алгоритм розрахунку й отримані значення частки парів і склад парової фази для першого контуру визначають аналогічні значення величин для другого, третього та четвертого контурів.

Оптимізація й результати розрахунків конденсації багатокомпонентної ПГС на контурах БЦС

Оптимізація температурних режимів БЦС здійснюється на основі розрахунку константи рівноваги K_p і повного матеріального балансу фазових потоків ПГС при різних температурах для кожного контуру.

Складання матеріального балансу починаємо з надходження первинної ПГС на перший контур БЦС, виходячи з умови витрати первинної ПГС, що становить 50 кг/год. Результати розрахунків зведено до загальної таблиці 3.

Отже, в ході розрахунків оптимізації визначено закономірність, що притаманна для першого контуру БЦС: у разі збільшення температури охолодження контуру до 375°C спостерігається зменшення частки сконденсованої фракції та збільшення частки парової фази. У результаті такого розділення велика кількість важких ВКК переходить на наступний контур у парової стані, де вони під час конденсації потрапляють у рідку фракцію, погіршуючи її якість. Умови здійснення процесу за цієї температури не задовольняють вимогам вторинної глибокої деструкції процесу важких компонентів і вимогам екологічності процесу, оскільки є ризик потрапляння сірковмісних сполук на наступний контур.

У разі зменшення температури охолодження контуру 325°C , навпаки, збільшується частка сконденсованих фракцій і зменшується частка парової фази. Це супроводжується конденсацією всіх енергетично цінних компонентів ПГС, що під час переходу на наступний контур мають становити основу для отримання кінцевої фракції у вигляді альтернативного палива та піролізного газу.

Як видно з представлених розрахункових даних (таблиця 3), на першому контурі саме при температурі 360°C спостерігається розділення ПГС на рідку та парову фракції у співвідношенні 57/43%. За таких умов процес ведеться далі від рівноважних, дає змогу забезпечити оптимальний режим роботи контуру, отримуючи парову фазу, насичену ключовими компонентами, для подальшого розділення в БЦС, сконденсувати рідку фракцію з максимальним умістом важких ВКК для вторинної деструкції.

Найбільш оптимальний режим охолодження для другого контуру приймається при температурі 245°C . За таких умов досягається отримання парової фази G_2 з умістом важких компонентів у найменшій концентрації. Як наслідок, це дає змогу отримати більш чисту парову фазу для розділення її на третьому контурі.

На третьому контурі постає завдання отримання цільової парової фази G_3 , яка має складатися із цінних вуглеводневих компонентів, що на наступному контурі розділяться на кінцеві товарні продукти. Установлення фазової парорідної рівноваги при температурі 170°C дає можливість забезпечити максимальний вихід G_3 у кількості 72% зі збільшенням продуктивності роботи контуру. Сконденсована фракція F_3 складається з важких компонентів і дає змогу мінімізувати їх уміст у парової фазі G_3 , забезпечуючи екологічність процесу.

Підтвердження адекватності моделі й особливості розподілення хімічних речовин за контурами циркуляційної системи

Для підтвердження адекватності моделі проведено серію експериментальних досліджень [15; 16], у ході яких, відповідно до розрахункових даних щодо оптимальних температур охолодження контурів, відібрані зразки сконденсованих рідких фракцій з кожного контуру. Із застосуванням газорідної хроматографії на хроматографі «Neochrom» [16] проведено дослідження рідких фракцій і визначено їх вуглеводневий склад.

Для узагальнення отриманих результатів, а також порівняння фізико-хімічних показників, що характеризують властивості та якість отриманих рідких фракцій з кожного контуру, сформовано таблицю 4.

З аналізу властивостей моторних палив (таблиця 4) можна зробити висновок, що основними для бензинових фракцій є фракційний і хімічний склад, тиск насичених парів, детонаційна стійкість, токсичність. У ході досліджень виявлено: з фракційним і хімічним складом є чіткий нерозривний зв'язок з іншими важливими властивостями, що в сукупності визначають якість фракції загалом і дають змогу використовувати її як альтернативне паливо.

Антидетонаційні властивості бензинових фракцій визначаються в основному співвідношенням груп алканів, ізоалканів, циклопентанів, циклогексанів та аренів. Високі октанові числа бензинів можуть бути забезпечені тільки при великому вмісті аренів.

Залежність оптимального температурного режиму кожного контуру від парорідної рівноваги безпосередньо визначає фракційний вуглеводневий склад фракцій і вміст гетероатомних з'єднань (таблиця 5).

З таблиці 5 видно, що на виході з БЦС фракція G_4 являє собою газову суміш з умістом метану 10%, а отже, має цінність як альтернативне газове паливо для комунально-побутового призначення. З огляду на великий уміст водню, цей потік газової суміші буде використано як енергоносіє для підтримки процесу утилізації відходів за технологією БЦП.

Досягнення значень низки параметрів і властивостей фракції F_4 дають змогу максимально наближати її якість до якості основних марок бензинів і використовувати як альтернативне паливо.

Фізико-хімічні показники та характеристика сконденсованих рідких фракцій з кожного контуру

	Показники	Метод визначення	1 контур	2 контур	3 контур	Кінцевий альтернативний продукт
			фракція F_1	фракція F_2	фракція F_3	фракція F_4
1	Сконденсована фракція					
2	Температура охолодження контуру °С	ТХА, ТХК	360	245	170	60
3	Молекулярна маса	Розрахунковий метод Воїнова	1836	1101	563	218
4	Вихід продуктів, % мас.		44	51	28	22
6	Фракційний склад, %:	ДСТУ 2177	89	73	44	75
7	Теплота згорання, МДж/кг	ДСТУ 21261	23,5	31	40,2	42
8	Показник заломлення при 20°С		1,5800	1,5630	1,5235	1,4715
9	Вміст сірки, % (масе)	ДСТУ 10585-99 «Топливо нафтове. Мазут».	3,44	1,89	0,95	0,05
10	Густина при 20°С, кг/м ³	ДСТУ 3900 ДСТУ 10585-99 «Топливо нафтове. Мазут».	1032	948	881	837
11	Вязкість при 20°С, мм ² /с	ДСТУ 33	48,39	26,36	15,13	5,95
12	Зольність, %		0,16	0,11	0,06	0,01
13	Октанове число дослідницький метод, окт. од.	Експрес-аналізатор ІРОХ-2000	20,6	48,1	67,3	98,1
14	октанове число моторний метод, окт. од.		19,8	43,4	62,7	95,7
15	Цетановий індекс	ДСТУ 27768-88 «Топливо дизельне. Визначення цетанового індекса»	84,6	79,4	63,1	38,9
116	Коксівність по Конрадсону, % (масе)		4,32	2,67	0,89	0,31

Фракційний склад сконденсованих рідких фракцій і вміст гетероатомних сполук

Груповий вуглеводневий склад	Алкани (парафінові), %	Нафтени (цикло-алкани), %	Ароматичні (арени), %	Олефіни (алкени, диалкени), %	Кисневмісні, %	Азотовмісні, %	Сірковмісні, %
1 фракція F_1	43,3	9,3	36,4	5,9	1,5	0,2	3,44
2 фракція F_2	40,3	17,0	32,4	6,8	1,5	0,1	1,89
3 фракція F_3	26,0	34,1	31,3	7,7	0,02	0,02	0,95
4 фракція F_4	1,9	53,1	28,2	6,5	0,01	0,01	0,05
Газ до G_4	метан – 40; етан – 15,5; пропан – 6; н-бутан – 2; і-бутан – 2,5; пропилен – 1,8; етилен – 2; бутен – 1,2; водень – 18,5; оксид вуглецю – 5; діоксид вуглецю – 5,5						

З аналізу таблиці 5 можна стверджувати, що фракція F_4 буде краще протистояти детонації, оскільки в ній за фракційним складом переважають нафтеніві вуглеводні, потім ароматичні, а частка нормальних парафінових вуглеводнів найменша.

Наявність у кінцевій фракції сірчастих сполук і кисневмісних речовин знижує її октанове число [17], тому вміст їх у строго контролюється за рахунок вторинної деструкції.

Так, за рахунок оптимізації температур охолодження для кожного контуру отримано кінцеву товарну фракцію з допустимим умістом гетерогенних з'єднань, не перевищуючи граничних концентрацій і забезпечуючи екологічну безпеку отриманих палив і всього процесу загалом. Детальний аналіз розподілення хімічних речовин за контурами буде здійснений у наступному дослідженні.

Проведений огляд властивостей і показників сконденсованих фракцій дає змогу резюмувати про ефективність застосування розробленої моделі, оскільки товарна кінцева фракція має найвищі показники серед інших фракцій, що відповідають нормам моторного палива [18; 19], і може бути використана як альтернативне пальне.

Висновки. Розв'язання проблеми безвідхідної утилізації гумо-технічних відходів промислового та побутового походження запропоновано методом БЦП.

Розроблена математична модель процесу поділу багатокомпонентної ПГС у БЦС дає змогу шляхом чисельного моделювання забезпечувати екологічність процесу на основі оптимізації температурних режимів роботи контурів з отриманням вуглеводневого складу фракцій,

що задовольняє вимоги до якості, властивостей і характеристик альтернативного палива.

На основі математичної моделі встановлено вплив температурних параметрів проведення процесу охолодження контурів на склад і вихід кінцевих продуктів. Оптимальними температурами здійснення процесу для контурів охолодження БЦС встановлено 360°C для першого контуру, 245°C для другого контуру, 170°C для третього контуру, 60°C для кінцевого контуру, що самостійно розділяє фракцію на газ і рідину.

Варіювання температурним режимом контурів охолодження дає можливість отримати фракційний склад вихідного продукту, що складається переважно з ароматичних і нафтових вуглеводнів, а також дає змогу знижувати концентрацію гетероатомних сполук.

Адекватність запропонованої моделі підтверджено експериментальними дослідженнями, результати яких отримано під час використання лабораторного стенду БЦП для утилізації гумо-технічних відходів.

Результати досліджень будуть використані під час розрахунку та проектування реакційного обладнання технологічних процесів утилізації на основі БЦП з метою забезпечення високої ефективності процесу поділу ПГС.

Використання моделі може бути перспективним під час створення промислових установок із заданою продуктивністю на підготовчих стадіях, що дає змогу зменшити матеріальні й технологічні витрати за рахунок мінімального використання енергетичних ресурсів, а також для утилізації різних видів органічних відходів і їх сумішей за технологією БЦП.

Список літератури:

1. Рижков С.С., Маркіна Л.М., Рудюк М.В. Інноваційні технології утилізації органічних відходів з отриманням альтернативного палива на основі багато контурного циркуляційного піролізу. *Збірник наукових праць НУК*. 2010. № 2 (431). С. 133–142.

2. Najla Grioui, Kamel Halouani. Review on biomass – tires co-pyrolysis: Exploration of energy-recovery methods of byproducts. *Refrigeration Energy and Environment, Hammamet*. 2016. URL: <https://www.researchgate.net/publication/306103247> (дата звернення: 20.10.2018).
 3. Onay Ö. The Catalytic Co-pyrolysis of Waste Tires and Pistachio Seeds. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2014. P. 2070–2077. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/15567036.2013.791900> (дата звернення: 09.11.2018).
 4. Hind Isam, Mohamed Magzoub GariebAlla. Conversion of Used Tires to Useful Products. *International Journal of Trend in Research and Development*. 2016. Vol. 3 (4). URL: www.ijtrd.com (дата звернення: 12.11.2018).
 5. Kuan Ding, Zhaoping Zhong, Bo Zhang, Zuwei Song, and Xiaoxiao Qian. Pyrolysis characteristics of waste tire in an analytical pyrolyzer coupled with gas chromatography, mass spectrometry. *Energy Fuels*. 2015. P. 3181–3187. URL: [10.1021/acs.energyfuels.5b00247](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b00247) (дата звернення: 04.10.2018).
 6. Sana Kordoghli, Maria Paraschiv, Radu Kuncser, Mohand Tazerout, Malina Prisecaru, Fethi Zagrouba, Ionut Georgescu. Managing the environmental hazards of waste tires. *Journal of Engineering Studies and Research*. 2014. Vol. 20. № 4. P. 1–11.
 7. Alex Lu Chia Yang, Farid Nasir Ani. Controlled microwave-induced pyrolysis of waste rubber tires. *International Journal of Technology*. 2016. № 2. P. 314–322. URL: <http://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v7i2.2973>.
 8. Математическое описание процессов разделения газовых смесей, образующихся при термической утилизации отходов / С.А. Вамболь, Ю.В. Шахов, В.В. Вамболь, И.И. Петухов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. № 1/2 (79).
 9. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 7-е издание. Москва, 1961. 832 с.
 10. Аналіз основних термодинамічних показників багатоконтурного циркуляційного піролізу органічних відходів / С.С. Рижков, Л.М. Маркіна, М.С. Крива, В.В. Глиняна. *Збірник наукових праць НУК*. 2015. № 4. С. 104–112.
 11. Рижков С.С., Маркіна Л.М., Крива М.С. Моделирование процессов деструкции при утилизации гумотехнических отходов за технологией багатоконтурного циркуляційного піролізу. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2017. № 3/10 (87). С. 28–35.
 12. Зайцева Т.А. Полигон депонирования твердых бытовых отходов как антропогенная экологическая система. *Научные исследования и инновации*. 2010. № 4. С. 35–43.
 13. Расчет константы равновесия по термодинамическим данным. Метод Темкина-Шварцмана. URL: https://studopedia.ru/4_3418_gaschet-konstanti-ravnovesiya-po-termodinamicheskim-dannim-metod-temkina-shvartsmana.html (дата звернення: 18.11.2018).
 14. Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки ректификации. Москва, 1974. С. 440.
 15. Контроль та дослідження можливих модифікацій рідких вуглеводнів піролізного палива / С.С. Рижков, Л.М. Маркіна, М.В. Рудюк, М.І. Філатова. *Збірник наукових праць НУК*. 2014. № 5. С. 117–125.
 16. Використання двомірної газової хроматографії з мас-спектрометричним детектуванням для визначення складу продуктів піролізу з відпрацьованих автомобільних шин / М.М. Герцюк, Т. Ковальчук, К. Капрал, Г.В. Лисиченко. *Наука та інновації*. 2014. Т. 10. № 2. С. 75–78.
 17. Shahzad Ahmad, Muhammad Imran Ahmad, Khawar Naeem, Muhammad Humayun, Sebt-E-Zaeem, Farrukh Faheem. Oxidative desulfurization of tire pyrolysis. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*. 2016. № 22 (3). P. 249–254.
 18. Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р. Моторные топлива из полимерного сырья: производство и применение. Киев, 2011. С. 290.
- Про альтернативні види палива: Закон України від 21.05.2009 № 1391-VI (1391-17). *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2000. № 12. Ст. 94.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ РЕЗИНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

В статье проведено моделирование технологических режимов рециркуляции парогазовой смеси в многоконтурной циркуляционной системе (БЦС) путем управления парожидкостным равновесием материальных потоков. Результатами исследования является обеспечение экологической безопасности процесса за счет оптимизации температурных режимов конденсации многокомпонентной парогазовой смеси на контурах в зависимости от константы равновесия.

Ключевые слова: многоконтурный циркуляционный пиролиз, многоконтурная циркуляционная система, рециркуляция, константа фазового равновесия, состав фракций, оптимизация, материальный баланс.

PROVIDING AN ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE THERMAL DISPOSAL OF RUBBER-TECHNICAL WASTE

The simulation of technological processes in the recirculation of the vapor-gas mixture in the Multi-circuit circulation system (MSS) has been carried out by controlling of the vapor-liquid equilibrium of material's flows. The results of this research are in ensuring the environmental safety of process due to optimization of temperature conditions of condensation of the multicomponent of vapor-gas mixture on contours of MSS.

Key words: multi-circuit circulation pyrolysis, multi-circuit circulation system, recirculation, constant of phase equilibrium, fraction composition, optimization, material balance.

УДК 621.35

Штефан В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Єніфанова А.С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Метеньканич М.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Пойманов А.Д.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Школьнікова Т.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

МЕХАНІЗМ КАТОДНИХ РЕАКЦІЙ ОСАДЖЕННЯ СПЛАВУ Co-Mo

Робота освітлює механізм катодних реакцій осадження сплаву Co-Mo з полілігандного комплексного електроліту на мідну основу. Встановлено кінетику електрохімічного відновлення іонів кобальту та досліджено вплив лігандів аміачно-трилонатного електроліту на перенапругу електродного процесу методом лінійної вольтамперометрії. Розраховані енергія активації та порядки реакції. Досліджено катодне відновлення оксоаніонів молібдену за різних рН. Представлені експериментальні дані імпульсних вимірів, які дозволили визначити природу лімітуючої стадії процесу осадження сплаву Co-Mo.

Ключові слова: сплав, покриття, кобальт, молібден, вольтамперометрія, імпеданс.

Постановка проблеми. Розвиток нових напрямів [1–4] застосування сплавів тугоплавких металів у промисловості пов'язаний із тим, що електролітичне осадження багатоконпонентних сплавів дозволяє отримати удосконалені матеріали, що володіють набором функціональних властивостей. Однією з них для сплавів Co-Mo, отриманих електролітичним способом, є зниження ваги за рахунок можливості використання підкладок із різних матеріалів.

Співосадження кобальту з молібденом дозволяє отримувати більш дрібнокристалічні, в деяких випадках – аморфні сплави, що володіють високою міцністю, каталітичною активністю, мікротвердістю і стійкістю до зношування [3]. Властивості таких сплавів залежать від співвідношення компонентів та умов електролізу. Сплави з малим вмістом молібдену (до 10 мас%) характеризуються магнітними властивостями. Покриття з високим вмістом у сплаві молібдену (більше 25 мас%) корозійностійкі, зносостійкі та жароміцні, що дозволяє використовувати їх як захисні та захисно-декоративні покриття [5].

Робота спрямована на вивчення механізму осадження сплаву Co-Mo з полілігандного електроліту. Проблема цього дослідження є нині акту-

альною, що пов'язано, з одного боку, з великим інтересом до сплавів Co-Mo в сучасній науці [6–17], з іншого – з її недостатньою розробкою.

Постановка завдання. Метою роботи є вивчення механізму катодного процесу відновлення іонів кобальту з простих і комплексних електролітів та оксоаніонів молібдену, а також встановлення природи лімітуючої стадії процесу осадження сплаву Co-Mo.

Виклад основного матеріалу дослідження. Методика експерименту. Робочим електродом слугувала мідна пластина розміром $8,5 \times 7 \times 2$ мм² із площею 0,5 см². Допоміжний електрод із платини мав геометричну форму в 100 разів більшу, ніж робочий електрод. Як електрод порівняння використали хлорсрібний електрод марки ЭВЛ – 1МЗ.

Розчини готували на дистильованій воді з реактивів марок «ч» і «хч». Наважки твердих речовин зважували на аналітичних вагах із точністю до четвертого знака.

Вольтамперометрія. Кінетичні параметри електродних реакцій одержані методом лінійної вольтамперометрії (ЛВА). Вольтамперні залежності реєстрували в потенціодинамічному режимі за допомогою потенціостату IPC-Pro зі швидкістю розгортки потенціалу 1–100 мВ/с. Катодне

Склад електролітів

№	Na ₂ SO ₄ , моль/л	CoSO ₄ ·7H ₂ O, моль/л	Трилон Б, моль/л	(NH ₄) ₂ SO ₄ , моль/л
1	0,1	5·10 ⁻³	-	-
2	0,1	1·10 ⁻²	-	-
3	0,1	2·10 ⁻²	-	-
4	0,1	5·10 ⁻²	-	-
5	0,1	1·10 ⁻²	5·10 ⁻³	-
6	0,1	1·10 ⁻²	7·10 ⁻³	-
7	0,1	1·10 ⁻²	1·10 ⁻²	-
8	0,1	1·10 ⁻²	2·10 ⁻²	-
9	0,1	1·10 ⁻²	-	1·10 ⁻³
10	0,1	1·10 ⁻²	-	2·10 ⁻³
11	0,1	1·10 ⁻²	-	3·10 ⁻³
12	0,1	1·10 ⁻²	-	5·10 ⁻³
13	0,1	1·10 ⁻²	5·10 ⁻³	1·10 ⁻³
14	0,1	1·10 ⁻²	5·10 ⁻³	2·10 ⁻³
15	0,1	1·10 ⁻²	5·10 ⁻³	3·10 ⁻³
16	0,1	1·10 ⁻²	5·10 ⁻³	5·10 ⁻³
17	0,1	1·10 ⁻²	7·10 ⁻³	1·10 ⁻³
18	0,1	1·10 ⁻²	7·10 ⁻³	2·10 ⁻³
19	0,1	1·10 ⁻²	7·10 ⁻³	3·10 ⁻³
20	0,1	1·10 ⁻²	7·10 ⁻³	5·10 ⁻³
21	0,1	1·10 ⁻²	1·10 ⁻²	1·10 ⁻³
22	0,1	1·10 ⁻²	1·10 ⁻²	2·10 ⁻³
23	0,1	1·10 ⁻²	1·10 ⁻²	3·10 ⁻³
24	0,1	1·10 ⁻²	1·10 ⁻²	5·10 ⁻³
25	0,1	1·10 ⁻²	2·10 ⁻²	1·10 ⁻³
26	0,1	1·10 ⁻²	2·10 ⁻²	2·10 ⁻³
27	0,1	1·10 ⁻²	2·10 ⁻²	3·10 ⁻³
28	0,1	1·10 ⁻²	2·10 ⁻²	5·10 ⁻³

відновлення іонів кобальту досліджували в електролітах, представлених у табл. 1.

Величину експериментальної енергії активації та природу лімітуючої стадії визначали відповідно до методики [18]. Температуру розчинів варіювали в інтервалі 293÷343 К. Порядок електрохімічної реакції розраховували за методом [19].

pH контролювали за допомогою pH-метра марки pH-150МА. Для підкислення розчину застосовували 10–15% розчин сульфатної кислоти [5].

Імпедансна спектроскопія. Імпедансні виміри активної R_s і ємнісної складової частини $1/\omega C_s$ (ω – кругова частота) проводили в електрохімічній системі, яка є потенціостатом IPC-Pro й аналізатором частотного відгуку FRA в діапазоні частот від 0,03 Гц до 50 кГц за послідовною схемою заміщення. Спектри годографів реєстрували за постійної поляризації робочого електрода за потенціалу напівхвилі, значення яких визначали

із вольтамперних досліджень, температура електролітів становила 25°C і 70°C.

Результати. Вольтамперометрія. Катодні поляризаційні залежності, отримані на мідному електроді з електролітів 1–4 (табл. 1), характеризуються наявністю одного піку за потенціалів -0,8...-1,2 В. Зі збільшенням концентрації іонів кобальту в електроліті зростає струм піку, а потенціал піку зсувається у негативний бік. За швидкості розгортки потенціалу 10 мВ/с спостерігається залежність струму піка від концентрацій сульфату кобальту, яка має лінійний характер і перетинає початок координат.

На підставі одержаних залежностей струму піка відновлення іонів кобальту від швидкості поляризації встановлена лінійна залежність I_p від $s^{1/2}$ з початку координат. На відміну від графіка, $I_p / s^{1/2}$ не залежить від s (рис. 1). Завдяки залежності $\lg I_p$ від $\lg s$ можна визначити критерій Семерано, який дорівнює 0,5. Водночас потенціал піка з ростом швидкості поляризації також має лінійний характер (рис. 2).

**Кінетичні характеристики відновлення іонів кобальту з розчину 1 моль/дм³ Na₂SO₄,
при s = 10 мВ/с**

c_{Co} , моль/дм ³	I_p , мА	E_p , мВ	X_c	αz	$D \cdot 10^{-6}$, см ² /с	$k_s \cdot 10^{-7}$, см/с
0,005	0,31	-840	1,1	0,31	2,42	4,62
0,01	1,2	-850		0,34	8,34	4,17
0,02	3,2	-870		0,25	9,85	5,34
0,05	5,1	-890		0,13	15,3	5,67

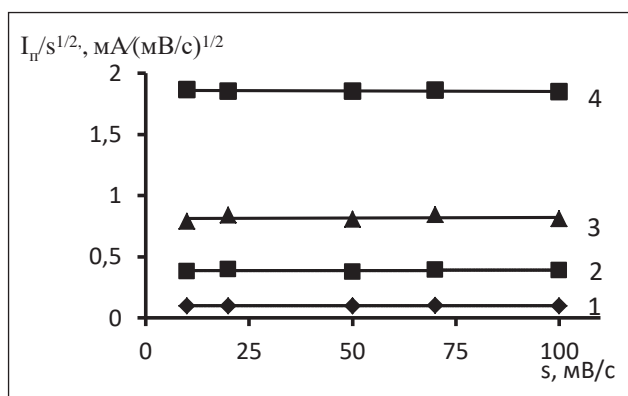


Рис. 1. Залежність $I_p/s^{1/2}$ від швидкості поляризації в електролітах 1–4 (табл. 1)

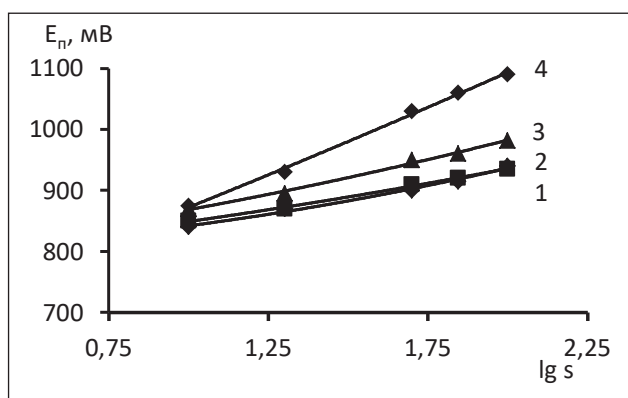


Рис. 2. Залежність потенціалу піка від $\lg s$ в електролітах 1–4 (табл. 1)

Характеристичні параметри ЛВА, одержані за результатами аналізу катодних поляризаційних кривих у розчині 1 моль/дм³ сульфату натрію за варіювання концентрації сульфату кобальту, дозволили встановити, що відновлення іонів кобальту лімітується переносом двох електронів, тобто незворотною реакцією.

На підставі рівняння Рендлса – Шевчика [20] для необоротного процесу визначено коефіцієнт дифузії електроактивної сполуки, за рівнянням Я. Гохштейна [20] розрахована константа швидкості стадії переносу заряду (табл. 2). Крім того, за кутовим коефіцієнтом k у координатах $E_p - \lg s$ визначено добуток коефіцієнта переносу на число електронів ($\pm z$) необоротної стадії (табл. 2).

Відповідно до отриманих значень енергії активації [18] процес осадження покриттів із електролітів 1–4 (табл. 1) лімітується електрохімічною стадією, що підтверджує висновки, одержані ЛВА.

Додавання до розчину солі кобальту таких ліганд-двмісних компонентів, як трилон Б і сульфат амонію значною мірою змінює механізм відновлення іонів і призводить до збільшення перенапруги. У цьому разі залежність струму піка від концентрації має нелінійний характер. Встановлено вплив швидкості розгортки на струм піку, який має лінійну залежність (рис. 3), але не з початку координат

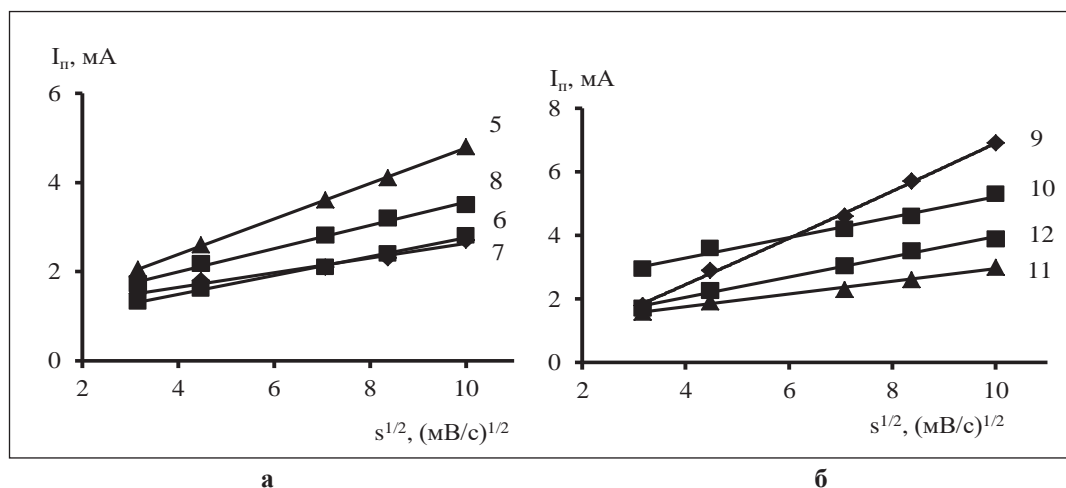


Рис. 3. Залежність струму піка від швидкості розгортки потенціалу з електролітів (табл. 1): а – 5–8; б – 9–12

Параметри еквівалентної електричної схеми системи Cu/Co-Mo/електроліт

№	Склад електроліту	R _e , Ом	R _f , Ом	C _d , мкФ	W _p , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{см}^2}{\text{с}^{1/2}}$
1	CoSO ₄ ·7H ₂ O Na ₂ SO ₄	0,14/1,68	14,29/2,61	1,8/0,17	544,9/-
2	CoSO ₄ ·7H ₂ O Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O Na ₂ SO ₄	0,63/0,11	11,27/3,11	22,25/0,22	224,7/147,64
3	CoSO ₄ ·7H ₂ O Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O C ₁₀ H ₁₄ N ₂ Na ₂ O ₈ ·2H ₂ O (Трилон Б) Na ₂ SO ₄	0,05/0,05	14,5/3,35	1,73/0,45	408,1/-
4	CoSO ₄ ·7H ₂ O Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O C ₁₀ H ₁₄ N ₂ Na ₂ O ₈ ·2H ₂ O (Трилон Б) (NH ₄) ₂ SO ₄ Na ₂ SO ₄	0,05/0,07	15,74/5,87	1,36/0,43	523,4/-

для електролітів 5–12 (табл. 1). Значення функції I_n/s^{1/2} зменшується з ростом швидкості поляризації, а кутовий коефіцієнт нахилу прямий у координатах lg I_n - lgs дорівнює приблизно 0,5. Електродний потенціал залежить від швидкості розгортки, значно зсувається в більш електронегативний бік і має нелінійний характер.

Така поведінка зазвичай характерна для випадків, коли механізм реакції визначається попередньою хімічною реакцією першого порядку. Оборотна хімічна реакція, необоротне перенесення електронів.

Під час дослідження з електролітів 13–28 (табл. 1) залежність струму піка від швидкості розгортки потенціалу в координатах I_n - s^{1/2} вибудовуються на пряму лінію, яка не перетинає початок координат. Значення критерію Семерано виявилось близьким до 0,5. Значення I_n/s^{1/2} змінюється зі швидкістю поляризації. Потенціал піка E_n зі зростанням s зсувається в область більш негативних значень, геометрія залежностей свідчить про збільшення перенапруги.

Розрахована енергія активації осадження покриттів із електролітів 5–28 (табл. 1) вказує на лімітуючу хімічну стадію, що також узгоджується з результатами ЛВА.

Значення порядків реакції за іонами: p(Co²⁺)=1,18, p(трилоном Б)=-0,88, p((NH₄)₂SO₄)=-0,75. Одержані результати розрахунків вказують на багатостадійність перебігу процесу, тобто процес ускладнений проміжними стадіями.

Таким чином, запропоновано загальну схему механізму катодного відновлення іонів кобальту в полілігандному електроліті:

У представленні окремих стадій:

[Co(NH₃)_nY]²⁻ ↔ Co²⁺ + nNH₃⁻ + Y⁴⁻ *попередня хімічна стадія*

Co²⁺ + 2e⁻ → Co⁰ *електрохімічна стадія*

Поляризаційні залежності відновлення оксоаніонів молібдену представлені на рис. 4. Наявність хвилі кривої 2 підтверджує перебіг катодного процесу відновлення оксоаніонів. Візуально спостерігаємо утворення молібденової сині, що свідчить про відновлення до проміжних ступенів окиснення металу. Процес супроводжується виділенням водню. Варіювання рН в межах 4–1 не призводить до значних змін характеру поляризаційних залежностей, спостерігається вплив рН на величину струму піку.

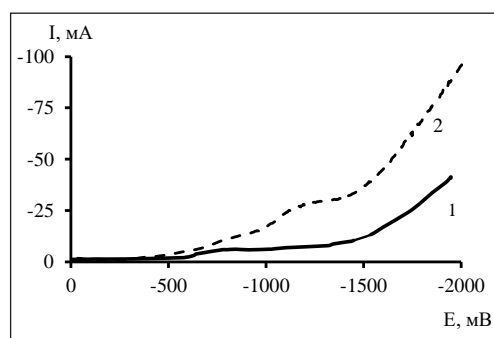


Рис. 4. Катодні поляризаційні залежності в розчині, моль/дм³: 0,1 Na₂SO₄(1), з додаванням 0,1 Na₂MoO₄ (2). рН = 2. Швидкість розгортки потенціалу 5 мВ/с.

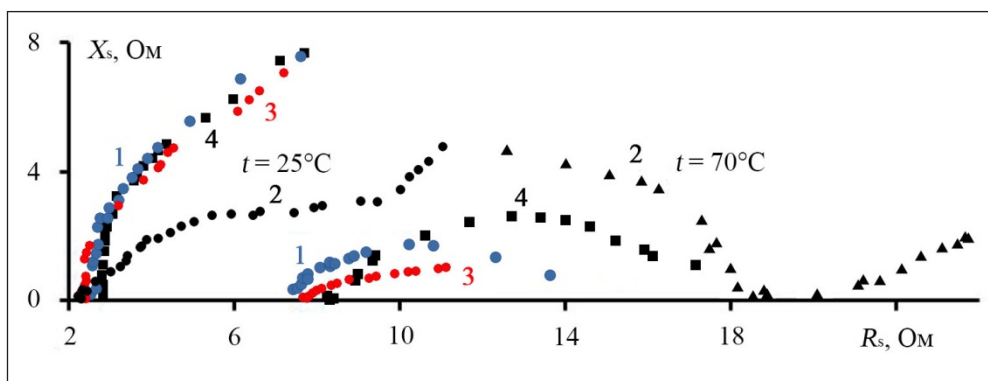


Рис. 5. Годографи комплексного опору осадження з електролітів, склад яких відповідає номеру в табл. 3

Імпедансна спектроскопія. У ході виконання роботи були зареєстровані спектри імпедансу мідного електрода в розчинах солей кобальту та молібдену із додаванням лігандів, що дозволяють описувати механізм електродних процесів осадження сплаву Co-Mo.

Визначені параметри імпедансу наведені в табл. 1, за геометрією спектру виявили моделі еквівалентних схем залежно від температури.

Форми годографів комплексного опору в розчинах солей Co і з додаванням лігандів при $t=25^{\circ}\text{C}$ вказують на кінетично-дифузійний контроль, а в таких же розчинах, але при $t=70^{\circ}\text{C}$ – на кінетичний, що відповідає схемі Рендлса – Ершлера. Визначена ємність подвійного електричного шару зростає на порядок у присутності лігандів, а опір переносу заряду – в 2 рази. У розчинах при $t=70^{\circ}\text{C}$ опір переносу заряду R_f значно менший, порівняно з розчинами при $t=25^{\circ}\text{C}$, отже, при підвищенні температури перенапряга й опір переносу заряду падають, і про-

цес осадження проходить за більш високих швидкостей. При 25°C годографи не значно відрізняються один від одного, незалежно від того, чи є в складі розчину ліганди. При 25°C та 70°C годографи осадження сплаву Co-Mo з розчину № 2 (табл. 3) мають однакову геометрію, спостерігаємо імпеданс Варбурга. Такий спектр свідчить про наявність кінетичних і дифузійних ускладнень у механізмі катодного процесу, що зумовлено відновленням молібдену відповідно до плівково-адсорбційної теорії.

Висновки. Встановлено основні закономірності механізму катодного відновлення катіонів кобальту, який перебігає стадійно з дисоціацією полікомплексу, що створює передумови для управління процесом осадження покриття. Встановлено, що температура впливає на геометрію годографів комплексного опору та на еквівалентні схеми осадження сплаву Co-Mo з простих і комплексних електролітів, що вказує на зміну природи лімітуючої стадії.

Список літератури:

1. Shtefan V.V., Smirnova A.Y. Synthesis of Ce-, Zr-, and Cu-containing oxide coatings on titanium using microarcoxidation. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2015. Vol. 51. № 12. P. 1168–1175.
2. Смирнова А.Ю., Штефан В.В. Коррозионная стойкость МДО-покрытий на титане, сформированных в W-, Mo-, V-, Ce-содержащих электролитах. *Коррозия: материалы, защита*. 2014. № 8. С. 14–19.
3. Shtefan V.V., Bairachnyi B.I., Lisachuk G.V., Smyrnova O.Yu., Zuyok V.A., Voronina O.V. Corrosion of aluminum in contact with oxidized titanium and zirconium. *Materials Science*. 2016. Vol. 51. № 5. P. 711–718.
4. Shtefan V.V., Smirnova A.Y. Oxidation of titanium in Zr- and Mo-containing solutions. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2017. Vol. 53. № 2. P. 322–328.
5. Штефан В.В., Єпіфанова А.С., Кобзєв М.М., Метенканич М.М. Вольтамперометрія осадження сплаву Co-Mo. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Хімічна технологія та екологія*. 2017. № 39. С. 80–83.
6. Електроліт для нанесення покриття кобальт-молібден: пат. 92758 Україна: МПК (2006.01) C25D 3/52, № a201307706; заявл. 17.06.2013; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17.
7. Subramania A., Sathiya Priya A.R., Muralidharan V.S. Electrocatalytic cobalt-molybdenum alloy deposits. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2007. Vol. 32. № 14. P. 2843–2847.
8. Громова В.А., Японцева Ю.С., Кублановский В.С., Дикусар А.И. Электроосаждение сплавов Co-Mo из цитратно-пирофосфатного электролита. *УХЖ*. 2008. Т. 74. № 3. С. 44–48.

9. Кузнецов В.В., Бондаренко З.В., Пшеничкина Т.В., Морозова Н.В., Кудрявцев В.Н. Электроосаждение сплава Co-Mo из аммиачно-цитратного электролита. *Электрохимия*. 2007. Т. 43. № 3. С. 367–372.
10. Shtefan V.V., Epifanova A.S., Koval'ova A.A., Bairachnyi B.I. Electrolytic deposition of highly hard coatings of a cobalt-molybdenum alloy. *Material Science*. 2017. Vol. 53. № 1. P. 47–54.
11. Shtefan V., Epifanova A., Berezovskyi I., Shkolnikova T. Study of morphology and microhardness of Co-Mo alloys films. *XVI International conference on physics and technology of thin films and nanosystems: materials ICPTTFN-XVI*. (Ivano-Frankivsk, 15–20 may 2017). Ivano-Frankivsk, 2017. P. 204.
12. Штефан В.В., Епифанова А.С., Мануйлов А.М., Кучма Ю.Ю., Канунникова Н.А. Вольтамперометрия $d^4 - d^{10}$ металлов. *Международная научно-техническая конференция «Современные электрохимические технологии и оборудование»*: материалы докладов Международной научно-технической конференции «Современные электрохимические технологии и оборудование». (Минск, 24–25 ноября 2016 г.). Минск, 2016. С. 335.
13. Gomez E., Pellicer E., Duch M., Esteve J., Valles E. Molybdenum alloy electrodeposits for magnetic actuation. *Electrochim. Acta*. 2006. Vol. 51. № 16. P. 3214–3222.
14. Японцева Ю.С., Дикусар А.И., Кублановский В.С. Исследование состава, коррозионных и каталитических свойств сплавов Co-W, электроосажденных из цитратно-пирофосфатного электролита. *Электронная обработка материалов*. 2014. Т. 50. № 4. С. 49–55.
15. Громова В.А., Японцева Ю.С., Кублановский В.С. Сплавы Co-Mo электроосаждены із полілігандного електроліту. *II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених: тези доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених*. (Київ, 26–28 квітня 2007 р.). Київ, 2007. С. 88.
16. Kublanovsky V.S., Yarpontseva Y.S. Electro catalytic properties of Co-Mo alloys electrodeposited from a citrate-pyrophosphate electrolyte. *Electro catalysis*. 2014. № 5. P. 372–378.
17. Электролит для нанесения покрытия кобальт-молибден: пат. 112925 Україна: МПК (2006.01) C25D 3/56, № а201307706; заявл. 20.04.2015; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.
18. Паутов В.Н. Краткий курс физической химии: учеб. пособ. Ч. 4. Методы решения задач по термодинамике и кинетике. Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2003. 132 с.
19. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М., 1967. 849 с.
20. Бонд А.М. Полярографические методы в аналитической химии. М., 1983. 328 с.

МЕХАНИЗМ КАТОДНОЙ РЕАКЦИИ ОСАЖДЕНИЯ СПЛАВА Co-Mo

Работа освещает механизм катодных реакций осаждения сплава Co-Mo с полилигандного комплексного электролита на медную основу. Установлена кинетика электрохимического восстановления ионов кобальта и исследовано влияние лигандов аммиачно-трилонатного электролита на перенапряжение электродного процесса методом линейной вольтамперометрии. Рассчитаны энергия активации и порядки реакции. Исследовано катодное восстановление оксоанионов молибдена при различных pH. Представлены экспериментальные данные импедансных измерений, которые позволили определить природу лимитирующей стадии процесса осаждения сплава Co-Mo.

Ключевые слова: сплав, покрытие, кобальт, молибден, вольтамперометрия, импеданс.

MECHANISM OF CERTIFIED REACTIONS OF Co-Mo

This work illuminates the mechanism of cathodic reactions of deposition of the Co-Mo alloy from a polyligand complex electrolyte to a copper base. The kinetics of electrochemical reduction of cobaltions was established and the influence of ammonia-trilonate electrolyte ligands on the overvoltage of the electrode process by the method of linear voltammetry was investigated. Calculated activation energy and reaction procedures. The cathodic reconstruction of oxanions of molybdenum at different pH was investigated. Experimental data of impedance measurements have been presented that allowed to determine the nature of the limiting stage of the Co-Mo alloy deposition process.

Key words: alloy, coating, cobalt, molybdenum, voltammetry, impedance.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

UDK 663.19-026:54.021:543.92

Valevskaya L.A.

Odessa national academy of food technologies

Sokolovskaya O.G.

Odessa national academy of food technologies

Chumachenko Y.D.

Odessa national academy of food technologies

Ovsyannikova L.K.

Odessa national academy of food technologies

CONSUMER PROPERTIES AND QUALITY ASSESSMENT OF QUINOA GRAINS

The article presents data on the chemical composition and beneficial properties of quinoa grains. The organoleptic evaluation of this culture was studied, on the basis of which a general profile of the color, smell and appearance of the quinoa grain sample under study was constructed. It is shown, that quinoa seeds are the most important sources of high-grade proteins, plant fiber, polyunsaturated fatty acids, which creates prerequisites for their use in the development of new foods that will be positioned as gluten-free.

Key words: quinoa, beneficial properties, organoleptic quality indicators, gluten-free products.

The problem is presented in general terms and its connection with important scientific or practical tasks. Quinoa (lat. *Chenopodium quinoa*) or Cienwa (Quechua kinwa) is a pseudo-cereal crop, an annual plant, a species of the Mar family (*Chenopodium*) of the Amaranthaceae family growing on the Andes slopes in South America.

Despite the short lifespan, the plant can reach a height of one and a half or even 2 meters. It has a high stem, on which are located round leaves of light green color. Most of the plant is common at high altitude, ranging from 3000 meters above sea level. It prefers difficult climatic conditions and mountain slopes, its homeland is considered to be the shore of Lake Titicaca, the largest of the high mountain lakes. For the inhabitants of this region, quinoa was one of the staple foods, no less in demand than potatoes and corn. Due to its high yield and resistance to adverse conditions, quinoa is a popular crop in the places of its growth, and due to its chemical composition and excellent taste, it was called “golden grain”. In appearance, quinoa seeds are similar to buckwheat, while they differ in a variety of shades and, depending on the variety, can be beige, red or black. [1, p. 78].

The plant has been known for a long time, in particular, it was included in the diet of the Indians of South America. Even the ancient Incas used it in everyday dishes along with potatoes or corn. Quinoa could even replace bread or rice in cases where there were poor yields. Much later, this amazing plant was artificially grown in the mountains. Including with the approval of the Dalai Lama began to cultivate it in Tibet. Also, the plant survives well on the beach or in places where jungle used to be.

The analysis of recent researches and publications, based on which the author considers this problem and approaches to its solution. More than 90% of the plant, which is grown in Peru and Bolivia, is sent to the United States of America, and everything else – mainly to European countries. It is so highly valued, also because of its purity and naturalness: it is forbidden to use genetically modified organisms during cultivation, even to help the plant fight pests or increase the yield.

Quinoa production is growing: it is currently grown in more than 70 countries around the world. The world's leading producers of quinoa are Bolivia, Peru and the USA (Table 1).

Table 1

Quinoa production in the world

Country	Year		
	2009	2011	2016
Peru	39.4	41.2	79.3
Bolivia	34.1	38.3	65.5
Ecuador	0.8	0.8	3.9

Quinoa production has long passed the continental borders: this culture is grown in Canada, France, England, Sweden, Denmark, Holland and Italy.

The uniqueness of quinoa lies in the fact that it is a seed that is eaten like cereal. It is boiled, added to soups, or ground into flour for baking bread, making drinks and cereals.

Specialists at the Harvard School of Public Health believe that if there is a boiled quinoa daily, the risk of premature death from cancer, diabetes, heart disease and the respiratory system will be reduced by 17%. NASA is interested in this culture as a food source for astronauts who have a long stay in space. Scientists are convinced that the widespread distribution of quinoa will increase the food security of mankind [2].

Despite its taste and use, in fact, quinoa is not a cereal. Vegetables are considered to be its closest relatives, in particular, beets we know. From the seeds of this amazing plant make flour, and the leaves and stems are often used instead of vegetables.

There are only 120 kcal per 100 grams of the finished dish, and it also has a low glycemic index. Therefore, nutritionists consider it an ideal dish for those who want to lose weight or maintain a healthy lifestyle. The main advantage of quinoa is that it contains a very large amount of vegetable protein, which is very easily and quickly absorbed. It is for this reason that these grains are readily used by vegetarians in almost all dishes, and it is recommended to be eaten by children, pregnant women and people with intellectual or exercise-related work.

Table 2 presents the chemical composition of quinoa grains.

The protein content of quinoa culture has the highest rates, which exceed the data on the protein of corn 4.6 times, rice – 2.1; rye – 1.8; millet and oats – 1.6. Analysis of the data makes it possible to judge the high protein content in quinoa, which allows it to compete with generally accepted high-protein herbal products, such as barley, buckwheat and amaranth (Table 3). Moreover, some varieties of quinoa contain more than 20% protein [3, p. 149].

Unlike wheat and rice containing a small amount of lysine, the amino acid composition of quinoa proteins is very balanced and close to the composition of milk proteins, the number of amino acids is up to 20 types (Table 4).

Table 2

Chemical composition of quinoa grains, g/100 g of product

Name of the indicator	Content per 100 g of product
Proteins, g	14.12
Water, g	13.28
Fat, g	6.07
Ash, g	2.38
Dietary fiber, g	7
Carbohydrates, g	57.16
Energy value, kcal	368
Vitamins, mg/100 g of product	
Vitamin A, mcg	1
Vitamin B1	0.36
Vitamin B2	0.318
Folic acid (Vitamin B9), мкг	184
Choline (B4)	70.2
Pantothenic acid (B5)	0.772
Pyridoxine (B6)	0.487
Vitamin E	2.44
Vitamin PP	1.52
Trace elements, mg/100 g of product	
Potassium	563
Calcium	47
Magnesium	197
Phosphorus	457
Iron	4.57

Table 3

Comparative analysis of the protein content in products

Culture	Protein content, %
Quinoa	16.2
Rice	7.5
Millet	10.0
Wheat	14.0
Corn	3.5
Rye	8.8
Oats	10.1
Barley	15.8

However, when assessing the biological value of the protein component of the product, the quantitative representation of essential amino acids per 100 g of protein is of importance (Table 5). When recalculating, the data of table 4 were used, in particular, the quinoa protein content equal to 16.2 [1, p. 43].

The calculation of the biological value of the protein component of quinoa revealed the presence of 2 limiting essential amino acids, the 1st limiting – leucine. However, this does not reduce the value of quinoa culture as a promising source of protein in the composition of multi-component food formulations.

Table 4

Amino Acid Composition of Quinoa Culture

Amino Acids	The amino acid content, g/100 g quinoa
Valin	0.59
Isoleucine	0.5
Leucine	0.84
Lysine	0.77
Arginine	1.09
Histidine	0.41
Methionine	0.31
Threonine	0.42
Tryptophan	0.17
Phenylalanine	0.59
Aspartic acid	1.13
Alanine	0.59
Glycine	0,69
Glutamic acid	1.87
Proline	0.77
Serine	0.57
Tyrosine	0.27
Cysteine	0.20

Table 5

Comparative analysis of the content of essential amino acids in quinoa

Essential Amino Acids	Mass fraction of essential amino acids, g/100 g protein		Amino acid fast, %
	FAO WHO, 2007	investigated	
Histidine	1.5	2.5	166.6
Isoleucine	3.0	3.1	103.3
Leucine	5.9	5.2	88.0
Lysine	4.5	4.8	106.6
Methionine + Cysteine	2.2	3.2	145.5
Phenylalanine + tyrosine	3.8	5.3	139.5
Threonine	2.3	2.6	113.0
Valin	3.9	3.6	92.0

Due to the high concentration of lysine in the product, the body can better absorb calcium, which approximately at the same time enters the body. In addition, lysine stimulates wound healing and helps bone formation. High fiber content – 2.8 g per 100 g helps in the fight against diabetes or overweight, as well as help those who have heart disease.

Fiber also helps the body get rid of harmful substances and toxins, removes harmful cholesterol from the body and stimulates digestion. In addition, it is believed that daily consumption of fiber seriously reduces the risk of developing cancer. A high percentage of phosphorus can replace many species of fish with this plant.

For the first time the healing properties of this plant were discovered by people who consumed it daily. Then it became noticeable beneficial effect of this culture on the cardiovascular system, including as an effective fight against migraine. This is due to the fact that the magnesium contained in plants, helps to relieve the tension of blood vessels.

In addition, quinoa is great for supporting health at any age: it is useful for children, as it stimulates bone formation, for older people it helps to get rid of arthritis. But for this it is important to use it regularly. In addition, regular use of this plant in food maintains a stable blood sugar level, which is very useful in diabetes. It prevents the development of cardiovascular diseases, and also supports the body in the fight against anemia.

Doctors recommend eating this plant as food for those who need support from the body, in particular, people after surgery or those who are struggling with a complex disease, such as cancer. Quinoa will be no less useful for those who give a lot of strength and energy every day in physically hard or intense intellectual work.

Quinoa is also very useful for those who have high blood pressure or other diseases of the cardiovascular system. This plant contains a large amount of a substance called tryptophan, which stimulates the production of the hormone of joy. So, this plant is really able to lift the mood. The absence of gluten in the croup allows you to add it to the diet, even for people suffering from allergies.

Quinoa is considered one of the most useful cereals in the world.

The main advantage of this plant is that it has much more nutrients, minerals and vitamins than in most other cereals. This means that it is healthier than rice, wheat, or any other cereal. Nutritionists often compare quinoa with mother's milk, since this cereal is also absorbed almost completely.

Quinoa contains saponins, substances that, when used regularly, help the pancreas work normally and also keep cholesterol levels under control. When entering through the blood, these substances are poisonous, however, they are normally absorbed in the digestive tract and even have a benefit.

Quinoa taste reminds unpolished rice, has a creamy-nutty notes, soft taste. This product is similar to the finished rice and the consistency, which makes them feel even more. Despite the exotic origin, do not be afraid of specific flavors and tastes. Quinoa is a neutral base for many dishes, which is well soaked with herbs and spices, organically dilutes meat-based sauces.

Polyunsaturated fatty acids (3.3 g per 100 g) and monounsaturated (1.6 g per 100 g) constitute the largest share of quinoa fats. Linoleic, oleic and palmitic acids have a large mass fraction.

Fatty acids in the seed composition are relatively low – 14.5%, of which 70–89% are unsaturated, including up to 50% linoleic acid, about a quarter of oleic acid and 5% alpha-linolenic acid. Consumption of unsaturated fatty acids instead of saturated reduces the risk of developing type 2 diabetes, obesity, cardiovascular and inflammatory diseases. However, to achieve this effect, it is important not only the total content of unsaturated fatty acids in the human diet, but also the correct ratio of omega-3 and omega-6 fatty acids. In omega-3 acids, one of the double bonds in the hydrocarbon chain lies between the third and fourth carbon atoms, and in the omega-6 molecule, between the sixth and seventh atoms. The optimal ratio of omega-6/omega-3 is from 5: 1 to 10: 1, in quinoa it is about six.

Useful action:

- due to the presence of lysine in the composition enhances calcium absorption and accelerates the healing of tissues.

- improves the digestive system.

- stabilizes the nervous system: mitigates the effect of stress-forming factors, strengthens sleep, removes distraction and irritability.

- due to the presence of phytic acid in the composition increases the anti-cancer functions of the immune system and reduces cholesterol.

- helps to quickly restore physical and emotional tone after operations, diseases.

- prevents the development of arthritis, arthrosis and other joint diseases.

- serves as a source of easily digestible vegetable protein, it is necessary for the growth of muscle mass, the development of a child's body and the nutritional status of pregnant women.

- reduces the risk of atherosclerosis, cardiovascular diseases and arterial hypertension.

Possible negative effect:

- a negative reaction of the body in case of intolerance of the product or its components.

- Complication of the condition with gout or urolithiasis.

- deterioration of the inflammatory or diseased digestive tract organs.

In 1996, quinoa was classified by FAO as one of the most promising cultures of mankind, not only because of its beneficial properties and many applications, but also as an alternative to solving the serious problems of human nutrition. According to foreign researchers, quinoa has a unique chemical composition.

Quinoa leaves are used for medical purposes and have healing properties – as anti-inflammatory, analgesic and disinfectant. It is also used in case of fractures and internal hemorrhages, for healing wounds and as a remedy for insect bites. Quinoa is used as a green forage. Remains of the crop are suitable for feeding cattle, sheep, pigs, horses and poultry.

In the food industry, quinoa grains are used in various processing. Almost all flour confectionery, bakery and pasta can be made from flour and whole grains of quinoa. Quinoa seed embryos can be separated from the rest of the seed and used in a concentrated form in infant, sports, gerontological nutrition, nutrition of pregnant and lactating women. In order to improve the quality of diet food, quinoa is used to prepare breakfast cereals, beverages, special dishes for patients with intolerance to wheat protein (gluten).

At the Department of Grain Storage Technology of the Odessa National Academy of Food Technologies, an organoleptic assessment of the quality of samples of quinoa grains was carried out (harvest 2017). To study such significant composite consumer properties of quinoa grains as “smell”, “color” and “taste”, they used the profiling method, the essence of which is that the complex concept of one of the organoleptic indicators is represented as a set of simple components that are evaluated quality, intensity and order of manifestation [4; 5]. In fig. 1 shows a general profile of the appearance, color and smell of quinoa grain samples.

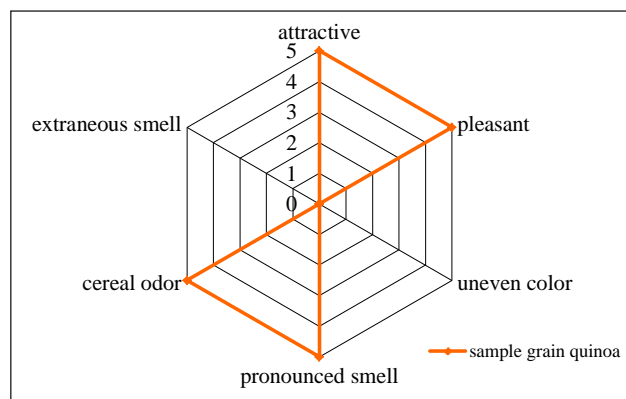


Fig. 1. General profilogram of the appearance, color and smell of quinoa grains.

As can be seen from fig. 1 The test sample of quinoa grain has an attractive appearance, a pleasant color and is characterized by a pronounced grain odor.

Conclusions from this study and further perspectives in this direction. Thus, quinoa seeds are the most important sources of high-grade proteins, plant fiber, and polyunsaturated fatty acids, which creates prerequisites for their use in the development of new foods that will be positioned as gluten-free.

References:

1. Свистунов С. «Золотые зёрна» инков. *Огонёк*. Москва: Огонёк, 1995. № 34. С. 78.
2. Ручкина Н. Киноа. *Химия и жизнь*. 2017. № 4. С. 20–24.
3. Popenoe Hugh. Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington, D.C.: National Academy Press, 1989. P. 149.
4. Knorr D. Functional food science and Technology. *Food Tecnology*. 1998. Vol. 9. P. 295–340.
5. Сенсорний аналіз: практикум / І.В. Ємченко, А.О. Троякова, А.П. Батутіна та ін. Львів: ВФ Афіша, 2009. 328 с.

СПОЖИВНІ ВЛАСТИВОСТІ Й ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗЕРЕН КІНОА

У статті подано дані хімічного складу й корисних властивостей зерен кіноа. Досліджена органолептична оцінка цієї культури, за результатами якої побудована загальна профілограма кольору, запаху та зовнішнього вигляду досліджуваного зразка зерен кіноа. Показано, що насіння кіноа є найважливішими джерелами повноцінних білків, рослинної клітковини, поліненасичених жирних кислот, що створює передумови використання їх у розробленні нових продуктів харчування, які будуть позиціонуватися як безглютеніві.

Ключові слова: кіноа, корисні властивості, органолептичні показники якості, безглютеніві продукти.

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗЕРЕН КИНОА

В статье представлены данные химического состава и полезных свойств зерен киноа. Исследована органолептическая оценка данной культуры, по результатам которой построена общая профилограмма цвета, запаха и внешнего вида исследуемого образца зерен киноа. Показано, что семена киноа являются важнейшими источниками полноценных белков, растительной клетчатки, полиненасыщенных жирных кислот, что создает предпосылки использования их в разработке новых продуктов питания, которые будут позиционироваться как безглютеновые.

Ключевые слова: киноа, полезные свойства, органолептические показатели качества, безглютеновые продукты.

Лабжинська М.Ю.

Національний університет харчових технологій

Володченкова Н.В.

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КІЛЬКОСТІ ТА ЯКОСТІ СИРОЇ КЛЕЙКОВИНИ В ЗЕРНІ ПШЕНИЦІ ВІД УМІСТУ САЖКОВИХ ЗЕРЕН

Стаття присвячена проблемі дослідження придатності до промислової переробки на харчові та кормові потреби зерна пшениці, ураженого сажкою. Вимоги вітчизняної нормативно-технічної документації (НТД) забороняють використання зерна пшениці з умістом сажкових зерен понад 10,0%, проте вони не діють на міжнародному ринку. Оптимальним критерієм визначення придатності зерна, ураженого сажкою, є показники якості зерна, зокрема кількість і якість сирої клейковини, органолептичні показники якості тощо. У роботі наведено аналіз останніх літературних джерел з питання збереження врожаю зерна пшениці від ураження сажкою. Стаття містить практичні результати досліджень впливу вмісту сажкових зерен на кількість і якість сирої клейковини. Для досліджень впливу вмісту сажкових зерен на кількість і якість сирої клейковини сформовано 9 помольних партій із різним умістом сажкових зерен (від 5,0 до 45,0%), які потім було відмито вручну. Контрольним зразком обрано зерно 2-го класу з вихідною кількістю сирої клейковини 24,0% (за експрес-аналізом). У контрольних зразках визначено органолептичні показники якості, які потім підтверджені мікологічною експертизою. У результаті проведених досліджень визначено гранично допустимий уміст (ГДВ) сажкових зерен у помольній партії зі збереженням якості зерна.

Ключові слова: зерно пшениці, сажкові зерна, кількість і якість сирої клейковини, органолептичні показники якості зерна, помольна партія, технологічні властивості зерна.

Постановка проблеми. Основним завданням вітчизняних аграріїв є вирощування необхідних обсягів врожаю зернових злакових культур належної якості. Унаслідок несприятливих погодних умов під час вирощування зерна пшениці рослини можуть зазнати ураження спорами грибів. Окрім того, чисте здорове насіння може стати зараженим спорами внаслідок контакту з ураженими сажкою зернами, тарою чи сільськогосподарським інвентарем, що не пройшли знезараження.

Зерно пшениці піддається ураженню спорами сажкових грибів двох родів – *Ustilago* й *Tilletia*. Сажка буває двох видів, відповідно до грибів-збудників, – пилова і тверда або смердюча.

Пилова сажка характеризується руйнуванням усієї зернини, тому ураження колосків пшениці відбувається ще на стадії вегетації.

Тверда сажка – це захворювання зерна пшениці, що виникає внаслідок ураження рослини на стадії молочно-воскової стиглості грибами роду *Tilletia* (*Tilletia tritici*, *Tilletia caries* та *Tilletia levis*). Тверда сажка характеризується руйнуванням лише ендосперму зерна під час збереження цілісності оболонки зерна. Вивільнення шкідливих теліоспор відбувається в процесі збирання врожаю та обмолоту, що призводить до зараження здорових зерен і ґрунту [1–5].

Відповідно ДСТУ 3768:2010: «Пшениця. Технічні умови», сажкові зерна – це зерна пшениці, у яких забруднена борідка, боріздка або частини поверхні спорами сажки, що визначають спочатку візуально, а в разі потреби підтверджують мікологічною експертизою [6]. Сажкові зерна з'являються внаслідок ураження колосків пшениці базидіальним грибом під час вирощування. Сажкові зерна належать до особливо врахованої домішки (ГОСТ 30483-97: «Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси») [7]. Сажкові зерна поділяються на синегузочні (зерна пшениці, у яких спорами сажки забруднені лише борідки) та марані (зерна пшениці, у яких спорами сажки забруднені не лише борідки, а й поверхня зернівки й боріздки).

Клас зерна визначається в разі відповідності всіх показників якості зерна, що нормуються вітчизняною нормативно-технічною документацією (далі – НТД), вимогам до відповідного класу. У разі невідповідності хоча б одного з показників якості зерна вимогам до відповідного класу зерно належить до нижчого класу, якому

відповідає за всіма вимогами. Обмежувальні кондиції на сажкове зерно становлять не більше ніж 5,0% – для зерна 1-го класу, не більше ніж 10,0% – для зерна 6-го класу [6]. Для харчових потреб не дозволяється використання зерна, що містить більше сажкових зерен, ніж нормується стандартом, проте водночас перед спеціалістами галузі зберігання й переробки зерна стоїть проблема покращення показників якості зерна та мінімізації втрат зернових через хвороби й пошкодження зерна.

Сучасні дослідження біоінженерії спрямовані на виведення сортів пшениці, резистентних до уражень грибовими захворюваннями. Великий внесок у захист рослин від зараження спорами грибів зробили хіміки, винайшовши пестициди та фунгіциди. Зараз ринок представлений широким різноманіттям засобів для оброблення насіння, ґрунту й паростків молодих рослин. Використання хімікатів забезпечує збереження 60–80% посівного матеріалу та 50–75% дозрілого насіння [1–5].

Вимоги вітчизняної НТД забороняють використання зерна, вміст сажкових зерен у якому перевищує 10,0% [6], проте вітчизняна НТД не діє за кордоном і не поширюється на експортне зерно. Разом із тим ведуться активні дискусії за скасування обов'язковості дотримання вимог НТД вітчизняними виробничниками, дозволивши їм працювати відповідно до власно розроблених технічних умов (ТУ).

Практично встановлено, що під час зараження зерна пшениці сажкою відбувається загальне погіршення його якості, в т. ч. знижуються технологічні та фізичні показники якості (збільшується вміст домішок, знижується натура, маса 1000 зерен), псується органолептичні показники якості (сажка має характерний запах оселедця; темнішає колір борошна), хлібопекарські властивості погіршуються, зазнають необоротних змін біохімічні властивості тощо.

Проте в результаті різних технологічних операцій із покращення якості зерна – очищення й сушіння зерна – на етапі післязбиральної обробки, створення помольних партій, лущення, вологотеплової обробки (далі – ВТО), сортування – у зерночисному (підготовчому) відділенні та розмелу й вилучення оболонок – у розмельному відділенні може відбуватися значне покращення технологічних і хлібопекарських властивостей зерна та виготовленого з нього борошна. Також існують нові запропоновані способи покращення хлібопекарських властивостей борошна шляхом додавання сухих сумішей (пшеничної клейковини, фітопорошків) [9].

Тому питання про використання зерна, ураженого спорами сажки та сажковими грибами, залишається відкритим.

Постановка завдання. Мета дослідження – встановлення залежності кількості та якості сирової клейковини від умісту сажкових зерен і визначення можливості створення помольних партій із зерна з різним умістом сажкових зерен.

Матеріали й методи. Об'єкт дослідження – кількість і якість сирової клейковини в зерні різних помольних партій. Дослідження кількості сирової клейковини проводилися за стандартною методикою шляхом відмивання вручну сирової клейковини з наважки розмеленого та підготованого зразка зерна масою 25 г. Кількість води для змішування становить 14 г. Визначення якості сирової клейковини (визначення пружних деформацій) проводять на приладі ІДК шляхом стискування отриманої після відмивання клейковини кульки масою 4 г [8]. Визначення вмісту білку та сирової клейковини експрес-методом проводилось на ІЧ-аналізаторі якості зерна «Infratec 1241» фірми «Foss».

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження брали вихідне зерно пшениці 2-го класу з кількістю клейковини за експрес-аналізом 24,0% (вміст білку за експрес-аналізом становить 12,6%). Вихідне зерно відповідало вимогам ДСТУ 3768:2010 за всіма показниками якості [6]. Цей зразок буде контрольним зразком під час відмивання клейковини вручну.

Одним із способів покращення якості зерна є спосіб складання помольних партій із отриманням однієї партії зерна належної якості з декількох вихідних партій різної початкової якості.

Шляхом створення помольних партій – змішування у відповідних пропорціях зерна різних партій різної якості – отримано дослідні зразки зерна з різним умістом сажкових зерен. У таблиці 1 наведено вміст сажкових зерен в отриманих помольних партіях зерна.

Таблиця 1

Уміст сажкових зерен у помольних партіях

№ з/п	Розрахунковий уміст клейковини, %	Уміст сажкових зерен, %
1	24,0	0
2	24,0	5,0
3	24,0	10,0
4	24,0	15,0
5	24,0	20,0
6	23,0	25,0
7	22,0	30,0
8	21,0	35,0
9	21,0	40,0
10	20,0	45,0

Проведено дослідження впливу кількості сажкових зерен у кожній помольній партії на кількість і якість сирової клейковини зерна пшениці. У таблиці 2 наведено результати визначення кількості та якості сирової клейковини шляхом відмивання вручну залежно від кількості сажкових зерен у помольній партії зерна пшениці з усіма показниками якості 2-го класу та вихідною кількістю клейковини 24,0%.

Таблиця 2

Результати визначення кількості та якості сирової клейковини шляхом відмивання вручну

№ з/п	Розрахунковий уміст клейковини, %	Кількість сирової клейковини, %/ якість сирової клейковини, ум. од. пр. ІДК
1	24,0	25,0/85
2	24,0	25,0/85
3	24,0	25,0/80
4	24,0	24,0/75
5	24,0	23,0/70
6	23,0	23,0/65
7	22,0	21,0/55
8	21,0	20,0/40
9	21,0	Не відмивається
10	20,0	Не відмивається

У нормальному здоровому зерні нового врожаю кількість клейковини, визначеної способом відмивання вручну, зазвичай більше на 1,0% порівняно з експрес-аналізом. У разі використання зерна, ураженого сажкою, кількість клейковини фактично відмивається менше, ніж визначається експрес-аналізом. Пружні властивості клейковини гірші порівняно з очікуваними значеннями (для виробництва борошна оптимальним вважається клейковина І (ІДК – 45–75 ум. од. пр. ІДК), рідше ІІ (20–40; 80–100) груп якості. При вмісті сажкових зерен більше ніж 35,0% клейковина не відмивається. Це пояснюється руйнуванням структури ендосперму зерна, пошкодженням білків пшениці, необоротними змінами біохімічних властивостей зерна.

У тих зразках, де клейковина відмивається, провели визначення органолептичних показників якості. Результати для дослідних зразків № 2–8 наведено в таблиці 3.

Аналізуючи таблицю 3, можна зробити висновок, що зерно з умістом сажкових зерен до 15,0% за органолептичними показниками якості належить до здорового зерна, тобто сажкові зерна не впливають на якість зерна або їх вплив є дуже незначним.

При вмісті сажкових зерен від 15,0 до 25,0% відчувається легкий сторонній присмак і запах, які не відчуваються у свіжозмеленому зерні й поступово зменшуються внаслідок вивітрювання; зерно втрачає здоровий блиск, тьмянішає колір, проте органолептичні показники якості відчутно покращаються під час переробки зерна в харчові продукти в результаті лущення зерна, створення помольних партій, ВТО, розмелу тощо.

Зерно з умістом сажкових зерен у кількості більше ніж 25,0% не придатне для прямого використання для харчових і кормових потреб, проте єдине, що ще можна зробити з ним перед списанням на некормові потреби, – це використовувати в незначній кількості під час створення помольних партій (не більше ніж 5,0%).

Таблиця 3

Органолептичні показники якості зерна з умістом сажкових зерен

№ з/п	Уміст сажкових зерен, %	Зовнішній вигляд	Колір	Блиск	Запах	Смак
2	5,0	Властивий	Властивий	Наявний	Властивий	Властивий
3	10,0	Властивий	Властивий	Наявний	Властивий	Властивий
4	15,0	Властивий	Властивий	Наявний	Властивий	Властивий
5	20,0	Уражені деякі борідки	Тьмянний	Ледь помітний	Легкий сторонній	Властивий
6	25,0	Уражені борідки	Тьмянний	Ледь помітний	Легкий сторонній	Властивий
7	30,0	Уражені борідки та борідки	Тьмянний, блідий	Майже відсутній	Сторонній	Сторонній присмак
8	35,0	Уражені борідки та борідки	Тьмянний, блідий	Відсутній	Оседцевий	Невластивий, сторонній

У результаті мікробіологічних досліджень зі зразками № 2–6 встановлено, що зерно із забарвленими борідками й боріздками не є токсичним, лише зразки № 5 і 6 містять спори сажки в кількостях, що перевищують вимоги НТД.

Висновки. Використання зерна з умістом сажкових зерен, що перевищує вимоги стандарту, призводить до неминучого зниження якості всієї партії: з'являється характерний сажковий запах (оселедцевий), погіршуються органолептичні показники якості й, відповідно, знижується кількість і якість сирої клейковини. Проте погіршення якості відбувається поступово, тому навіть уражене сажкою зерно ще може бути придатним для

використання в переробку на харчові та кормові потреби.

У результаті практичних досліджень доведено, що при вмісті в помольній партії до 25,0% сажкових зерен зерно придатне до переробки, бо в результаті технологічних операцій показники якості значно покращуються, тому готова продукція буде належної якості.

Кількість і якість сирої клейковини зменшуються в помольній партії з високим умістом сажкових зерен, проте навіть при 25,0% сажкових зерен зерно належить до 2-го класу за вмістом сирої клейковини.

Отже, зерно з умістом сажкових зерен до 25,0% включно є придатним до промислової переробки на харчові та кормові потреби.

Список літератури:

1. Чекмарев В.В. Эффективность протравителей против твердой головни пшеницы. *Защита и карантин растений*. 2012. № 8. С. 27–28.
2. Протравливание семян – первая ступень получения защищенного и продуктивного агроценоза / В.В. Немченко, А.Ю. Кекало, Н.Ю. Заргарян, М.Ю. Цыпышева. *Защита и карантин растений*. 2014. № 3. С. 22–24.
3. Хазиев А.З., Зайцева Т.В., Хакимуллина Ф.М. Роль протравливания семян в борьбе с корневыми гнилями. *Защита и карантин растений*. 2015. № 3. С. 20–23.
4. Головня пшеницы – опасное грибковое заболевание зерна. URL: http://www.ukragrolab.com/pshenica/golovniya_pshenicu/ (дата звернення: 10.11.2018).
5. Синегузочные зерна пшеницы. URL: http://www.ukragrolab.com/pshenica/sineguzochnue_zerna/ (дата звернення: 02.11.2018).
6. ДСТУ 3768:2010. Пшениця. Технічні умови. 2010. URL: <http://www.agroproduct.com.ua/index.php/ru/dstu-3768-2010-pshenitsa> (дата звернення: 01.11.2018).
7. ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси. 1997. URL: <http://vsegost.com/Catalog/27/27696.shtml> (дата звернення: 11.11.2018).
8. ГОСТ 13586.1-68. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице (с изменениями № 1, 2). 1968. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024345> (дата звернення: 06.11.2018).
9. Сидельникова Н.А., Шмайлова Т.А. Изучение влияния фитопорошков на технологические свойства муки. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 12. С. 16–19.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЛИЧЕСТВА И КАЧЕСТВА СЫРОЙ КЛЕЙКОВИНЫ В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ГОЛОВНЕВЫХ ЗЕРЕН

Статья посвящена проблеме исследования пригодности к промышленной переработке на пищевые и кормовые потребности зерна пшеницы, пораженного головней. Требования отечественной нормативно-технической документации (НТД) запрещают использование зерна пшеницы с содержанием головневых зерен более 10,0%, однако они не действуют на международном рынке. Оптимальным критерием определения пригодности зерна, пораженного головней, являются показатели качества зерна, в частности количество и качество сырой клейковины, органолептические показатели качества и тому подобное. В работе приведен анализ последних литературных источников по вопросу сохранения урожая зерна пшеницы от поражения головней. Статья содержит практические результаты исследований влияния содержания головневых зерен на количество и качество сырой клейковины. Для исследований влияния содержания головневых зерен на количество и качество сырой клейковины сформировано 9 помольных партий с различным содержанием головневых зерен (от 5,0 до 45,0%), которые затем были отмыты вручную. Контрольным образцом выбрано зерно 2-го класса с исходным количеством сырой клейковины 24,0% (по экспресс-анализу). В контрольных образцах определены органолептические показатели качества, которые затем подтверждены микологической экспертизой. В результате проведенных исследований определено предельно допустимое содержание (ПДС) головневых зерен в помольной партии с сохранением качества зерна.

Ключевые слова: зерно пшеницы, головневые зерна, количество и качество сырой клейковины, органолептические показатели качества зерна, помольная партия, технологические свойства зерна.

RESEARCH OF QUANTITY AND QUALITY DEPENDENCE OF WET GLUTEN IN WHEAT GRAIN FROM THE CONTENT OF SMUT GRAINS

The article is devoted to the study of the industrial processing for food and forage needs suitability of wheat grain damaged by smut. The requirements of the national normative and technical documentation (NTD) prohibit the use of wheat grain with the content of smut grains more than 10.0%, but they do not operate on the international market. Grain quality indicators, in particular, the quantity and quality of raw gluten, organoleptic quality indicators, etc., are the best criteria for determining the suitability of grains damaged by smut. The paper presents an analysis of recent literature sources on the preservation of grain yield of wheat from the defeat of the smut. The article contains practical results of research on the effect of the smut content grains on the raw gluten quantity and quality. For study of the smut content grains effect on the raw gluten quantity and quality, there were formed 9 grinding lots with different contents of smut grains (from 5.0 to 45.0%), which was then washed manually. A sample of 2nd grade grain was selected with an initial amount of gluten 24.0% (by express analysis). In control samples, organoleptic quality indicators were determined, which then were confirmed by mycological examination. As a result of the conducted researches, the maximum permissible content (MPC) of smut grains in the grinding lot with the preservation of grain quality was determined.

Key words: *wheat grain, smut grains, quantity and quality of raw gluten, organoleptic indicators of grain quality, grinding lot, technological properties of grain.*

УДК 54.062:661.185

Пилипенко Т.М.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Єфімова В.Г.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Андрощук С.П.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Поліщук М.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Денисюк І.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПІНОМІЙНИХ КОСМЕТИЧНИХ ПРОДУКТІВ**

У статті проведено аналіз композиційних складників піномийних косметичних продуктів для догляду за волоссям вітчизняного та закордонного виробництва, представлених сьогодні на споживчому ринку України. У складі досліджених продуктів виявлено не дуже корисні компоненти, небезпечні для людей із чутливою шкірою та алергіків. Показано, що за композиційними складниками вітчизняні піномийні косметичні продукти не поступаються засобам закордонного виробництва. Для досліджених продуктів визначено деякі фізико-хімічні показники. Сталагмометричним методом – поверхневий натяг, віскозиметричними дослідженнями – в'язкість, потенціометричним методом – рН-середовища, методом Росс-Майлса – піноутворюючу здатність. Встановлено, що фізико-хімічні показники піномийних косметичних продуктів для волосся знаходяться в межах допустимої норми.

Ключові слова: піномийні косметичні продукти, композиційні складники, поверхневий натяг, в'язкість, рН-середовища.

Постановка проблеми. На споживчому ринку України сьогодні представлено широкий асортимент піномийних косметичних продуктів для догляду за волоссям, активними мийними компонентами яких є поверхнево-активні речовини (далі – ПАР) [1; 2]. ПАР використовуються для зниження поверхневого натягу між водою та забруднюючими частинками на волоссі та шкірі голови, утворення піни, стабілізації розчину, збільшення в'язкості піномийного косметичного продукту. Піноутворююча здатність, рН-середовища є одними з основних фізико-хімічних показників піномийних косметичних продуктів, нормованих державним стандартом [3]. Визначення поверхневого натягу, в'язкості, піноутворюючої здатності, рН-середовища засобів для догляду за волоссям – важливий етап у загальній оцінці їх якості та безпеки використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінку якості та безпеки використання вітчизняних піномийних косметичних продуктів і таких, що імпортуються в Україну, проводять за різними показниками [1]. Особлива увага приділяється хімічним, мікробіологічним, токсикологічним, клінічним дослідженням [4–6].

Постановка завдання. Зважаючи на широкий асортимент піномийних косметичних продуктів для волосся як вітчизняного, так і закордонного виробництва, представлених сьогодні на споживчому ринку України, аналіз і визначення композиційних складників, фізико-хімічних показників таких засобів є необхідним завданням під час оцінювання та порівняння якості і безпеки їх використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження піномийних косметичних

Композиційні складники досліджених піномийних косметичних продуктів

Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Aqua	Aqua	Aqua
Sodium Laureth Sulfate	Sodium Laureth Sulfate	Sodium Laureth Sulfate
Sodium Chloride	Cocamidopropyl Betaine	Cocamidopropyl Betaine
Cocamidopropyl Betaine	Sodium Chloride	Lauryl Glucoside
Sodium C12-C14 α -Olephinsulphonate	Parfum	Cocamide DEA
Sodium C14-C17 Sec. Alkylsulphonate	Panthenol	Coco-Glucoside
Cocamide DEA	Cilicone Quaternium-22	Glyceryl Oleate
C8-C10 Alkyl Poly Glucosides	Peg-18 Glyceryl Oleate / Cocoate	PEG-7 Glyceryl Cocoate
Polyquaternium-7	Lauramine Oxide	Sodium Chloride
Citric Acid	Citric Acid	Polyquaternium-10
Arctium Lappa (Burdock) Root Extract	PPG-3 Myristyl Ether	Chamomilla Recutita Flower Extract
Parfum	Tetrasodium EDTA	Linum Usitatissimum Seed Oil
Methyl-chloroisothiazolinone	Benzyl Alcohol	Citric Acid
Methylisothiazolinone	Styrene / Acrylates Copolymer	Parfum
-	Methylchloroisothiazolinone	Benzyl Alcohol
-	Methylisothiazolinone	Methyl-chloroisothiazolinone

продуктів для догляду за волоссям було відібрано зразки торговельних марок (ТМ) вітчизняного та закордонного виробництва: зразок 1 – Шампунь ТМ «Ефект» з екстрактом лопуха, Україна; зразок 2 – Шампунь-кондиціонер ТМ «Dermomed», Італія; зразок 3 – Шампунь-кондиціонер ТМ «Зелена Аптека» для фарбованого волосся, Україна.

Визначення фізико-хімічних показників досліджуваних продуктів проводили поетапно відповідно до стандартизованих методик [3]. Поверхневий натяг (σ) визначали сталагмометричним методом, в'язкість (η) – віскозиметричними дослідженнями, рН-середовища – потенціометричними вимірюваннями. Для оцінки піноутворюючої здатності вимірювали висоту стовпчика утвореної піни за приладом Росс-Майлса.

Аналіз композиційних складників досліджених зразків піномийних косметичних продуктів, зазначених на маркуванні виробників їх упаковки, показав, що вони є багатокомпонентними системами (табл. 1).

Усі досліджені піномийні косметичні продукти містять у своєму складі *Sodium Laureth Sulfate* – аніонну ПАР, основний мийний компонент продукту; *Sodium Chloride* – речовину, що виконує роль стабілізатора, загусника та консерванта; *Cocamidopropyl Betaine* – вторинну ПАР; *Citric Acid* – речовину, що характеризується консервуючою здатністю й ефектом очищення; *Methylchloroisothiazolinone* – консервант, який

добре сумісний із ПАР незалежно від їх природи. Повний склад досліджених косметичних систем і властивості їх компонентів наведено нижче.

Зразок 1.

Aqua – основа, в якій змішуються композиційні складники косметичного продукту. Складає близько 80% усіх складників, дозволяє знизити агресивність і токсичність деяких компонентів.

Sodium Laureth Sulfate, *SLES* (*Hampiй лаурет сульфат*) – ПАР, що забезпечує піноутворюючу здатність косметичного продукту [1]. Завдяки наявності *SLES* засіб добре піниться та сприяє видаленню жиру з волосся. Має не таку подразнюючу дію, як натрій лаурил сульфат (*SLS*). Проте тривале використання косметичних продуктів із *SLES* може спричинити розвиток сухості шкіри, її подразнення та випадіння волосся.

Sodium Chloride – складник, який виконує відразу декілька важливих функцій. Натрій хлорид є стабілізатором, загусником і консервантом.

Cocamidopropyl Betaine – амфотерна ПАР, що добре комбінується з іншими складниками. Як вторинна ПАР, характеризується хорошою піноутворюючою здатністю та мийними властивостями, пригнічує подразнюючий вплив більш агресивних компонентів.

Sodium C14-C17 Sec. Alkylsulphonate – змочувальний агент. Використовується для більш ефективного очищення забрудненої поверхні.

Cocamide DEA – речовина з класу ефірів, вироблена на основі оцтової кислоти і кокосової олії.

Належить до класу ПАР. Її піноутворююча та мийна здатність досить м'яка, тому вона зазвичай використовується у поєднанні з іншими, більш агресивними компонентами. Основна цінність кокамиду ДЕА – здатність пінитися в жорсткій воді, регулювати рівень рН, підвищувати в'язкість, стабілізувати консистенцію косметичного засобу. Крім того, кокамід ДЕА запобігає утворенню статичної електрики на волоссі та пом'якшує його.

C8-C10 Alkyl Poly Glucosides (APG) – м'яка для шкіри ПАР. Характеризується низьким поверхневим натягом, сприяє утворенню піни, добре очищає та зволожує забруднену поверхню. Має хорошу розчинність, усуває жорсткість води. Сумісна з іншими ПАР.

Polyquaternium-7 – складник, що забезпечує ефективне кондиціонування, є антистатиком. Полегшує розчісування волосся, не залишає відчуття жирності. Покращує густину і стабільність піни.

Citric Acid – речовина, котра характеризується хорошою консервуючою та мийною здатністю, прибирає надлишки жиру зі шкірного покриву. Також полегшує розчісування волосся.

Arctium Lappa (Burdock) Root Extract – натуральний інгредієнт, який характеризується антибактеріальними, заспокійливими властивостями, регулює і нормалізує вироблення жиру. Екстракт кореня лопуха (реп'яхова олія) підсилює капілярний кровообіг, відновлює обмін речовин у шкірі голови, живить і зміцнює коріння та структуру волосся, прискорює його ріст, зупиняє випадіння, позбавляє від лупи, свербіння і сухості шкіри голови. Відновлює пошкоджену та слабку структуру волосся після фарбування та хімічної завивки.

Parfume. На маркуванні не зазначено, який саме парфум використовували.

Methylchloroisothiazolinone – консервант. Має низьку токсичність [6] за рекомендованих до використання концентрацій і відповідає екологічним вимогам.

Methylisothiazolinone – консервант. Не шкідлива речовина [6]. Проте за умови передозування може стати причиною контактного дерматиту.

Описані складники, наявні в двох інших засобах, нижче не зазначаються.

Зразок 2.

Panthenol – поживна речовина. Широко застосовується як ефективний зволожуючий і пом'якшувач компонент.

Silicone Quaternium-22 – новітня розробка у сфері догляду за волоссям, силікон, в одній молекулі якого міститься більша кількість катіонних

груп, ніж у молекулах лінійних або аміномодифікованих силіконів. Це означає, що силікон кватерніум-22 краще контактує з поверхнею волосся, формує більш міцну захисну плівку і краще захищає колір фарбованого волосся від вимивання. Крім того, він має дуже низьку теплопровідність і забезпечує захист волосся від термічного впливу. Легко змивається і не накопичується на волоссі.

PEG-18 Glyceryl Oleate / Cocoate – нетоксична речовина, позбавлена кольору і запаху, має хороші пом'якшувачі та зволожуючі властивості. Знижує поріг дратівливості шкіри. Перешкоджає розмноженню бактерій у косметичному продукті. Не завдає шкоди організму, якщо його концентрація не перевищує 50%.

Lauramine Oxide – ПАР, що підсилює піноутворюючу і мийну здатність косметичного продукту. Лаурамин оксид сумісний з аніонними, амфотерними і катіонними ПАР.

PPG-3 Myristyl Ether – емомент, складний ефір, не є токсичним складником [6].

Tetrasodium EDTA – комплексоутворювач, речовина, що покращує піноутворення, посилює дію консервантів. Властивості тетранатрію ЕДТА зберігаються у широкому діапазоні рН (2–13,5) за температури до 100°C.

Benzyl Alcohol – безбарвна рідина з приємним запахом. Бензиловий спирт міститься в ефірних оліях жасмину, гіацинта та ін. Використовується як розчинник, фіксатор і запашна речовина. Як консервант дозволений у концентрації до 1%. Не є цілком безпечною речовиною, оскільки може викликати алергічні реакції, роздратування шкіри, токсичний [6].

Styrene / Acrylates Copolymer – складник, призначений для формування плівки і фіксування косметичного засобу. Забезпечує глибоке проникнення в шкіру рослинних екстрактів вітамінів та активних речовин. Надає шампуню молочно-кремове вигляду.

Зразок 3.

Lauryl Glucoside – ПАР рослинного походження, яка характеризується пом'якшувачим ефектом, дбайливо і делікатно очищає забруднену поверхню. Лаурил глюкозид є нетоксичною речовиною [6], легко і швидко біорозкладається. Сумісний практично з усіма видами ПАР, безпечний інгредієнт, підходить для всіх типів волосся.

Coco-Glucoside – м'який компонент із піноутворюючим ефектом. Розчиняє бруд і шкірне сало, не завдаючи шкоди епідермісу. Добре вимиває брудне і жирне волосся, робить його м'яким, після чого воно легко розчісується. Загальний ефект

Фізико-хімічні показники піномийних косметичних продуктів

Показник	с, %	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
σ , мН/м	0	71,65	71,65	71,65
	2,5	24,50	22,76	23,69
	3	23,98	22,15	22,76
	5	22,41	21,82	22,50
	10	22,14	21,81	22,45
η , мПа·с	0	0,854	0,854	0,854
	10	1,988	1,997	1,987
pH	10	7,1	7,2	6,9
Піноутворююча здатність: пінне число, мм стійкість піни, од.	10	350	345	345
		0,9	1	0,9

від наявності цієї речовини в косметичному продукті – розгладження структури волосся, збільшення його об'єму.

Glyceryl Oleate (Естер-А) – ПАР, яка добре пов'язує жири з водою, запобігає окиснювальним процесам під час зберігання.

Peg-7 Glyceryl Cocoate – м'яка, неіонна ПАР. Проявляє хороші мийні властивості. Значно знижує подразнюючу дію аніонних ПАР.

Polyquaternium-10 – антистатик і кондиціонер, безпечний компонент. Є збагаченою водою молекулою целюлози. Має хорошу сумісність із аніонними й амфотерними ПАР. Полегшує розчісування мокрого та сухого волосся, надає йому блиску.

Chamomilla Recutita Flower Extract (Екстракт Ромашки) – заспокійливий, освіжаючий, зволожуючий компонент. Чудовий у використанні для чутливої шкіри, знімає її подразнення.

Linum Usitatissimum Seed Oil (Олія насіння льону) – цінне джерело Омега-3 і Омега-6, що зумовлює його пом'якшуючу та антиоксидантну дію. Допомагає при сухості шкіри волосся. Знімає роздратування, зміцнює і захищає шкіру.

Таким чином, зразки 2, 3 містять досить небезпечний складник, Benzyl Alcohol. У зразку 1 його не виявлено. Із переваг композиційного складу зразка 2 необхідно відзначити наявність зволожуючого і пом'якшуючого компонента, Panthenol. Перевагами композиційного складу зразка 3 є наявність таких природних компонентів, як екстракт ромашки й олія льону.

Результати експериментальних досліджень із визначення фізико-хімічних показників досліджених піномийних косметичних продуктів зведено у табл. 2.

Наявність у піномийних косметичних засобах комплексу ПАР (табл. 1) сприяє утворенню піни

[1]. Це відбувається за рахунок зменшення поверхневого натягу води. Так, із експериментальних залежностей поверхневого натягу від концентрації (с) на межі поділу фаз розчини ПАР – повітря σ знижуються з 71,65 мН/м до 22,45 – 21,81 мН/м (табл. 2). Спочатку поверхневий натяг різко зменшується, тобто поверхнева активність ПАР зростає [2]. Це пов'язано з поступовим утворенням адсорбційного шару орієнтованих молекул ПАР. Подальше зниження σ зі збільшенням концентрації розчину припиняється, оскільки закінчується насичення їх молекулярного шару.

За піноутворюючою здатністю, яка визначається пінним числом і стійкістю піни, усі досліджені зразки мають хороші показники (табл. 2), що відповідають нормованим значенням [3]. Так, пінне число 345–350 мм не менше за нормовані 145 мм, а стійкість піни 0,9–1,0 одиниць знаходиться в нормованому діапазоні 0,8–1,0 од.

ПАР використовують не тільки для утворення піни, а й для стабілізації мийного продукту та збільшення його в'язкості. За віскозиметричними дослідженнями в'язкість косметичних зразків зростає з 0,854 мПа·с до 1,987–1,997 мПа·с (табл. 2).

Визначення водневого показника pH піномийних косметичних продуктів є важливим етапом оцінювання їх безпечності використання. Так, для досліджених засобів pH змінюється в діапазоні 6,9–7,2 (табл. 2), що також є в межах допустимої норми 3,5–8,5 [3].

Висновки. Встановлено, що за основними фізико-хімічними показниками піномийні косметичні продукти для догляду за волоссям як вітчизняного, так і закордонного виробництва, представлені сьогодні на споживчому ринку України, відповідають нормованим державним стандартам значенням. За аналізом їх композиційних

складників у них виявлено не дуже корисні компоненти, небезпечні для алергіків і людей із чутливою шкірою. Показано, що за композиційними

складниками вітчизняні піномийні косметичні продукти не поступаються засобам закордонного виробництва.

Список літератури:

1. Пилипенко Т., Чигиринець О., Воробйова В., Єфімова В. Дослідження фізико-хімічних показників якості піномийних косметичних засобів. *Технічні науки та технології*. 2016. № 1 (3). С. 222–228.
2. Мчедлов-Петросян М.О., Лебідь В.І., Глазкова О.М., Лебідь О.В. Колоїдна хімія: підручник. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. 500 с.
3. ДСТУ 4315:2004. Засоби косметичні для очищення шкіри та волосся. Загальні технічні умови. Київ, 2005. Держспоживстандарт України. 12 с.
4. Вишнікіна О.В., Лихолат О.А. Хімічна експертиза якості косметичних засобів, що імпортуються в Україну. *Вісник Академії митної служби України. Серія: Технічні науки*. 2009. № 1. С. 55–62.
5. Прокопенко В.П., Кіркова М.С. Дослідження хімічного складу косметичних засобів. *Імідж сучасного педагога*. 2013. № 6. С. 35–36.
6. Суворов А.В. Справочник по клинической токсикологии. Нижний Новгород: Изд-во НГМА, 1996. 180 с.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕНОМОЮЩИХ КОСМЕТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

В статье проведен анализ композиционных составляющих пеномоющих косметических продуктов по уходу за волосами отечественного и зарубежного производства, представленных на сегодняшний день на потребительском рынке Украины. В составе исследованных продуктов обнаружены не очень полезные компоненты, которые опасны для людей с чувствительной кожей и аллергиков. Показано, что по композиционным составляющим отечественные пеномоющие косметические продукты не уступают средствам зарубежного производства. Для исследованных косметических продуктов определены некоторые физико-химические показатели. Сталагмометрическим методом – поверхностное натяжение, вискозиметрическими исследованиями – вязкость, потенциометрическим методом – pH-среды, методом Росс-Майлса – пенообразующую способность. Установлено, что физико-химические показатели пеномоющих косметических продуктов для волос находятся в пределах допустимой нормы.

Ключевые слова: пеномоющие косметические продукты, композиционные составляющие, поверхностное натяжение, вязкость, pH- среды.

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF FOAM CLEANING COSMETIC PRODUCTS

This article presents the analysis of the composition of foam cleaning cosmetic products of domestic and overseas production presented in the consumer market of Ukraine, which are used in the hair care. The analysis of the cosmetics revealed the presence of the components, which are harmful to people with sensitive skin and allergic individuals. It is shown that according to the composition domestic products are equal to the cosmetics produced overseas. For the cosmetic products studied in this article, some physical-chemical parameters were determined. The following methods were used in the determination: stalagmometric method was used to evaluate the surface tension, viscosimetric method – viscosity, potentiometric method – pH of the product, the Ross-Miles method – foaming capacity. It was determined that physical-chemical characteristics of foam cleaning cosmetic products for the hair care are in the normal range.

Key words: composition of foam cleaning cosmetic products, surface tension, viscosity, pH of the product.

УДК 664.8.037.5

Сімахіна Г.О.

Національний університет харчових технологій

Камінська С.В.

Національний університет харчових технологій

Науменко Р.Ю.

Національний університет харчових технологій

НОВІ ПІДХОДИ ДО ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ОЦІНЮВАННЯ ОСНОВНИХ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СВІЖИХ І ЗАМОРОЖЕНИХ ПЛОДІВ І ЯГІД

Першою і надзвичайно важливою технологічною операцією консервування плодово-ягідної сировини заморожуванням є її науково обґрунтований вибір, за якого основна увага приділяється органолептичним показникам. У статті запропоновано нові підходи до наявних методик оцінювання цих показників, зокрема введено показник «стан поверхні» плодів і ягід, оскільки саме він визначає їхню здатність до холодових адаптацій, структурну цілісність після дефростації, а отже, і високу якість продукції. Вперше розширено опис характеристик органолептичних показників свіжої сировини й отриманих із неї заморожених напівфабрикатів, які оцінено за п'ятибальною шкалою, що підвищує об'єктивність і результативність такого аналізу.

Ключові слова: плодово-ягідна сировина, органолептичні властивості, заморожування, оцінювання, зовнішній вигляд, стан поверхні, колір, смак.

Постановка проблеми. Сьогодні загально визнано: зберігання плодово-ягідної сировини впродовж року без істотних втрат цінних біокомпонентів (дефіцитних у раціонах харчування населення України) з використанням штучного холоду є найефективнішим способом її консервування.

Усіх цих ефектів реально досягти лише за умови, що вихідна сировина має необхідну харчову та біологічну цінність, належні сенсорні та гігієнічні показники.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останніми дослідженнями, перелік цих критеріїв значно розширено [1], що дало можливість всебічно обґрунтувати вибір плодів і ягід для заморожування і тривалого зберігання. Такий підхід тим більш важливий, що використання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів найбільш інтенсивно проходить у зимово-весняний період за відсутності свіжої сировини, і вони стають практично єдиним натуральним джерелом аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, у т. ч. антоціанів, каротиноїдів та інших вітамінів-антиоксидантів, а також пектинових речовин і мінеральних елементів.

Серед критеріїв оцінки придатності плодів і ягід до заморожування [2] одними з найважливіших є органолептичні показники. За ними оці-

нюють також заморожені напівфабрикати і готову продукцію. Зовнішній вигляд, колір, аромат, смак насамперед впливають на вибір споживача, тому не дивно, що сенсорна модифікація харчових продуктів [3] має таке давнє застосування.

Важливими резервами поліпшення органолептичних і якісних показників заморожених продуктів і напівфабрикатів є дотримання оптимальної температури зберігання (-18°C), використання нових пакувальних матеріалів [4], попереднє оброблення плодів і ягід кріопротекторами [5] у поєднанні з «шоковим» заморожуванням [6], раціональні способи дефростації, які забезпечують мінімальні втрати клітинного соку [7]. Від зазначених чинників безпосередньо залежить також харчова та біологічна цінність страв, приготованих із заморожених напівфабрикатів у закладах ресторанного господарства чи в домашніх умовах.

Оцінка харчової та біологічної цінності заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів за такими важливими показниками, як вміст аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, антоціанів, цукрів, органічних кислот, харчових волокон [8] дала підстави віднести самі напівфабрикати й отримані на їхній основі готові вироби до високоякісних, здатних цілорічно забезпечити нутритивні потреби усіх верств населення в есенціальних мікронутрієнтах

відповідно до індивідуальних фізіологічних потреб людини, в т. ч. в екстремальних умовах життєдіяльності [9].

Зовнішній вигляд, що включає форму, величину, забарвленість, ступінь зрілості, свіжість тощо, вважається комплексним показником. Виявлена дегустатором невідповідність плодів і ягід за зовнішнім виглядом робить недоцільним використання інших критеріїв оцінки [10].

Однак навіть у сучасних роботах досі не розроблено чітких критеріїв оцінки зазначених показників, не розширено їх перелік ні для свіжої, ні для замороженої сировини [11]. Досі діє один стандарт – ДЕСТ 8756.1 «Продукти харчові консервовані. Методи визначення органолептичних показників», який не враховує постійно зростаючих вимог до якості сировини і готових продуктів і в якому замороженим напівфабрикатам майже не приділяється увага.

Ускладнюється все й тим, що сукупність ознак, які характеризують органолептичні властивості сировини і готових продуктів, визначається лише візуально, що не виключає помилок і суб'єктивності результатів дегустаційного аналізу. Тому, зважаючи на важливість сенсорної оцінки харчових продуктів і з метою вдосконалення наявних методик, у нашій роботі ми розглянемо саме таке питання.

Постановка завдання. На основі літературних даних і за результатами власних досліджень розширити трактування характеристики показників органолептичних властивостей свіжих плодів, ягід і отриманих із них заморожених напівфабрикатів для надання їм достатньої об'єктивності, розробити п'ятибальну шкалу оцінювання кожного показника, що загалом підвищує вимоги до сировини і гарантує високу якість заморожених продуктів упродовж усього терміну зберігання і після дефростації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати не потребують додаткового використання штучних антиоксидантів, консервантів, барвників, інших хімічних сполук. Вони є прекрасною основою для приготування різноманітних страв, у т. ч. дієтичних, низькокалорійних, для дитячого і геронтологічного харчування. Вони відіграють важливу роль у створенні в Україні індустрії здорового харчування як пріоритетного сучасного напрямку розвитку харчової промисловості в усьому світі [12]. Тому розширення асортименту заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів і його реалізація на внутрішньому та зовнішньому ринках має

також важливе соціально-економічне значення для України.

Заморожування плодів і ягід, у т. ч. дикорослих, відкриває широкі можливості найбільш повно зберегти вирощений урожай, що має сезонний характер, доставити його до столу споживача з тим багатим розмаїттям біологічно активних речовин, які синтезовано у сировині природою, і використовувати її у міжсезонний період, досягаючи таких же позитивних ефектів на організм людини, як і від свіжих плодів і ягід.

Виробництво заморожених напівфабрикатів дає можливість забезпечити різні регіони України високовітамінною продукцією, зокрема тією, яка в певних місцях не вирощується, і таким чином найповніше забезпечити потреби споживачів.

Переваги використання заморожених напівфабрикатів для виготовлення готових страв досить різнобічні, для їх приготування потрібно вдвічі менше часу, ніж для свіжих; витрати часу зменшуються також за рахунок використання готових заморожених страв, особливо в упаковці, що дозволяє здійснювати їх безпосереднє розігрівання; під час роботи із замороженими продуктами і напівфабрикатами значно поліпшуються санітарно-гігієнічні умови приготування їжі – як у сфері ресторанного господарства, так і в домашніх умовах. Все це дуже важливо, адже роль ресторанного господарства постійно зростає, вимагаючи пошуку нових шляхів удосконалення якісних і органолептичних показників їжі, розширення її асортименту і гарантії абсолютної безпеки для споживачів. Швидке приготування їжі із заморожених напівфабрикатів набуває особливого значення в санаторно-курортних закладах, місцях літнього і зимового відпочинку, туристичних базах тощо.

Отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів дає можливість не лише їх безпосереднього використання, а й забезпечення сировиною інших галузей харчової промисловості та сфери ресторанного господарства – наприклад, у виробництві фруктових і молочних кремів, морозива, смузі, желе, коктейлів тощо. Заморожування і зберігання в оптимальних умовах плодово-ягідної сировини забезпечує консервування навіть надлишкової її кількості в урожайні роки і раціональне використання за меншої урожайності. Це відкриває перспективи не лише для внутрішнього ринку, а й для зарубіжного.

Зважаючи на те, що і за органолептичними показниками, і за якісним складом заморожена продукція повинна найменшою мірою відрізнятися

Характеристика основних органолептичних показників свіжих і заморожених плодів і ягід

Показник	Предмет дослідження – плоди та ягоди	Характеристика
зовнішній вигляд	свіжі	чисті, свіжі, з плодоніжками (малина, ожина), без плодоніжок, однорідні за ступенем зрілості (без недозрілих і перезрілих), з наявністю воскового нальоту різного ступеня інтенсивності, відповідної форми
	заморожені	чисті, заморожені, з наявністю сизуватого нальоту, тургор пружний, не зім'яті, форма – збережена
смак	свіжі	властивий певному виду, без стороннього смаку, смак – кислий, солодкий, терпкий, гіркуватий, пряний або їх комбінації
	заморожені	властивий певному виду, без стороннього смаку, смак – кислий, солодкий, терпкий, гіркуватий, пряний або їх комбінації; внаслідок холодового стресу смак може дещо змінюватися
колір	свіжі	властивий певному виду, відповідає з'ємній зрілості, інтенсивність кольору є маркером зрілості
	заморожені	властивий певному виду, відповідає з'ємній зрілості, інтенсивність кольору є маркером зрілості; відсутнє відхилення від природного кольору; можливе посилення інтенсивності кольору за рахунок синтезу антоціанів як реакції плоду на холодний стрес
стан поверхні	свіжі	суха, чиста, без захворювань та ушкоджень шкідниками, без ознак в'янення; залежно від помологічного сорту може бути зволожена; з'ємної зрілості та забарвлення; покривна тканина щільна
	заморожені	чиста, дещо зволожена, з природним тургором, без ушкоджень шкірного покриву, з'ємної зрілості та забарвлення, без утрат клітинного соку
аромат	свіжі	властивий певному виду (слабкий, сильний, тонкий, ніжний)
	заморожені	властивий певному виду (слабкий, сильний, тонкий, ніжний); може посилюватися внаслідок холодового стресу

Бальна оцінка органолептичних показників

Показник	Співвідношення характеристики і кількості балів				
	5	4	3	2	1
зовнішній вигляд	чисті, свіжі, без дефектів і мікробіологічних ушкоджень, однорідні	чисті, свіжі, без дефектів та ушкоджень, до 5% недозрілих	чисті, свіжі, без дефектів та ушкоджень, до 7% недозрілих або перезрілих	дещо прив'ялі, неоднорідні за формою, понад 10% некондиційних	прив'ялі, неоднорідні, з дефектами та мікробіологічними ушкодженнями
смак	відсутність стороннього присмаку; ознаки, характерні для цього виду	ледь помітний сторонній присмак	стійкий помітний сторонній присмак	стійкий виражений сторонній присмак, невластивий для цього виду	неприємний сторонній присмак продукту, що псується
колір	характерний для цього виду зрілого матеріалу, інтенсивний, насичений	відповідає цьому виду, дещо менш інтенсивний	інтенсивність кольору знижена за рахунок розпаду антоціанів	переходить від натурального до буро-коричневого	тьмянний, темно-коричневий, неприємний
стан поверхні	чиста, без дефектів та ушкоджень шкідниками, без тріщин і плям, глянцева або матова	чиста, без дефектів та ушкоджень, без тріщин і плям, зниженої матовості або глянцевої	має незначні ушкодження, деякі ознаки псування (поява плям, тріщин), тьмяність	значні ушкодження шкідниками, плямистість, тріщини	дефекти, тріщини, ознаки негативних біохімічних процесів
аромат	відсутність стороннього запаху, аромат властивий певному виду, насичений, яскраво виражений	поява ледь помітного стороннього запаху, аромат насичений, виражений	стійкий помітний сторонній запах, невластивий цьому виду, з переважанням природного аромату	виражений сторонній запах	запах гнилі

Примітка: плоди та ягоди, які отримали оцінку «1» та «2» бали, не рекомендуються для заморожування.

Бальна оцінка органолептичних показників

Показник	Співвідношення характеристики і кількості балів				
	5	4	3	2	1
зовнішній вигляд	чисті, заморожені, із сизуватим нальотом, тургор пружний, цілісність покриву не порушена, форма збережена	чисті, рівномірно заморожені, тургор пружний, прим'яті не більше 2–3%.	чисті, рівномірно заморожені, деяка частина матеріалу (до 5%) деформована	сизо-бурий наліт, значна деформація та порушення цілісності	більшість об'єктів деформовані, наявні мікробіологічні ушкодження
смак	відсутність стороннього присмаку, смак ідентичний свіжим об'єктам	наявний ледь помітний сторонній присмак як результат холодового стресу	сторонній присмак більш інтенсивний	виражений сторонній присмак із появою гіркового післясмаку	різкий неприємний сторонній смак
колір	інтенсивний, насичений, відповідає з'ємній зрілості, можливе посилення інтенсивності за рахунок синтезу антоціанів внаслідок холодового стресу	відповідає цьому помологч-ному сорту, насичений, можливе легке знебарвлення	знебарвлення більш виражене, можливе незначне побуріння верхнього шару	істотне знебарвлення, втрата природного кольору, об'єкти набули бурого забарвлення	побуріння значної частини плодів і ягід, колір неприємний
стан поверхні	без дефектів та ушкоджень кристалами льоду, без тріщин, без утрат клітинного соку, без зміни форми плодів і ягід	без дефектів та ушкоджень, незначні тріщини без утрат клітинного соку	дещо змінена форма, трапляються прим'яті екземпляри (до 5%), незначні тріщини	ступінь деформації вищій, прим'яті екземплярів до 10%; форма значно змінена	деформованих плодів і ягід понад 10%, решта мають ушкодження поверхні
аромат	властивий свіжим плодам і ягодам; може посилюватися внаслідок синтезу ароматуючих сполук під впливом холодового стресу; без сторонніх запахів	натуральний, без сторонніх запахів; може дещо ослаблюватися	помітний сторонній запах з одночасним ослабленням натурально-го аромату	слабкий натуральний аромат із переважанням стороннього запаху	достатньо виражений сторонній запах як результат негативних ферментативних процесів

Примітка: заморожені плоди і ягоди, які оцінено в 3 бали, придатні до нетривалого зберігання (1 місяць), а ті, що отримали 1 і 2 бали, не придатні до зберігання і повинні направлятися на перероблення.

від свіжих плодів і ягід (власне, це і є основним критерієм досконалості технології заморожування), у нашій роботі вперше подано характеристику і сировини, і отриманих із неї заморожених напівфабрикатів.

Оскільки йдеться про заморожування цілих плодів і ягід, показник «консистенція», який нині використовується, ми замінили на інший – «стан поверхні», оскільки саме станом поверхні об'єктів переважно визначається їхня здатність до холодних адаптацій, тривалого зберігання і мінімальних утрат клітинного соку під час дефростації. Отримані результати наведено в табл. 1–3.

Наведені органолептичні показники свіжих плодів і ягід було оцінено за розробленою п'ятибальною шкалою (табл. 2).

Наведені в табл. 1 органолептичні показники заморожених плодів і ягід оцінено за розробленою п'ятибальною шкалою (табл. 3).

Наведені в таблицях результати дають підстави стверджувати, що для заморожування необхідно використовувати, з огляду на органолептичні характеристики, лише здорові, без механічних і мікробіологічних ушкоджень, плоди та ягоди, однорідного складу, з відповідним смаком, кольором, станом поверхні й ароматом, з'ємної зрілості, із щільною покривною тканиною. За запропонованою нами шкалою бальної оцінки цим вимогам відповідають плоди та ягоди, які отримали оцінку від 3 до 5 балів.

Такі вимоги, що ставляться до сировини, важливі для її подальшого перероблення, яке передбачає

вплив низьких температур, можливість руйнування структури утвореними кристалами льоду, процеси, що проходять під час зберігання заморожених плодів та ягід і дефростації.

Плоди та ягоди з оцінкою в 1 та 2 бали, особливо коли йдеться про заморожування їх у цілому вигляді, не можуть бути використані. Кожен ушкоджений і уражений об'єкт не лише погіршує якість готової продукції, є небезпечним у плані мікробіологічного забруднення, а й підвищує трудомісткість підготовчих операцій; збільшення відходів знижує вихід готової продукції та підвищує її собівартість.

Не меншої уваги потребує характеристика замороженої сировини. Плоди та ягоди мають бути здоровими, за ароматом і смаком ідентичними свіжим матеріалам (до речі, під впливом холодного стресу інтенсивність обох цих показників може посилюватися), неушкодженими, недеформованими. Саме це забезпечує їхню здатність до тривалого зберігання. До такої категорії ми віднесли об'єкти з оцінкою в 4 і 5 балів. Оцінка в 3 бали гарантує належну якість продукції за нетривалого (до 1 місяця) зберігання; оцінка в 1 та 2 бали свідчить про непридатність такої продукції до зберігання, її необхідно направляти на перероблення – отримання соків, компотів, пюре тощо.

Висновки. Як і будь-яка прикладна галузь знань, холодоильна технологія харчових продуктів виникла і стрімко розвивається відповідно до практичних запитів – ефективного консервування сезонної сільськогосподарської сировини з мінімальними втратами цінних БАР як після її заморожування, так і в процесі зберігання. Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати за відсутності свіжої сировини є повноцінним джерелом вітамінів-антиоксидантів, вітаміноподібних сполук, мінеральних елементів тощо, які нормалізують функціонування всіх органів і систем організму людини.

Номенклатура регламентованих документами показників оцінки плодів і ягід орієнтована передусім на їхні органолептичні властивості. Більш розширене, науково обґрунтоване трактування основних органолептичних характеристик свіжих плодів і ягід, їх зіставлення з аналогічними показниками заморожених напівфабрикатів, а також удосконалені п'ятибальні шкали оцінювання цих характеристик дають можливість довершити наявні методи сенсорного аналізу під час вибору сировини для заморожування, а відтак – гарантовано забезпечити високу якість замороженої продукції під час зберігання та дефростації, що безпосередньо пов'язано з новим введеним показником – станом поверхні плодів і ягід.

Список літератури:

1. Сімахіна Г.О. Основні показники придатності плодів та ягід до заморожування. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2018. Т. 29. № 1. С. 73–77.
2. Гельфанд С.Ю., Дьяконова Э.В., Медведева Т.Н. Справочник работника лаборатории консервного завода. Москва: Агропромиздат, 1990. 176 с.
3. Сімахіна Г.О., Науменко Р.Ю. Модифікація харчових продуктів: багатоваріантність підходів та пріоритети. *Наукові праці НУХТ*. 2018. Т. 24. № 6. С. 232–240.
4. Богданова О.А., Домбровська О.П. Використання нетрадиційної сировини для тарного картону в харчовій промисловості. *Матеріали VII Міжн. спец. наук.-практ. конф. «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції»*, 13 вересня 2018 р. Київ: НУХТ, 2018. С. 109–111.
5. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Низькі температури у технологіях оздоровчих продуктів: монографія. Київ: Сталь, 2011. 363 с.
6. Волова И.Т. Передовые технологии замораживания продуктов питания. *Мясные технологии*. 2006. № 6. С. 16–17.
7. Белінська С.О. Наукові й практичні засади розроблення рецептур і формування якості швидкозаморожених плодоовочевих продуктів. *Харчова й переробна промисловість*. 2009. № 11–12. С. 26–28.
8. Петрова В.П. Дикорастущие плоды и ягоды. Москва: Лесная промышленность, 1987. 248 с.
9. Українець А.І., Сімахіна Г.О., Стеценко Н.О., Науменко Н.В., Кочубей-Литвиненко О.В. Нові продукти для раціонів військовослужбовців: монографія. Київ: Сталь, 2017. 292 с.
10. Цапалова Э.И. и др. Экспертиза дикорастущих растений. Киев: А. С. К., 2005. 242 с.
11. Заморська І.Л. Теоретичне обґрунтування і розроблення технологій зберігання та консервування ягід суниці садової: автореф. дис. ... док. техн. наук: 05.18.03. Київ, 2018. 40 с.
12. Українець А.І., Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Перспективні технологічні процеси виробництва нових продуктів та дієтичних добавок: підручник. Київ: НУХТ, 2018. 335 с.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ХАРАКТЕРИСТИКЕ И ОЦЕНКЕ ОСНОВНЫХ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЕЖИХ И ЗАМОРОЖЕННЫХ ПЛОДОВ И ЯГОД

Первой и чрезвычайно важной технологической операцией консервирования плодово-ягодного сырья замораживанием является его научно обоснованный выбор, при котором основное внимание уделяется органолептическим показателям. В статье предложены новые подходы к существующим методикам оценки данных показателей, в частности, введен показатель «состояние поверхности» плодов и ягод, поскольку именно он определяет их способность к холодовым адаптациям, структурную целостность после дефростации, а значит, и высокое качество продукции. Впервые расширено описание характеристик органолептических показателей свежего сырья и полученных из него замороженных полуфабрикатов, которые оценены по пятибалльной шкале, что повышает объективность и результативность такого анализа.

Ключевые слова: плодово-ягодное сырье, органолептические свойства, замораживание, оценка, внешний вид, состояние поверхности, цвет, вкус.

THE NEW APPROACHES TO CHARACTERIZING AND ESTIMATING THE ORGANOLEPTIC INDICES OF FRESH AND FROZEN FRUIT AND BERRIES

The first and the extremely important technological operation in preservation of raw fruit and berries is their scientifically substantiated selection with consideration of organoleptic indices. The authors of the article proposed the new approaches to improve the existing methods of estimation; particularly, the novelty index “the state of the surface” was implemented as the factor to define the fruit and berries’ ability to cold adaptations, their structural holity after defrosting, and therefore – the high quality of products. For the first time, the authors broadened the description of organoleptic indices of both the initial raw and the products obtained from it; the 5-grade scale was used for estimation of the products to furthermore increase objectivity and efficacy of such kind of analysis.

Key words: raw fruit and berries, organoleptic indices, freezing, estimation, appearance, state of the surface, color, taste.

Тележенко Л.М.

Одеська національна академія харчових технологій

Вікуль С.І.

Одеська національна академія харчових технологій

Нападовська М.С.

Одеська національна академія харчових технологій

РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ СИРКОВОГО ДЕСЕРТУ ДЛЯ ПРОФІЛАКТИКИ НЕРВОВИХ РОЗЛАДІВ

У статті проаналізовано значення здорового харчування в житті людини й встановлено зв'язок харчування з нервовими розладами. Шляхом інформаційного пошуку виявлено сировину рослинного і тваринного походження, яка містить інгредієнти, рекомендовані для профілактики нервових розладів. Обґрунтовано доцільність об'єднання обраної сировини у вигляді десерту за основними показниками хімічного складу – вмістом вітаміну B_6 і магнію. Проведено моніторинг обраної сировини за показником біологічної активності в системі $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$, з метою подальшого виявлення ефектів синергізму або антагонізму під час створення рецептури десерту. Для підвищення антиоксидантних властивостей складників десерту (бісквітного коржа й сиропу) обґрунтовано параметри (температуру, тривалість, біологічну активність) екстрагування біологічно активних речовин із листя м'яти й меліси, підібрано оптимальну концентрацію отриманого фітоекстракту в продукті. Під час створення рецептури десерту зафіксовано ефект синергізму біологічно активних речовин складників десерту. На основі експериментальних і теоретичних досліджень розроблено науково обґрунтовану технологію приготування десерту, що містить вітамін B_6 і магній у кількості не меншій ніж $\frac{1}{4}$ добової потреби. Проведено комплексну оцінку десерту, що включає сенсорний аналіз і визначення хімічних, фізико-хімічних і біологічних показників якості продукту.

Ключові слова: функціональні продукти, нервові розлади, магній, вітамін B_6 , десерт, антиоксиданти, біологічна активність.

Постановка проблеми. Напружений темп життя призводить до порушень стану психічного й фізичного здоров'я населення. Через нервово-психічні розлади людина втрачає працездатність, виводячи інвалідизацію від психічних захворювань на друге місце серед інших хвороб [1].

За статистикою в Україні майже кожна третя людина страждає від нервових розладів [1]. Сьогодні проблема нервових розладів дуже гостро стоїть не тільки в нашому суспільстві, а й у світі загалом. За прогнозами Всесвітньої організації охорони здоров'я, до 2020 року психічні розлади увійдуть до першої п'ятірки хвороб, що лідирують за кількістю людських працевтрат [1].

Профілактика неврозів є невід'ємною частиною психічного здоров'я людини. Проте, на превеликий жаль, більшість населення не займається профілактикою нервових розладів або використовує лише медичні засоби, не приділяючи уваги організації здорового способу життя.

Сьогодні рівень знань щодо здорового існування людини наголошує, що першочергову увагу треба

приділяти організації індивідуального харчування. У всіх країнах світу сформульована державна політика у сфері здорового харчування, сучасні уявлення про роль харчових продуктів стали складником нової стратегії здоров'я [2, с. 21–22].

У XXI столітті в концепції «здорового» харчування особлива роль відводиться продуктам із функціональними інгредієнтами, які одержують за інноваційними технологіями й розглядають не тільки як джерела пластичних речовин та енергії, а і як складний немедикаментозний комплекс, що позитивно впливає на фізіологічний стан організму людини та має лікувальні, профілактичні або оздоровчі властивості [2, с. 21–22].

До фізіологічно активних речовин, які сприяють нормалізації нервових розладів, зараховують вітаміни групи В, макро-, мікроелементи, лецитин, клітковину та глюкозу, а особливу увагу приділяють таким біологічно активним речовинам, як вітамін B_6 і мікроелемент магній.

Їжа з фізіологічно активними інгредієнтами – це особлива категорія продуктів, що відрізняються

від просто збагачених вітамінами, мінеральними речовинами й іншими дієтичними добавками продуктів. Ця категорія продуктів називається FOSHU (Food for Specified Health Use) – продукти для спеціального оздоровчого використання, які поділяють на 5 груп: імуностимулювальної дії; для запобігання діабету й серцево-судинним захворюванням; для зниження високого рівня холестеролу; для покращення травлення та підвищення рівня абсорбції вітамінів і мінералів; для гальмування старіння [2, с. 21–22].

Попит споживачів на продукти з фізіологічно активними інгредієнтами у світі зростає. Ємність світового ринку таких продуктів сьогодні становить понад 2 мли дол. США. Лідерами з виробництва продуктів із функціональними інгредієнтами є США – 40%, Центральна Європа – 32%, Японія – 25%, інші країни – 3% [2, с. 21–22].

У США основна група продуктів з фізіологічно активними компонентами припадає на напої (48%), зернові (18%), хлібобулочні продукти (16%); у європейських країнах переважають молочні продукти (65%) і консервовані фруктово-молочні функціональні продукти (23%) [2, с. 21–22].

Місце продуктів із фізіологічно активними компонентами визначають як проміжне між продуктами загального вжитку, що входять до раціону основних груп населення, і продуктами лікувального призначення. Позитивний вплив продуктів із функціональними інгредієнтами на організм людини фахівці пов'язують із наявністю в них фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів, які здатні здійснювати біологічно значимий вплив на організм людини загалом або на окремі його органи та системи [2, с. 21–22].

В Україні також приділяють увагу здоровому харчуванню. Згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.01.2013 № 16, видано медичні рекомендації для лікарів загальної практики – сімейної медицини – з приводу консультування пацієнтів щодо основних засад здорового харчування. У цьому Наказі головною концептуальною відмінністю сучасних рекомендацій щодо харчування, які використовуються у практиці лікаря, від традиційних підходів є те, що харчування будь-якої людини, у тому числі дієтичне, базується на чотирьох головних складниках: адекватності енергетичним витратам, збалансованості за вмістом найважливіших продуктів і нутрієнтів, безпечності їжі й максимально можливого задоволенні від споживання [3, с. 139].

Особливу роль у здоровому харчуванні бажано приділяти різноманітним солодким стравам, спо-

живання яких має низку позитивних моментів, зокрема солодкі страви відіграють важливу роль у постачанні організму необхідних поживних речовин і сприяють психологічному задоволенню від споживання [7; 8, с. 10–11; 9, с. 14–15].

Асортимент солодких страв дуже різноманітний. До складу таких страв включені свіжі і швидкозаморожені плоди та ягоди, компоти, киселі, желе, муси, самбуки, креми, суфле, пудинги тощо [11, с. 64–65; 12, с. 30–31; 13, с. 82–89].

У сучасній українській кухні для приготування солодких страв використовують свіжі, сушені й консервовані плоди та ягоди, фруктово-ягідні сиропи, соки, екстракти, які містять різні мінеральні речовини, вітаміни, вуглеводи, ефірні олії, харчові кислоти й барвники. До складу деяких солодких страв входять молочні продукти – молоко, вершки, сметана, вершкове масло, кисломолочний сир, а також яйця, крупи, багаті на білки й жири. Ароматичними і смаковими речовинами солодких страв є ванілін, кориця, цедра цитрусових, лимонна кислота, кава, какао, вино, родзинки, горіхи тощо [9, с. 14–15; 14, с. 10–12; 15].

Молочні десерти мають значний попит у населення. До молочних десертів можна зарахувати морозиво, різні молочні пудинги, муси й желе, йогурти, солодкі сирні маси [10; 16, с. 9–11; 17, с. 97].

Незважаючи на те що кількість споживачів, які стабільно купують сирні десерти, сьогодні невелика, але навіть при низькому, але стабільному споживанні продукції є перспектива розвитку бренду зі збільшенням обсягів продажів за рахунок асортиментної лінійки.

Дані досліджень TNS свідчать, що структура частоти споживання сирних десертів у динаміці за рік практично не зазнала змін в основній групі споживачів, яка об'єднує тих, хто споживає солодку молочну продукцію з частотою від 2...3 разів на тиждень до 2...3 разів на місяць. Саме така стабільність дає підставу вважати, що процеси формування сегментів споживання тривають [18, с. 14].

Ринок кисломолочних продуктів у сегментах сирних десертів розвивається під впливом глобального тренду харчового ринку – прагнення кінцевого споживача отримувати корисний продукт, у тому числі й вироблений промисловим способом. Цей тренд виявляється у вимогах споживача, зосереджених за двома основними напрямками: придбання десертів з меншим умістом жирів і технологічних добавок. Так, у структурі продажів лідирують сирні десерти з умістом жиру 4%. Щодо добавок, які вводяться для додання

виробам необхідної консистенції, продовження термінів реалізації та смакоароматичних характеристик, споживачі орієнтуються на натуральність подібних інгредієнтів [19, с. 61].

В основу технологій створення харчових продуктів на поточному етапі закладено модифікацію традиційних продуктів, завдяки чому підвищується вміст у них корисних інгредієнтів до рівня, співвідносного з фізіологічними нормами їх уживання (10...50% від їх добової потреби) [4, с. 213–221; 5; 6].

Отже, обґрунтування рецептури та розроблення технології сирного десерту для профілактики неврозів із застосуванням сировини рослинного і тваринного походження з умістом вітаміну В₆ і магнію є перспективним напрямом наукових досліджень та актуальним завданням, що дасть змогу розширити асортимент страв, підвищити їх харчову та біологічну цінність і раціонально використовувати нативні компоненти сировини.

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування розроблення технології виробництва десерту з рекомендованим співвідношенням вітаміну В₆ і магнію з підвищеною біологічною активністю для профілактики нервових розладів; виявлення ефектів синергізму й антагонізму завдяки взаємодії біологічно активних речовин під час створення рецептури складників десерту.

Для проведення експериментальних досліджень проаналізовано хімічний склад сировини, підготовлено зразки складників десерту та виготовлено десерт.

У дослідженні використовували стандартні й загальноприйняті методи визначення: масова частка розчинних сухих речовин – ГОСТ 28562; масова частка вологи – ГОСТ 3626; титрована кислотність – титруванням лугом за ДСТУ 4957; активна кислотність (рН) – ГОСТ 26781; біологічна активність у системі [NAD·H₂-K₃Fe(CN)₆.] [20]; визначення вмісту магнію – ГОСТ EN 15505-2013, дегустацію десерту проводили закритим способом за 5-бальною шкалою (ISO 6564:1985), вітаміну В₆ – розрахунковим методом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розроблення рецептури десерту полягало у виборі сировини, багатой на вітамін В₆ і мікроелемент магній, і знаходженні рекомендованого співвідношення цих компонентів в експериментальних зразках з метою забезпечення водночас належних смакових якостей, наявності нутрієнтів у кількості не меншій ніж ¼ від добової потреби та отримання продукту з підвищеною біологічною активністю.

Як сировину обрано кисломолочний сир, молоко коров'яче, волоські та кедрові горіхи, банани, какао, м'ята, меліса, яйця курячі, борошно пшеничне й желатин. Уміст основних нутрієнтів: вітаміну В₆ і магнію – наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Уміст вітаміну В₆ і Mg у сировини (мг/100 г) [21; 22; 23]

Сировина	В ₆	Mg
Сир кисломолочний	0,19	23,00
Банани	0,30	37,00
Волоські горіхи	0,80	120,00
Кедрові горіхи	0,09	251,00
Молоко	0,05	14,00
Желатин	-	80,00
Яйця	0,14	12
Борошно пшеничне	0,17	16
Какао порошок	-	425
М'ята	0,129	80
Меліса	0,16	63

Більша частина обраної сировини, окрім вітаміну В₆ і магнію, багата на речовини, які володіють антиоксидантними властивостями.

Так, антиоксидантна система молока та молочних продуктів представлена ферментними (каталаза, пероксидаза, пероксиддисмутаза, тощо) й неферментними (вітаміни А, Е, С, SH-з'єднання, іони металів Zn²⁺, Se²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺) компонентами. Окрім цього, у молоці наявні синергісти – речовини, які відновлюють антиоксиданти, такі як лимони, вина, молочна кислота [24, с. 264–265; 25, с. 451–453; 26, с. 14–24].

Антиоксидантна система горіхів дуже різноманітна. Так, волоські горіхи містять такі рідкісні антиоксиданти, як юглон, а також таніни і флавоноїди. Ядра кедрового горіху багаті вітамінами групи В, вітамінами Е і К, а білок кедрових горіхів відрізняється від більшості продуктів підвищеним вмістом лізину (до 12,4 г/100 г білка), метіоніну (до 5,6 г/100 г білка) і триптофану (3,4 г/100 г білка) як найбільш дефіцитних амінокислот.

Банани містять багато природних антиоксидантів з фенольної групи та велику кількість різноманітних вітамінів – В₅, В₂, В₁, В₉, Е, К, РР, С – і мінералів. Користь бананів полягає у високому рівні піридоксину – вітаміну В₆. У 100 грамах м'якоті плоду міститься близько 25% добової норми цього вітаміну [27].

Багато різних антиоксидантів міститься в стиглих зернах какао, що повністю зберігається в какао порошку: проантоцианідини (5–7 г/100 г),

флаванолі – епікатехін і катехін (0,35 мг/100 г), ресвератрол, флавоноли (кверцетин, кверцетин глюкозид), флаволи (лютеолін, орієнтин, ізоорієнтин), флаванони, оксіароматичні кислоти (ферулова, кавова, бузкова, ванілінова, кумаринова, хлорогенова тощо) [28, с. 46–47].

М'ята – потужний природний антиоксидант, що містить розмаринову кислоту, хлорогенову й кавову кислоти. Крім ефірного масла, в рослині м'яти перцевої містяться флавоноїди, дубильні речовини, вітаміни (каротин, вітаміни С і Р) і бетаїн [29].

У мелісі виділяється значна кількість флавоноїдів, серед яких – ізокверцитин, лютеолін, рамназин, цинарозид, апігенін тощо. Доповнюють комплексний лікувальний вплив дубильні речовини, смоли, стерини, сапоніни, слизи й кумарини. Крім цього, меліса є джерелом вітамінів групи В, аскорбінової кислоти і провітаміну А. Також у мелісі містяться кавова, бузкова, ферулова, ванілінова та інші кислоти [30].

Під час розроблення багатокomпонентних харчових систем із заданими профілактичними властивостями можливі синергетичні й антагоністичні ефекти взаємодії біологічно активних речовин складників рецептури десерту.

Тому становить інтерес визначення показника біологічної активності, величина якого враховує два основні фактори: міжмолекулярні взаємодії інгредієнтів, що входять до складу сировини, і кооперативний внесок біологічно-активних компонентів в інтенсивність електронного транспорту, що моделює енергетичний гомеостаз організму.

Критерій оцінювання біологічної активності сировини рослинного і тваринного походження оснований на каталізі перенесення електронів продуктом у системі «відновлений нікотинамідаденіндинуклеотид – фериціанід калію» [20].

На першому етапі досліджень визначена біологічна активність обраної сировини в системі $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$ з метою подальшого виявлення ефектів синергізму або антагонізму під час створення рецептури десерту. Дані експерименту представлені на рис. 1.

Експериментальні дані визначення біологічної активності в системі $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$ свідчать, що здатність біологічно активних речовин обраної сировини окислювати $NAD \cdot H_2$ до NAD є різною. Найбільшу біологічну активність мають какао, волоські та кедрові горіхи – 6000, 3500, 1562 ум. од. відповідно. Найменшу біологічну активність має кисломолочний сир – 90 ум. од. Таку розбіжність значення показника біологіч-

ної активності між сировиною можна пояснити різним складом біологічно активних речовин, які проявляють антиоксидантні властивості.

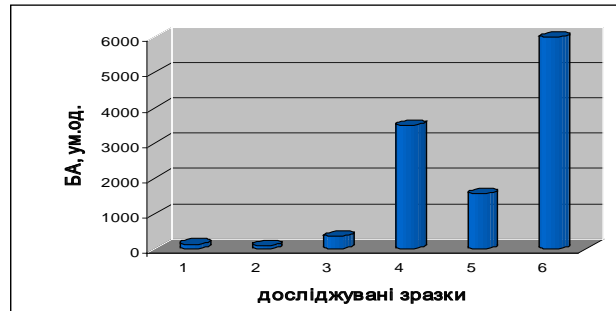


Рис. 1. Біологічна активність сировини в системі $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$: 1 – молоко коров'яче, 2 – кисломолочний сир, 3 – банани, 4 – волоські горіхи, 5 – кедрові горіхи, 6 – какао

Для збагачення біологічно активними речовинами та підвищення антиоксидантних властивостей складників десерту (бісквітного коржа й сиропу) запропоновано використовувати просочувач з екстракту пряно-ароматичної сировини (далі – ПАРС). Основні критерії під час вибору ПАРС такі: наявність біологічно активних речовин із заданими функціональними властивостями, дозвіл органів Держсанепіднагляду для застосування в харчовій промисловості й закладах ресторанного та лікувально-санаторного господарства, технологічність у застосуванні. Отже, як сировина з функціональними інгредієнтами відібрані листя меліси лимонної й м'яти перцевої з високим вмістом ефірних олій та інших фізіологічно активних речовин, що підсилюють фізіолого-терапевтичні властивості десерту, збуджують діяльність смакових рецепторів та органів травлення, викликають апетит, надають страві оригінального присмного смаку й аромату.

Рецептурний склад просочувача включає в себе фітоекстракти рослинної сировини з уведенням 0,1% розчину ванілі.

Під час визначення рекомендованих параметрів екстракції важливо не тільки встановити необхідні умови для максимального вилучення сухих речовин із вихідної сировини, а й запобігти руйнуванню біологічно активних сполук. Головним критерієм у пошуку параметрів екстрагування обрано показник біологічної активності.

Користуючись рекомендаціями Л.А. Осипової [31, с. 36] щодо вибору температури екстракції, враховували, що під час підвищення температури екстрагента відбувається, з одного боку, прискорення процесу екстрагування, з іншого боку, руйнування біологічно активних сполук, що

призводить до погіршення якості екстрактів. Це пов'язано з тим, що в процесі нагрівання екстрагенту понад 40 °С інтенсифікуються реакції меланоїдиноутворення, окислення й полімеризації термолабільних ароматичних речовин і фенольних сполук, з'являється трав'янистий, лікарський присмак, змінюється колір. У зв'язку з вищезазначеним нами обрано температура екстракції 40 °С. Під час приготування фітоекстрактів використовували свіжу рослину, пряно-ароматичну сировину якої подрібнювали до розмірів часток 1...3 мм, заливали екстрагентом (гідромодуль 1:20). Як екстрагент обрано вода. Адаптуючись до закладів ресторанного та санітарно-курортного господарства, повний час екстракції обмежили 60 хвилинами, з розрахунку приготування складників десерту бісквітного коржа й сирної основи. Для визначення оптимальних параметрів екстрагування кожні 15 хвилин визначали біологічну активність настоїв у системі $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$. Дані експерименту представлені на рис. 2.

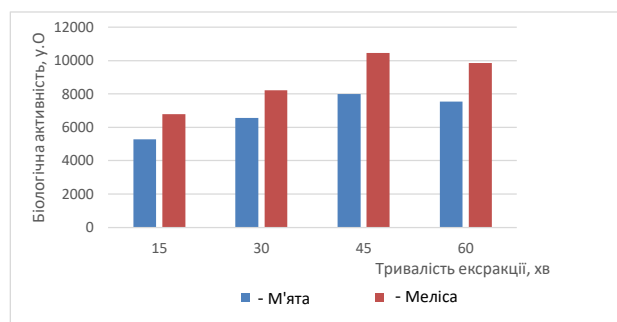


Рис. 2. Залежність біологічної активності водних екстрактів рослинної сировини від тривалості екстрагування: 1 – м'ята, 2 – меліса

Максимальне значення показника біологічної активності фітоекстрактів, отриманих із листя м'яти й меліси, визначається на 45 хвилині екстрагування. Далі з продовженням процесу екстрагування біологічна активність незначно знижується. Тому для отримання фітоекстрактів із рослинної сировини обрано такі параметри: температура екстрагування – 40 °С, тривалість екстрагування – 45 хв.

З обраної сировини розроблено рецептури складників десерту, співвідношення компонентів яких представлено таблиці 2.

У ході створення рецептури десерту здорового харчування може виявитись як позитивний, так і негативний біологічний ефект унаслідок взаємодії біологічно активних речовин складників. Тому ефекти синергізму або антагонізму спостерігали під час визначення показника біологічної актив-

ності в системі $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$. Дані експерименту наведені на рис. 3.

Таблиця 2

Компонентний склад складників десерту

Компоненти десерту	Масова частка компонента в рецептурі, %
Компонентний склад сиркової основи (маса – 120 г)	
Кисломолочний сир	36
Банани	36
Волоські горіхи	3
Кедрові горіхи	3
Молоко	20
Желатин	2
Компонентний склад бісквітного коржа (маса – 90 г)	
Борошно пшеничне	45
Яйця курячі	6,4
Цукор	45
Екстракт меліси або м'яти	3,6
Компонентний склад шоколадного сиропу (маса – 25 г)	
Какао-порошок	26
Цукор-пісок	13
Екстракт меліси або м'яти	10
Вода	51
Загальна маса десерту – 235 г	

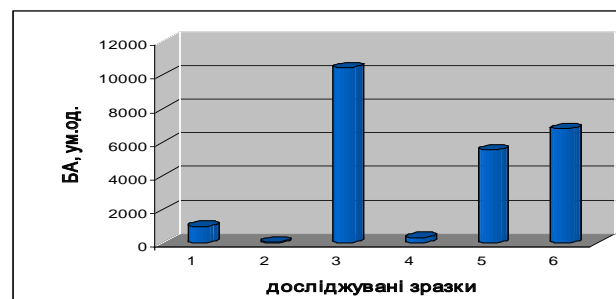


Рис. 3. Біологічна активність десерту і складників: 1 – основа, 2 – бісквітний корж, 3 – просочувач (екстракт меліси), 4 – бісквітний корж, просочений фітоекстрактом, 5 – шоколадний сироп, 6 – десерт

Як свідчать дані експерименту, сиркова основа й бісквітний корж мають біологічну активність 980 і 56 ум. од. відповідно. У разі просочування бісквітного коржа фітоекстрактом виявляється ефект синергізму за рахунок активації біологічно активними речовинами фітоекстракту, який має найбільшу біологічну активність серед інших компонентів десерту. Використання всього 3,6% фітоекстракту як просочувача підвищує показник біологічної активності бісквітного коржа в 6 разів.

Поєднання всіх компонентних складників, у тому числі шоколадного сиропу (біологічна

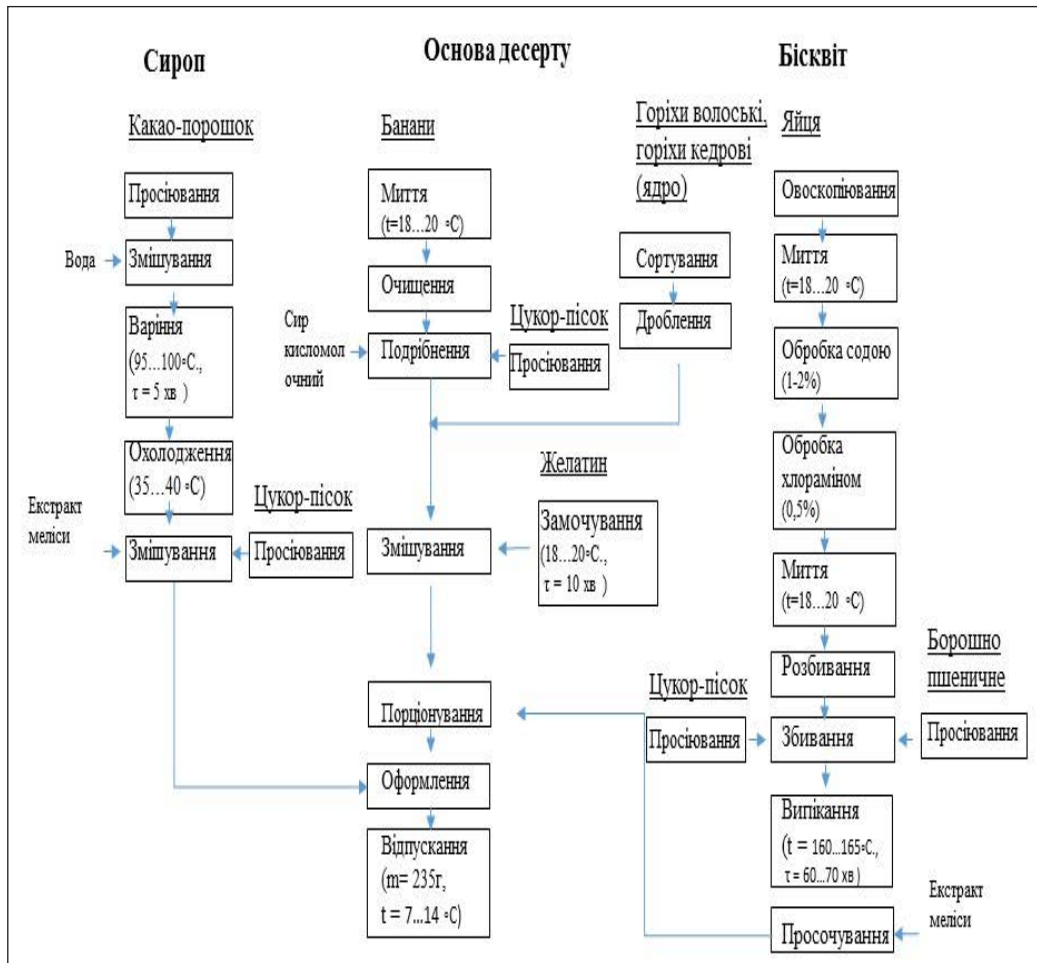


Рис. 4. Векторна схема технології приготування десерту «No stress»

активність якого – 5542 ум. од.), дає змогу створити продукт із високою біологічною активністю, яка для всієї маси розробленого десерту становить 6813 ум. од.

Грунтуючись на теоретичних та експериментальних дослідженнях, з урахуванням підбраного компонентного складу розробили технологічну схему виготовлення десерту, векторна схема якої наведена на рис. 4.

Якість розробленого десерту визначена шляхом проведення комплексної оцінки, що враховувала сенсорний аналіз, біохімічні, хімічні та фізико-хімічні показники (рис. 5, таблиця 3).

Сенсорний аналіз десерту проводили в лабораторії сенсорного аналізу Одеської національної академії харчових технологій профільним методом «флейвор». Головними критеріями якості обрано смак, аромат, солодкість, післясмак, консистенція. Оцінювання отриманих десертів проводили саме за цими показниками, використовуючи 5-бальну шкалу (0 – ознака відсутня; 1 – неприпустимо; 2 – погано; 3 – задовільно; 4 – добре; 5 – відмінно).

Дані дегустаційної оцінки десерту представлено на профілограмі (рис. 5).

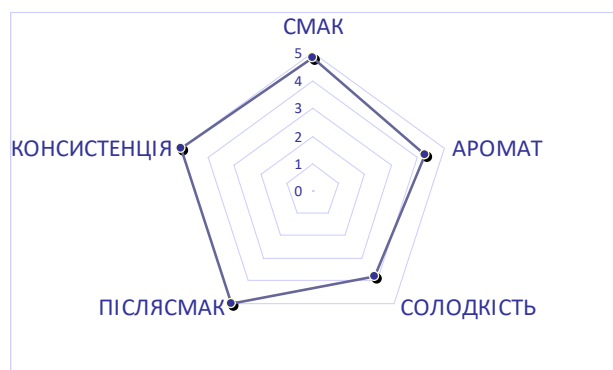


Рис. 5. Профілограма органолептичних показників десерту

З профілограми видно, що розроблений десерт за сенсорними показниками є гармонійним, так як багатокутник займає велику площу й наближається до правильного за геометричною формою. Інші показники зведені в таблицю 3.

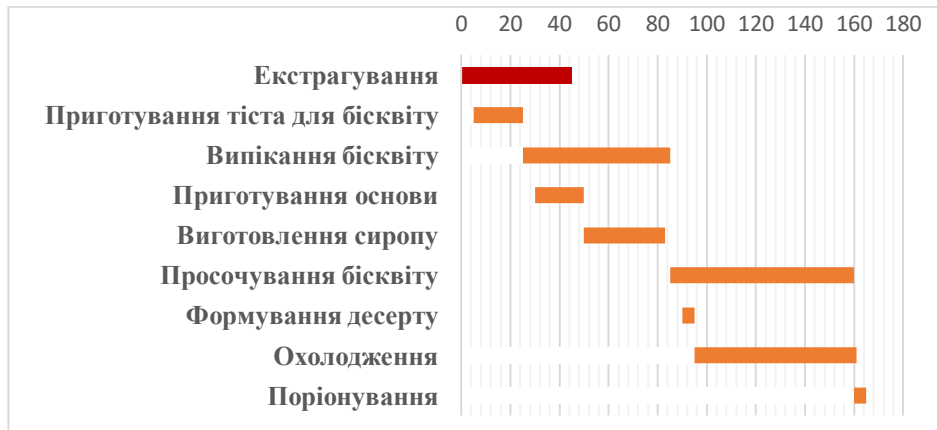


Рис. 6. Діаграма Ганта

Таблиця 3
Органолептичні, фізико-хімічні, біологічні показники десерту

Найменування показника	Опис показника й уміст
Органолептичні показники	
Зовнішній вигляд	Збита, неоднорідна маса, добре утримує форму
Консистенція і структура	Збита маса зі шматочками горіхів і драгелеподібною начинкою
Смак і запах	Солодкий смак із вираженим сирково-горіховим смаком із запахом банану
Фізико-хімічні показники	
Титрована кислотність, Т	25,5
Активна кислотність, рН	5,8
Масова частка вологи, %	57,9
Масова частка сухих речовин, %	43,1
Вітамін В ₆ , мг	0,54
Магній, мг	131,13
Біологічна активність, ум. од.	6813

Отримані результати свідчать, що десерт, виготовлений згідно з розробленою рецептурою, містить рекомендовані частки вітаміну В₆ і магнію, що дає змогу задовольнити 25% від добової норми їх споживання. Про наявність інших біологічно активних сполук у десерті свідчить показник біологічної активності, який становить 6813 ум. од.

Одним із важливих показників якості виготовлення страв є короткостроковий термін приготування, що також важливо для запобігання мікробіологічній контамінації та окисним перетворенням. Зробити якомога меншим критичний шлях виготовлення страв можна шляхом удосконалення технології й побудови діаграми Ганта.

Процес екстрагування, приготування тіста для бісквіту та його випікання можна поєднати в часі, що дасть можливість скоротити загальну тривалість процесу. Також необхідно раціонально підходити до одночасного проведення інших технологічних процесів, як це показано на діаграмі (рис. 6).

Застосування таких технологічних рішень дає змогу скоротити загальний термін виробництва десерту до 160 хвилин, що за умови виготовлення продукту в їдальнях при лікувальних і санаторно-курортних закладах є бажаним.

Отже, підібрані компоненти сировини та застосування технологічних рішень дадуть можливість отримати десерт спеціального призначення, який може бути використано для профілактики невротичних станів.

Висновки. Проаналізовано значення здорового харчування в житті людини й встановлено зв'язок харчування з нервовими розладами.

Шляхом інформаційного пошуку виявлено сировину рослинного і тваринного походження, яка містить інгредієнти, рекомендовані для профілактики нервових розладів, та обґрунтована доцільність об'єднати обрану сировину у вигляді десерту за основними показниками хімічного складу – вмістом вітаміну В₆ і магнію.

Проведено моніторинг обраної сировини за показником біологічної активності в системі [NAD·H₂-K₃Fe(CN)₆] з метою подальшого виявлення ефектів синергізму або антагонізму під час створення рецептури десерту. Встановлено, що обрана сировина біологічно активна, оскільки швидкість перенесення електронів у системі NAD·H₂-K₃Fe(CN)₆ збільшується в її присутності, що підтверджує наявність компонентів з антиоксидантною дією.

Визначені режими отримання фітоекстрактів з листя м'яти й меліси: температура екстракції – 40 °С, час екстракції – 45 хв., що дає змогу досягти максимального значення біологічної активності – 8000 і 10450 ум. од. відповідно. Установлено, що в процесі просочування бісквітного коржа фітоекстрактом виявляється ефект синергізму. Використання всього 3,6% фітоекстракту як просочувача підвищує біологічну активність бісквітного коржа в 6 разів.

Розроблено рецептури складників десерту й технологію виробництва десерту для профілактики невротичних станів. Згідно з розробленою рецептурою, десерт містить рекомендовані частки вітаміну В₆ і магнію, що дає змогу задовольнити 25% від добової норми їх споживання. Про наявність інших біологічно активних сполук у десерті свідчить показник біологічної активності, який становить 6813 ум. од.

Список літератури:

1. URI: <https://tsn.ua/ukrayina/ukrayina-posidaye-pershe-misce-za-kilkist-psihichnih-rozladiv-u-yevropi-1009380.html> (дата звернення: 05.11.2018).
2. Чагаровський О.П., Дідух Н.А., Лисогор Т.А. Нові молочні продукти функціонального призначення – крок до здорового харчування. *Молочное дело*. 2009. № 4. С. 21–22.
3. Методичні рекомендації з приводу консультування пацієнтів щодо основних засад здорового харчування (згідно з Наказом МОЗ України від 14.01.2013 № 16). *Международный эндокринологический журнал*. 2013. № 5 (53). С. 138–147.
4. Кирилюк О.Ф. Теоретичні аспекти забезпечення раціонального харчування населення та його вплив на формування попиту на продовольчому ринку України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. Умань: УЛУС, 2011. Вип. 76. Ч. 2. С. 213–221.
5. Смоляр В.И. Рациональное питание: научное издание. Киев: Наукова думка, 1991. 368 с.
6. Українець А.І., Сімахіна Г.О. Технологія оздоровчих харчових продуктів: курс лекцій за напрямом «Харчова технологія та інженерія». Київ: НУХТ, 2009. 310 с.
7. Иванова А.К. Домашнее печенье и десерты. Киев: О-во «Знание Украины», 1992. 208 с.
8. Романчук В. Десертное... молочное... вкусное! *Молочное дело*. 2010. № 5. С. 10–11.
9. Огнева О.А., Николаенко Е.В. Разработка рецептур и технологии фруктовых жележных десертов. *Молодой ученый*. 2015. № 5.1. С. 32–35. URL: <https://moluch.ru/archive/85/16073/> (дата обращения: 24.01.2019).
10. Нежирні сиркові десерти с рослинними біопротекторами / О.В. Севостьянова, Л.М. Пилипенко, Т.В. Маковська, Д.В. Гончаров. *Вчені записки ТНУ імені Т.І. Вернадського*. 2018. Т. 29 (68). № 2. С. 272–278.
11. Гаврилова Н.Б., Гришина Е.С. Технология молочных десертных продуктов функционального назначения: аналитический обзор. Омск: Изд-во «Прогресс» Омского ин-та предпринимательства и права, 2004. 107 с.
12. Гаврилова Н.Б., Вотинцев Ю.П. Технология творожного десертного продукта (пудинга) с применением ультрафильтрации. *Молочная промышленность: научно-технический и производственный журнал*. 2016. № 5. С. 64–65.
13. Максимченко А., Арпуль О. Нові види низькокалорійного десерту. *Продукты & ингредиенты: международный специализированный журнал*. 2016. № 11. С. 30–31.
14. Функциональные желированные десерты с натуральными сахарозаменителями. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности / И.В. Мацейчик, Л.Н. Рождественская, Л.О. Ломоносовский, А.С. Красникова, К.Е. Нагаева. *АПК – продукты здорового питания: научно-теоретический журнал*. 2016. № 5. С. 82–89.
15. Євлаш В.В., Несмірч О.В., Гавриш А.В. Десерти з кисломолочного сиру підвищеної харчової цінності. *Молочное дело*. 2012. № 10. С. 10–12.
16. Шатун Л.Г. Технология приготовления пищи: учебник. Москва: Дашков и Ко, 2006. 195 с.
17. Голубева Л.В., Долматова О.И., Бандура В.Ф. Изучение свойств творожного продукта с компонентами растительного происхождения. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2015. № 2. С. 108–111.
18. Мартынова М.А. Разработка технологии творожного десерта функциональной направленности. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. Вып. № 1 (55). Ч. 4. С. 97–98.
19. Ярощук О.А., Овчарова Г.П., Донченко Л.В. Фруктовые десерты с пектином на основе молочной сыворотки. *Переработка молока: специализированный информационный бюллетень*. 2007. № 12. С. 14–15.
20. Кравчук Н.М. Розроблення технології десерту функціонального спрямування. *Інтернаука: международный научный журнал*. 2017. № 17. С. 61.
21. Спосіб визначення біологічної активності об'єктів природного походження / Г.П. Хомич, С.І. Вікуль, Л.В. Капрельянц, Л.А. Осипова, Т.С. Лозовська. Патент на винахід 72552 МПК G01N 33/00 (2015.01), заява 05.03.2013; опубл. 12.01.2015; Біл. № 1/2015

22. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. Москва: ДеЛи принт, 2002. 236 с.
23. Химический состав пищевых продуктов: справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина и М.Н. Волгарева. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат, 1987. Кн. I. 224 с.
24. Химический состав пищевых продуктов: справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, микро- и макроэлементов, органических кислот и углеводов / под ред. И.М. Скурихина и М.Н. Волгарева. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Агропромиздат, 1987. Кн. II. 360 с.
25. Горбатова К.К. Химия и физика молока. Санкт-Петербург: Гиорд, 2003. 288 с.
26. Пищевая химия / А.П. Нечаев и др.; под ред. А.П. Нечаева. 2-е изд., перераб. и испр. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2003. 640 с.
27. Радаева И.А. Увеличение срока хранения молочных продуктов путем использования антиоксидантов. *Молочная промышленность*. 2006. № 7. С. 14–24.
28. Банан корисні властивості для організму. URI: <http://jak.magey.com.ua/articles/banan-korisni-vlastivosti-dlja-organizmu.html> (дата звернення: 10.11.2018).
29. Определение антиоксидантов в какао и шоколаде / А. Яшин, Я. Яшин, Н. Черноусова, П. Федина, Б. Немзер. *Аналитика: научно-технический журнал*. 2012. Вып. 2. С. 46–53.
30. URI: <http://progid.ru/poleznye-svoystva/specii-i-pripravu/myata-perechnaya> (дата звернення: 03.10.2018).
31. URI: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мелиса_лекарственная (дата звернення: 03.10.2018).
32. Осипова Л. А. Научное обоснование технологии настоев пряно-ароматических растений для функциональных напитков. *Наукові праці ОНАХТ*. 2006. Вип. 28. С. 366–370.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ТВОРОЖНОГО ДЕСЕРТА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ НЕРВНЫХ РАССТРОЙСТВ

В статье проанализировано значение здорового питания в жизни человека и установлена связь питания с нервными расстройствами. Путем информационного поиска выбрано сырье растительного и животного происхождения, которое содержит ингредиенты, рекомендованные для профилактики нервных расстройств. Обоснована целесообразность объединения выбранного сырья в виде десерта по основным показателям химического состава – содержанию витамина B_6 и магния. Проведен мониторинг сырья по показателю биологической активности в системе $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$ с целью дальнейшего выявления эффектов синергизма или антагонизма при создании рецептуры десерта. Для повышения антиоксидантных свойств частей десерта (бисквитного коржа и сиропа) обоснованы параметры (температура, время, биологическая активность) экстрагирования биологически активных веществ из листьев мяты и Melissa, подобрана оптимальная концентрация полученного фитоэкстракта в продукте. При создании рецептуры десерта зафиксирован эффект синергизма биологически активных веществ составляющих частей десерта. На основе экспериментальных и теоретических исследований разработана научно обоснованная технология приготовления десерта, который содержит витамин B_6 и магний в количестве не меньше чем $\frac{1}{4}$ суточной потребности. Проведена комплексная оценка десерта, включающая сенсорный анализ, определение химических, физико-химических и биологических показателей качества продукта.

Ключевые слова: функциональные продукты, нервные расстройства, магний, витамин B_6 , десерт, антиоксиданты, биологическая активность.

A RECIPE DEVELOPMENT OF COTTAGE CHEESE DESSERTS FOR THE PREVENTION OF NERVOUS DISORDERS

The importance of healthy nutrition in human life is analyzed and the connection of nutrition with nervous disorders is established. Through information search was discovered raw material of plant and animal origin, which contains the ingredients recommended for the prevention of nerve disorders. The expediency of combining the selected raw materials in the form of a dessert, based on the main indicators of the chemical composition: the content of vitamin B_6 and magnesium is substantiated. The monitoring of the selected raw material by the indicator of biological activity in the system $[NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6]$ was monitored, with the purpose of further revealing the effects of synergy or antagonism when creating a dessert recipe. The parameters (temperature, duration, biological activity) of extracting biologically active substances from the leaves of mint and melissa were substantiated to increase the antioxidant properties of the components of the dessert (biscuit cake and syrup), and the optimal concentration of the obtained phytoextract in the product was selected. When creating a dessert recipe, the synergistic effect of the biologically active ingredients of the dessert components is recorded. On the basis of experimental and theoretical studies, a scientifically based technology for preparing dessert containing vitamin B_6 and magnesium in an amount not less than $\frac{1}{4}$ daily needs has been developed. A comprehensive evaluation of dessert has been carried out, which includes sensory analysis and determination of chemical, physico-chemical and biological indicators of product quality.

Key words: functional products, nervous disorders, magnesium, vitamin B_6 , dessert, antioxidants, biological activity.

УДК 664

Челябієва В.Н.

Чернігівський національний технологічний університет

Турінова І.В.

Чернігівський національний технологічний університет

ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА СОЧЕВИЦІ У РЕЦЕПТУРІ ПЕЧИВА

У роботі розглянута можливість використання борошна сочевиці у рецептурі печива з метою збільшення біологічної цінності виробу та як основної сировини у виробництві безглютенового печива. Показано, що додавання борошна сочевиці до рецептурної суміші печива підвищує його біологічну цінність, знижує енергетичну цінність і збільшує термін зберігання готових виробів.

Ключові слова: печиво, борошно сочевиці, біологічна цінність, безглютенове печиво.

Постановка проблеми. Пріоритетний напрямок кондитерської галузі сьогодні – це рецептурні та технологічні інновації з метою розширення асортименту, підвищення харчової та біологічної цінності, зниження калорійності кондитерських виробів [1, с. 195; 2, с. 303; 3, с. 167]. Борошняні кондитерські вироби, зокрема печиво, належать до висококалорійних харчових продуктів із низьким вмістом есенціальних речовин. Перспективним напрямком модифікації кондитерських виробів із метою підвищення біологічної цінності є добавка до рецептури борошняних кондитерських виробів борошна бобових культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авторами [4, с. 32] показано, що заміна пшеничного борошна у рецептурі кексу «Столичний» на борошно нуту, рису або ячменю дозволяє отримати виріб, який має високі органолептичні та фізико-хімічні показники, забезпечує збільшення білка у готовому виробі на 40%, харчових волокон – у 1,5–2 рази.

Інноваційна технологія виробництва борошняних кондитерських виробів на основі використання борошняних композиційних сумішей запропонована в роботах [5, с. 33, 34; 6]. Найкращі органолептичні та фізико-хімічні показники [5, с. 33] мало печиво на основі борошняної суміші, яка містила 40% пшеничного борошна, 15% борошна сорго, 15% борошна нуту і 15% борошна тритикале.

Виробництво безглютенового здобного печива на основі суміші з кукурудзяним борошном і рідкою олією розглянуто в роботі [7, с. 92]. Впровадження у виробництво розробленої рецептури та технології безглютенового печива дозволить задовольнити потреби в доступних борошняних продуктах для спеціалізованого харчування хворих на целиацію, а також розширити асортимент

борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової цінності для лікувально-профілактичного харчування.

Постановка завдання. Мета дослідження – оцінити органолептичні, фізико-хімічні показники, біологічну й енергетичну цінність здобного печива, виготовленого з композиційної суміші пшеничного і сочевичного борошна, запропонувати рецептуру безглютенового печива на основі борошна сочевиці.

Виклад основного матеріалу дослідження. Порівняльна характеристика хімічного складу борошна пшеничного вищого ґатунку та борошна сочевиці зроблена на основі аналізу наукових публікацій і наведена у табл. 1. Аналіз хімічного складу показує, що борошно сочевиці містить білка більше у 2,7 разів, у 1,6 разів менше крохмалю, ніж борошно пшеничне вищого ґатунку. Борошно сочевиці багате на клітковину, містить вітамін Е, фолієву кислоту, β-каротин. У борошні сочевиці міститься калію у 5,5 разів, кальцію у 4,7 разів, магнію у 5 разів, фосфору у 2,9 разів більше, ніж у пшеничному борошні вищого ґатунку.

Печиво здобне готували з таких компонентів: борошна пшеничного вищого ґатунку, цукру, спреда, меланжу, розпушувача, солі. Частина борошна пшеничного заміняли на борошно сочевиці, додавали 5, 10 і 15% борошна сочевиці від маси борошна пшеничного вищого ґатунку. Оцінювали органолептичні і фізико-хімічні (табл. 2) показники готових виробів, а саме: вологість, лужність, намочуваність.

Згідно з органолептичною оцінкою форма виробів без додавання борошна сочевиці (контроль) і з додаванням борошна сочевиці відповідала вимогам, була без пошкоджених кутів і країв. Поверхня

**Порівняльна характеристика хімічного складу
борошна пшеничного вищого гатунку та борошна сочевиці**

Борошно пшеничне вищого гатунку		Борошно сочевиці	
Вміст, г/100г		Вміст, г/100г	
Вода	14,0	Вода	14,5
Білки	10,3	Білки	27,6
Жири	0,9	Жири	1,1
Вуглеводи засвоювані:	69,3	Вуглеводи засвоювані:	46,4
моно- і дисахариди	1,6	моно- і дисахариди	3,0
крохмаль	67,7	крохмаль	43,4
Вуглеводи незасвоювані:	2,0	Вуглеводи незасвоювані:	7,4
клітковина	0,2	клітковина	3,8
пентозани	1,8	пектин	3,6
Вітаміни, мг/100г			
Вітамін В ₁ (тіамін)	0,17	β-каротин	0,02
Вітамін В ₂ (рибофлавін)	0,08	Вітамін В ₁ (тіамін)	0,5
Вітамін РР (ніацин)	1,2	Вітамін В ₂ (рибофлавін)	0,21
		Вітамін РР (ніацин)	1,8
		Вітамін В ₉ (фолієва кислота)	100,0
		Вітамін Е	0,5
Макроелементи, мг/100г			
Калій	122,0	Калій	675,0
Кальцій	18,0	Кальцій	85,0
Магній	16,0	Магній	80,0
Фосфор	86,0	Фосфор	249,0
Натрій	10,0	Хлор	75,0
Мікроелементи, мкг/100г			
Залізо	1,2	Залізо	11700,0
Енергетичні цінність, ккал			
327,0		294,0	

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники зразків печива

Назва показника	Без сочев.	5% сочев.	10% сочев.	15% сочев.	ДСТУ 3781-98	Метод аналізу
Вологість, %	4,6	4,4	4,5	4,4	не більше 15,5	згідно з ГОСТ 5000
Лужність, град	1,9	1,4	1,6	1,7	не більше ніж 2,0	згідно з ГОСТ 5898
Намочуваність, %	150	151	152	139	не менше ніж 110	згідно з ГОСТ 10114

не підгоріла, без краплень і крихт. Колір рівномірний, властивий цьому виду виробу. Смак і запах властиві для здобного печива, без сторонніх запахів і присмаків. У зразках із додаванням борошна сочевиці присмаку сочевиці не відчувається. Вигляд виробів у розломі рівномірно-пористий, без порожнин, добре пропечений.

Збільшення масової частки борошна сочевиці більше 15% у композиційній борошняній суміші

призводить до погіршення структурно-механічних властивостей тіста.

Енергетична цінність печива без додавання борошна сочевиці (контроль) складає 514,68 ккал / 100 г готового виробу, енергетична цінність печива з додаванням 15% борошна сочевиці – 511,60 ккал / 100 г. Біологічна цінність контролю 68,87%, а печива з додаванням 15 % борошно сочевиці – 74,87%.

Борошняні кондитерські вироби піддаються окиснювальним процесам, зокрема печиво, яке містить велику кількість жирів, тому досліджували стійкість цього виробу до окиснення згідно з ДСТУ 4570:2006 (рис. 1).

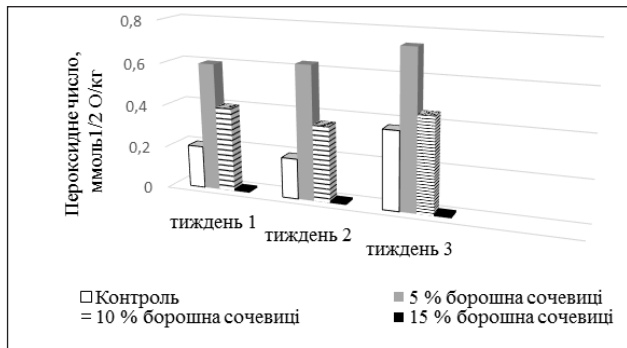


Рис. 1. Динаміка пероксидного числа під час зберігання печива

У разі використання суміші борошна сочевиці і борошна пшеничного вищого гатунку у рецептурі здобного печива спостерігається гальмування окиснення жирової основи печива. У разі додавання борошна сочевиці 5%, 10% процеси окиснення активізуються порівняно з контролем, тому що борошно сочевиці містить більше жирів, ніж пшеничне борошно (табл. 1). Після додавання 15% борошна сочевиці ознак псування не спостерігається впродовж 21 доби. Гальмування окисних процесів пояснюється наявністю у складі борошна сочевиці речовин з антиоксидантними властивостями, а саме вітаміну Е, β -каротину,

кількість яких за дозування 15% є достатньою, щоб гальмувати окисні процеси.

Таким чином, використання суміші борошна пшеничного вищого гатунку з борошном сочевиці у рецептурі печива здобного дозволяє отримати виріб із підвищеною біологічною цінністю, який відповідає вимогам ДСТУ 3781-98.

Борошно сочевиці не містить таких білків, як гліадин і глютенін, тому була запропонована рецептура печива для спеціалізованого харчування людей, які страждають на целиацію.

Розроблена рецептурна суміш для безглютенового печива з борошна сочевиці містить такі компоненти у мас.%, як: борошно сочевиці – 35,87; крохмаль кукурудзяний – 17,94; цукор – 17,94; спред – 17,94; вода – 8,96; амоній вуглекислий – 0,89; сіль – 0,45.

Енергетична цінність безглютенового печива складає 450,0 ккал на 100 г. Біологічна цінність – 78,48%.

Висновки. Встановлено, що заміна частини борошна пшеничного вищого гатунку на борошно сочевиці у рецептурі здобного печива підвищує біологічну цінність печива, зменшує його енергетичну цінність, підвищує стійкість жирової основи печива до окиснення, тобто збільшує термін зберігання. Оптимальною, такою, що не впливає на структурно-механічні властивості тіста, є заміна 15% борошна пшеничного вищого гатунку на борошно сочевиці.

Борошно сочевиці не містить гліадин і глютенін і може бути використаним у розробці нових видів безглютенових кондитерських виробів.

Список літератури:

1. Челябієва В., Семенюк О, Гаврик М. Використання нетрадиційної сировини у кондитерському виробництві. *Технічні науки та технології*. 2017. № 2 (8). С. 195–201.
2. Челябієва В.М. Сиза О.І., Савченко О.М. Отримання пектину з вичавків смородини для виготовлення зефіру на основі агрусового пюре. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2018. Вип. 1 (27). С. 303–317.
3. Решетнікова І.Л. Інноваційні товарні стратегії як засіб забезпечення конкурентоспроможності підприємств на ринку. *Механізм регулювання економіки*. 2008. № 3, Т. 1. С. 167–173.
4. Боташева Х.Ю. Повышение биотехнологического потенциала мучных кондитерских изделий *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11. С. 32–36.
5. Абуова А.Б. Применение инновационных технологий в производстве мучных кондитерских изделий *Евразийский Союз Ученых*. 2015. № 11. С. 31–34.
6. Склад кексу «Вівсяно-кукурудзяний». пат. 125949 Україна: МПК А21D 13/047, А21D 13/80. № u201800582; заявл. 22.01.2018; опубл. 25.05.2018, Бюл. № 10. 41 с.
7. Рензьева Т.В., Тубольцева А.С., Артюшина С.И. Разработка рецептуры и технологии безглютенового печенья на основе природного растительного сырья. *Техника и технология пищевых производств*. 2015. № 4. С. 87–92.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУКИ ЧЕЧЕВИЦЫ В РЕЦЕПТУРЕ ПЕЧЕНЬЯ

В работе рассмотрено использование муки чечевицы в рецептуре печенья с целью увеличения биологической ценности изделия, а также как основного сырья в производстве безглютенового печенья. Показано, что добавление муки чечевицы к рецептурной смеси печенья повышает его биологическую ценность, снижает энергетическую ценность и увеличивает срок хранения готовых изделий.

Ключевые слова: печенье, мука чечевицы, биологическая ценность, безглютеновое печенье.

THE USE OF LENTIL FLOUR IN THE COOKIE RECIPE

The paper discusses the use of lentil flour in the recipe of cookies in order to increase the biological value of the product, as well as the main raw material in the production of gluten-free cookies. It is shown that the addition of lentil flour to a prescription mixture of cookies increases its biological value, reduces the energy value and increases the shelf life of finished products.

Key words: cookies, lentil flour, biological value, gluten-free cookies.

УДК 637.14

Чорна А.І.

Національний університет харчових технологій

Калмазан В.Б.

Національний університет харчових технологій

СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ЙОГУРТУ З ЯПОНСЬКИМ ЧАЄМ МАТЧА ТА НАСІННЯМ ЧІА

У статті проаналізовано стан вітчизняного ринку йогуртів та обґрунтовано необхідність розробки харчових продуктів, збагачених незамінними нутрієнтами. Розроблено спосіб виробництва йогурту з використанням зеленого чаю матча та насіння чіа. Такий спосіб виробництва дозволяє отримати новий йогурт підвищеної харчової та біологічної цінності з тонізуючою та профілактичною дією на організм людини. Науково обґрунтовано й експериментально доведено позитивний вплив застосування внесених інгредієнтів у рецептурі кисломолочних продуктів. Для максимального збереження корисних властивостей чайного листа в готовому продукті запропоновано спосіб екстрагування чайного порошку основною сировиною – молоком. Наведено результати органолептичних показників і порівняння енергетичної цінності розроблених зразків йогурту.

Ключові слова: йогурт, спосіб виробництва, японський чай матча, насіння чіа, харчова та біологічна цінність.

Постановка проблеми. Сьогодні молоко та молочні продукти є одними з найбільш популярних харчових продуктів серед споживачів на українському ринку, адже є важливим джерелом білка, вітамінів, мікро- та мікроелементів [1]. Результати аналізу молочного ринку України показують загальну тенденцію уповільнення розвитку сфери виробництва молочних продуктів, що пов'язано з деструктивними процесами у сфері економіки, постійною нестачею фінансів на впровадження сучасних технологій і виробництвом неякісної продукції [2].

Незважаючи на спад ринку молочної продукції в Україні, зберігається та збільшується зацікавленість до харчових продуктів, які спрямовані на нормалізацію складу та підвищення біологічної активності нормальної мікрофлори кишечника [3; 4]. Виробництво харчових продуктів функціонального призначення, зокрема молочних продуктів, знаходиться в центрі уваги фахівців, котрі займаються розробкою сучасних технологій і критеріїв щодо їх безпечності та якості [5; 6]. Згідно зі статистичними даними, наведених компанією «MRC Brand», найбільш стабільне зростання ринку молочної продукції, а саме кисломолочної, як у натуральному, так і в грошовому еквіваленті припадає на йогурти [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні розроблено достатньо широкий асортимент продукції з нетрадиційними видами сировини з функціонально-технологічними власти-

востями. Розроблено спосіб виробництва йогурту з нормалізованого молока, закваски, цукру та порошку зеленого чаю матча. Проте недоліком такого йогурту є використання в рецептурі виробництва цукру, що обмежує вживання продукту людьми, хворими на цукровий діабет [8]. Відомий спосіб виробництва йогурту з підвищеними тонізуючими та профілактичними властивостями, що містить молоко коров'яче, молоко коров'яче знежирене, закваску, цукор рафінований, мед натуральний, маточне молочко та бджолине обніжка [9]. Розроблено йогурт із нормалізованого молока, заквашувального препарату та порошка топінамбура з підвищеною харчовою та біологічною цінністю, зі збереженням традиційних органолептичних властивостей йогурту [10]. Аналогом до розробки є спосіб виробництва йогурту, що містить знежирене молоко, сухе знежирене молоко, закваску та порошок гарбуза, внесення якого передбачає підвищення харчової цінності продукту та його профілактичної дії за рахунок внесення пектиновмісних наповнювачів і харчових волокон [11].

Отже, розширення асортименту молочних продуктів, зокрема йогуртів, за допомогою нетрадиційних видів сировини з необхідними функціонально-технологічними властивостями набуває особливої актуальності та є метою цієї технологічної розробки.

Постановка завдання. Мета статті – розробити рецептуру йогурту з підвищеними

Балова оцінка якості йогурту

Показник	Коефіцієнт вагомості	Бали	Характеристика
Колір	0,2	5	Рівномірний, від білого до світло-жовтого відтінку
		4	Нерівномірно білий колір
		3	Нерівномірний колір із кремовим відтінком
		2	Нерівномірний колір із жовтим відтінком
		1	Нерівномірний колір із сіруватим відтінком
Смак і запах	0,5	5	Чистий кисломолочний, у міру солодкий із присмаком наповнювача
		4	Виражений кисломолочний із присмаком наповнювача
		3	Недостатньо виражений, не в міру солодкий
		2	Не в міру солодкий, неприємний
		1	Не властивий, неприємний, сторонній
Консистенція	0,3	5	Однорідна, ніжна, з непорушеним (порушеним) згустком, із рівномірним розподілом наповнювача
		4	Однорідна, ніжна, з порушеним згустком
		3	Не однорідна, рівномірний розподіл наповнювачів
		2	Не однорідна, з порушеним згустком, нерівномірний розподіл наповнювачів
		1	Кремоподібна, нерівномірний розподіл наповнювача, з газоутворенням

харчовою та біологічною цінністю, високою тонізуючою та профілактичною дією за рахунок внесення насіння чіа як джерела поліненасичених Омега-3 жирних кислот, вітамінів, мікро- та макроелементів та порошку зеленого чаю матча, який містить біологічно активні сполуки (мікро- та макроелементи, вітаміни й амінокислоти).

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для розроблення складу та виготовлення йогурту було обрано таку сировину: молоко коров'яче пастеризоване 1,5%, заквашувальний препарат, стевію (як замітник цукру), насіння чіа та порошок японського чаю матча. Як заквашувальний препарат використовували бактеріальний препарат «VIVO», до складу якого входять чисті культури *Streptococcus alivarius subsp. thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*.

Кожен з інгредієнтів розробленої рецептури має ряд корисних властивостей, які позитивно впливають на організм людини. Вибір цих компонентів зумовлений комплексом їх функціонально-технологічних властивостей.

Для оцінки органолептичних показників якості зразків йогурту розроблено п'ятибальну шкалу. Методом ранжування було визначено коефіцієнти вагомості показників у загальній органолептичній оцінці, результати якої наведено в табл. 1.

Оцінка якості експериментальних зразків йогурту проводилася за такими загальноприйнятими методиками: титрована кислотність – потенціометричним методом за ДСТУ ISO 11869:2007 «Йогурт. Визначення титрованої кислотності потенціометричним методом»; масова частка сухих речовин – методом висушування за ДСТУ 8552:2015 «Молоко та молочні продукти. Методи визначання вологи та сухої речовини». Приготування йогурту та дослідження його органолептичних і фізико-хімічних показників здійснювалися на базі кафедри експертизи харчових продуктів НУХТ. Як контрольний зразок використовували йогурт без добавок.

Стевія (*Stevia boudiana Bertoni*) використовується як натуральний замітник цукру та в 200 разів солодша за цукор за тієї ж концентрації. Характеристику хімічного складу листя стевії (*Stevia boudiana Bertoni*), яка вирощується на території України, наведено в табл. 2 [12].

Таблиця 2

Характеристика хімічного складу листя стевії

Показники	Масова частка (на сухі речовини), %
Сухі речовини	92,0
Цукор загальний	2,8
Зола	3,9
Загальний азот	2,10
Глікозиди	12,8
Хлорофіл мг/100г (а +в)	192,6
Поліфеноли, мг/100 г	42,0
Вітамін С, мг/100г	32,70

Згідно з висновком МОЗ України визначено, що глікозиди стевії мають антигіпертензивні, імуномодельючі, бактерицидні властивості, забезпечують нормалізацію функцій імунної системи та підвищують рівень біоенергетичних можливостей організму людини. Застосування стевії у виробництві йогурту як природного цукрозамінника дозволить вживати таку продукцію людям, хворим на цукровий діабет [13].

Насіння чіа – це низькокалорійні зерна іспанської шавлії (лат. *Salvia hispanica*). За літературними даними, кількість білка в насінні чіа – в межах 19–23%, жиру – 32–39%, вуглеводів – 38% (30% нерозчинних харчових волокон, 3% розчинних і майже 5% цукрів). Вміст омега-3 жирних кислот у насінні чіа становить у середньому 21% [14]. Результати досліджень свідчать, що насіння, слиз і борошно з насіння чіа є біологічно цінними та безпечними для людини [15]. Внесення насіння чіа до складу йогурту та його споживання сприятиме нормалізації рівня цукру в крові, покращенню роботи травної системи, профілактиці захворювання серця та печінки, поліпшенню емоційного стану та дозволить споживати його людям, хворим на целиацію [16].

Завдяки унікальній обробці та технології виготовлення японський чай матча є одним із найкорисніших напоїв у світі. У ньому міститься в 137 разів більше антиоксидантів і в 10 разів більше поживних речовин, ніж у звичайному листовому чаї. У своєму складі містить білки (20–22%), цукор (3–15%), геміцелюлозу (6–18%) та пектинові речовини (10–12%). Чай матча є джерелом багатьох цінних компонентів, до яких належать: вітамін А, С, Е, вітаміни групи В, залізо, калій, цинк, кальцій, кофеїн, L-теанін, β-каротин, катехіни, амінокислоти, аскорбінова кислота, тіамін, рибофлавін, нікотинова, пантотенова і фолієва кислоти, каротиноїди [17]. Порошок чаю матча має тонізуючі властивості, що зумовлено наявністю в його складі алкалоїдів (кофеїн, теофілін і теобромін) [18; 19].

Закваска «VIVO» є сумішшю чистих культур молочнокислих бактерій, призначених для прямого внесення в молочну суміш, і містить у своєму складі болгарську паличку, молочнокислий стрептокок, ацидофільні лактобактерії. Завдяки чому йогурт має сприятливий вплив на кишечник людини і загалом на травлення, що забезпечує оптимальний рівень кислотоутворення, формування текстури та смаку готового продукту [20].

Приготування йогурту здійснювали таким чином. Нормалізоване молоко підігрівали до 80°C

і, постійно перемішуючи, вносили сухі інгредієнти: порошок зеленого чаю матча та стевію, перемішуючи протягом 15 хв. Отриману суміш фільтрували, гомогенізували та пастеризували (за температури 85–90°C, 0,5–1,0 хв), охолоджували до температури 40±2°C, заквашували закваскою «VIVO» протягом 3–4 год до отримання необхідної консистенції та титрованої кислотності 75–80°Т. Отриманий згусток перемішували, вносили насіння чіа, знову ретельно перемішували та охолоджували. Готовий йогурт розливали в тару, охолоджували до температури 4±2°C і зберігали за цієї температури не більше 5 діб.

Для приготування використовували сировину за такого співвідношення компонентів, %: нормалізоване молоко – 92,0; заквашувальний препарат «VIVO» – 1,0; стевія – 0,25; порошок зеленого чаю матча – 0,5; насіння чіа – 0,25.

Проведено дегустацію досліджуваних зразків йогурту на базі кафедри експертизи харчових продуктів НУХТ. Результати зведених дегустаційних оцінок і розрахунок загального показника якості зразків наведено у табл.3.

Таблиця 3

Зведені дегустаційні оцінки органолептичної оцінки якості досліджуваних зразків йогурту

Зразок	Колір	Смак і запах	Консистенція	Узагальнений показник якості
	Коефіцієнт вагомості			
	0,2	0,5	0,3	
Зразок 1	5,0±0,1	4,8±0,2	4,8±0,1	4,86
Зразок 2	5,0±0,1	4,9±0,2	4,8±0,2	4,9
Зразок 3	5,0±0,1	4,8±0,2	4,8±0,2	4,86

Примітка: Зразок 1 – йогурт без добавок

Зразок 2 – йогурт на основі японського чаю матча

Зразок 3 – йогурт на основі японського чаю матча із насінням чіа

Органолептична оцінка якості досліджуваних зразків показала, що вміст компонентів суттєво не змінює органолептичні показники готового продукту. Проте збільшення кількості внесеного чаю матча до рецептури призведе до збільшення інтенсивності кольору готового продукту, а також вплине на смакові властивості – буде помітний злегка гіркуватий присмак.

Порівняно харчову й енергетичну цінність йогурту без добавок, йогурту на основі чаю матча та йогурту на основі чаю матча із додаванням насіння чіа, що наведено у табл. 4. Введення до складу йогурту порошку зеленого чаю та насіння чіа підвищує харчову й енергетичну цінність йогурту на 41% (Зразок 2) та 68% (Зразок 3).

Харчова й енергетична цінність досліджуваних зразків

Зразок	Масова частка основних речовин у 100 г продукту				Енергетична цінність, ккал
	сухих речовин	білків	жирів	вуглеводів	
Зразок 1	9,8	5	1,5	6,5	58
Зразок 2	16,7	6,3	2,5	9	82
Зразок 3	21	7,5	3,4	9	95

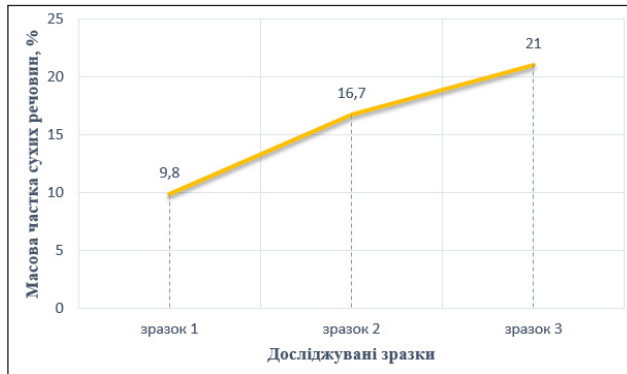


Рис. 1. Масова частка сухих речовин досліджуваних зразків йогурту

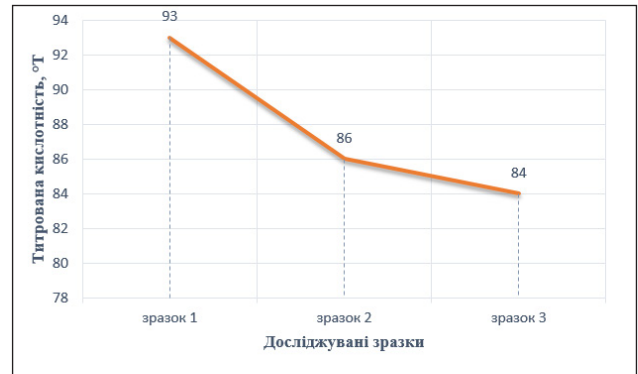


Рис. 2. Титрована кислотність досліджуваних зразків йогурту

Проведено дослідження фізико-хімічних показників якості, а саме титрованої кислотності та масової частки сухих речовин у досліджуваних зразках йогурту. Результати наведено на рис. 1 і 2 відповідно.

Значення показника масової частки сухих речовин йогурту без добавок (Зразок 1) становить 9,8%, що на 11,2% менше за значення показника для йогурту з додаванням чаю матча та насіння чіа (Зразок 2). Водночас показник титрованої кислотності досліджуваних зразків йогурту зменшується з 93% для йогурту без добавок на 84% для йогурту з додаванням чаю матча та насіння чіа. Зниження титрованої кислотності можна пояснити присутністю в складі листа зеленого чаю матча біологічно активних речовин, які пригнічують речовини з кислотними властивостями, що супроводжує зниження концентрації молочної кислоти й уповільнює настання фази відмирання заквашувальних мікроорганізмів. Результати фізико-хімічних досліджень свідчать про підвищення масової частки сухих речовин, що є пропорційним кількості сухих інгредієнтів в суміші, а також про незначне зниження кислотності готового продукту, спричинене доданням до складу йогурту японського чаю матча.

Висновки. За результатами досліджень розроблено рецептуру і технологію нового харчового продукту із функціональними властивостями – йогурту з японським чаєм матча та насінням чіа, який має органолептичні властивості із вираженим приємним гармонійним оригінальним смаком. Застосування зеленого чаю матча в порошковому вигляді виключає втрату цінних речовин.

Результати дослідження фізико-хімічних показників свідчать про підвищення масової частки сухих речовин на 11,2% йогурту, що містить у складі японський чай матча та насіння чіа. Порівняльний аналіз результатів титрованої кислотності досліджуваних зразків дозволяє встановити емпіричний факт властивості японського чаю матча знижувати кислотність йогурту. Йогурт без наповнювачів має значення титрованої кислотності на 9,5% більше за йогурт, який містить у складі зелений чай матча і насіння чіа.

Такий спосіб виробництва дозволяє отримати йогурт підвищеної харчової та біологічної цінності з тонізуючою та профілактичною дією на організм людини, а це сприятиме розширенню асортименту високоякісних кисломолочних напоїв. Експериментально доведено, що введення обраних інгредієнтів у рецептуру йогурту підвищує його харчову цінність.

Список літератури:

1. Сучасний стан розвитку молочної продукції в Україні. *Ефективна економіка*. 2011. № 6. С. 1–3 URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/efek_2011_6_11.pdf.
2. Анализ рынка молочной продукции Украины. Блог исследования. URL: <https://koloro.ua/blog/issledovaniya/analiz-ryinka-molochnoy-produktsii-ukrainyi-2015-2016.html>.
3. Бессонова Л.П., Черкасова А.В. Качество молочных продуктов как гарантия повышения конкурентоспособности. *Молочная промышленность*. 2015. № 4. С. 22–25.
4. Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Короткова А.А., Мосолова Н.И., Злобина Е.Ю., Храмова В.Н. Системные технологии в обеспечении качества продуктов питания: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2015. 191 с.
5. Мгебришвили И.В., Храмова В.Н., Короткова А.А. Создание функциональных десертных продуктов с использованием вторичных ресурсов и растительного регионального сырья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2015. № 2. С. 205–207.
6. Развитие производства функциональных пищевых продуктов. *Электронный журнал «Переработка молока»*. URL: <http://www.milkbranch.ru/publ/view/270.html>.
7. Рынок молочной продукции Украины. Статья. Рынки Food. URL: <https://trademaster.ua/articles/312870>.
8. Способ производства йогурта с зеленым чаем матча: пат. 2670132 RU, МПК А23С9/13, МПК А23С9/123. № 2017119896; заяв. 06.06.2017; опубл. 18.10.2018. Бюл. № 29. 7 с.
9. Спосіб виробництва йогурту: пат. 46534 Україна, МПК9 А23С9/12. № 200907164; заяв. 09.07.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24. 2 с.
10. Склад йогурту: пат. 89242 Україна, МПК13 А23С9/123. № 201313887; заяв. 29.11.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7. 6 с.
11. Способ производства йогурта: пат. 2348161RU, МПК А23С9/123. № 2007123876/13; заяв. 25.06.2007; опубл. 10.03.2009, Бюл. №7. 6 с.
12. Д'яконова А.К., Свиноаренко О.М. Перспективи отримання і використання цукрозамінника із листя стевії при виробництві консервів. *Харчова наука і технологія*. 2010. № 2. С. 63–67. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2010_2_20.
13. Стевія – замітник цукру: користь і шкода натурального підсолоджувача. Інформаційний портал. URL: <https://diagnoz.in.ua/tsukrovuj-diabet/steviya-zaminyk-tsukru-koryst-i-shkoda-naturalnogo-pidsolodzhuvacha/>.
14. Ixtaina V.Y. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *Industrial Crops and Products*. 2008. V. 28, № 3. P. 286–293.
15. Конь И.Я., Шилина Н.М., Вольфсон С.Б. ω-3 полиненасыщенные жирные кислоты в профилактике и лечении болезней детей и взрослых. *Лечащий врач*. 2006. № 4. С. 55–60.
16. Насіння чіа. URL: <https://medukpro.ru/medicina/4869-nasinnja-chia-2.html>.
17. Sinija V.R., Mishra H.V. Green tea: Health benefits. *Journal of Nutritional & Environmental Medicine*. 2008. № 17 (4). P. 232–242.
18. Состав и свойства японского чая Матча. URL: <http://tvoj-chaj.ru/sostav-svoystva-japonskogo-chaja-matcha>.
19. Belza A., Toubro S., Astrup A. The effect of caffeine, green tea and tyrosine on thermogenesis and energy intake. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2009. № 63. P. 57–64.
20. Закваски VIVO. URL: <https://www.zakvaski.com/production/o-zakvaskakh.html>.

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЙОГУРТА С ЯПОНСКИМ ЧАЕМ МАТЧА И СЕМЕНАМИ ЧИА

В статье проанализировано состояние отечественного рынка йогуртов и обоснована необходимость разработки пищевых продуктов, обогащенных незаменимыми нутриентами. Разработан способ производства йогурта с использованием зеленого чая матча и семян чиа. Данный способ производства позволяет получить новый йогурт повышенной пищевой и биологической ценности с тонизирующим и профилактическим действием на организм человека. Научно обосновано и экспериментально доказано положительное влияние применения внесенных ингредиентов в рецептуре кисломолочных продуктов. Для максимального сохранения полезных свойств чайного листа в готовом продукте предложен способ экстрагирования чайного порошка основным сырьем – молоком. Приведены результаты органолептических показателей и сравнения энергетической ценности разработанных образцов йогурта.

Ключевые слова: йогурт, способ производства, японский чай матча, семена чиа, пищевая и биологическая ценность.

**METHOD OF MANUFACTURING YOGHURT
WITH JAPANESE MATCHA TEA AND CHIA SEEDS**

The state of the domestic market of yoghurt was analyzed in article and has been substantiated the necessity of the development of food products enriched with essential nutrients. A method has been developed for the production of yogurt using Matcha green tea and chia seeds. This production method allows getting a new yoghurt of increased nutritional and biological value with a tonic and preventive effect on the human body. Scientifically substantiated and experimentally proved the positive effect of the use of ingredients introduced in the formulation of dairy products. In order to maximize the beneficial properties of the tea leaf in the finished product, a method has been proposed for extracting tea powder with the main raw material – milk. It was given the results of organoleptic characteristics and comparison of the energy value of the developed samples of yogurt.

Key words: *yoghurt, production method, Japanese matcha tea, chia seeds, nutritional and biological value.*

ТРАНСПОРТ

УДК 656.615:005.511

Казарезов А.Я.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Галь А.Ф.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Гайдай А.Ю.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Грешинов А.Ю.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

В статье рассмотрены основные технические характеристики крупнейших морских трубопроводных систем. Выполнен анализ особенностей эксплуатации данных линейных объектов океанотехники. Исследованы статистические характеристики морских газопроводов. Разработана методика оценки строительной стоимости морских газопроводов.

Ключевые слова: морская логистика, подводный трубопровод, океанотехника, линейный объект, позиционирование.

Постановка проблемы. Линейные гидротехнические сооружения, в частности подводные трубопроводы и тоннели, в последнее время получают все большее развитие в мировой практике освоения океана в связи с развитием морской инфраструктуры для обеспечения транспортировки грузов под водой. Глубины моря, на которых размещаются такие гидротехнические сооружения, год от года увеличиваются. Сегодня океанотехника освоила технологию строительства и эксплуатации подводных трубопроводов на участках моря глубиной свыше 1000 м [14]. При этом существует необходимость обеспечения устойчивого и надежного позиционирования в условиях интенсивного морского волнения на мелководье и действия высокого гидростатического давления на глубине.

При строительстве, транспортировке на плаву, а также эксплуатации подводных трубопроводов, расположенных на морском дне и в толще воды, на них оказывают силовые воздействия морские подводные течения, ветровые волны (если трубопровод находится в зоне их действия), динамическое воздействие транспортируемого по нему газа или нефти, проходящие вблизи трубопроводов надводные суда. Удержание (позиционирование)

подводных трубопроводов под водой в «некотором» фиксированном положении обеспечивает их надежную эксплуатацию и работоспособность.

Анализ последних исследований и публикаций. Морским подводным трубопроводным системам посвящено множество отечественных трудов, среди которых нужно особенно выделить таких авторов, как П.П. Бородавкин [1], И.А. Искандеров [3], К.Я. Капустин [4], В.П. Нагорный [6] и др. Что касается зарубежных источников, то здесь также большое внимание уделено такого рода линейным объектам [11–17]. Однако данные работы в основном посвящены непосредственно проектированию и строительству данных гидротехнических сооружений, в результате чего существует необходимость проведения логистического анализа проектов современных трубопроводных систем.

Постановка задания. Целью статьи является разработка методики расчета и оценки строительной стоимости морских подводных нефтегазопроводов.

Изложение основного материала исследования. Высокая эффективность и надежность трубопроводного транспорта нефти и газа обусловили стабильный рост протяженности морских

подводних трубопроводов. В различных странах земного шара проложено более 60 000 тыс. км морских подводных нефтепроводов и газопроводов диаметром свыше 100 мм. Наиболее освоенными морскими нефтегазодобывающими регионами, в которых проложено большое число подводных трубопроводов, являются Мексиканский залив и Северное море с существенно различными условиями строительства и эксплуатации нефтегазотранспортных систем. К другим районам активного морского строительства относятся Карибское море между Венесуэлой и Тринидадом; Тихий океан вдоль побережья южной части штата Калифорния и побережья Аляски; моря Тихого океана, омывающие острова Индонезии; весь Персидский залив Аравии; южная часть Средиземного моря. В последнее время к этим районам прибавился шельф острова Сахалин [5; 6; 8].

При этом морские трубопроводные системы – сложнейшие технические объекты, работающие в трудных природных условиях. Они должны сохранять работоспособность при воздействии штормов, течений, ветров, приливов и отливов, выдерживать ледовые нагрузки, быть защищенными от айсбергов. Стоимость прокладки одного километра подводного трубопровода существенно зависит от множества факторов: технологии его прокладки, глубины моря, удаленности от береговых баз, продолжительности штормов, безледного периода, вида донных грунтов – и может составить от 50 тыс. долл. США (для теплого климата) до 8–10 млн. долл. США (для арктических условий).

Суровые и специфические условия сооружения и эксплуатации трубопроводов, обусловленные значительной глубиной, волнами и течением, донными переформированиями и штормами, судоходством и рыболовством, трудоемкостью и капиталоемкостью строительных и ремонтных работ, а также непосредственный контакт с высокочувствительной к загрязнению водной средой предъявляют исключительные требования к материалам, конструкции трубопровода, технологии его прокладки, соблюдению режимов перекачки и обслуживания [17].

Нужно отметить, что пока стоимость прокладки подводных трубопроводов, как правило, намного выше, чем сухопутных. Снижение стоимости строительства является одной из основных задач, стоящих перед морским трубопроводным транспортом. Однако подсчитано, что при протяженности морских трасс порядка нескольких сотен километров строительство трубопроводов для магистрального транспорта газа более предпочтительно, чем его перевозка танкерами, что связано с большими

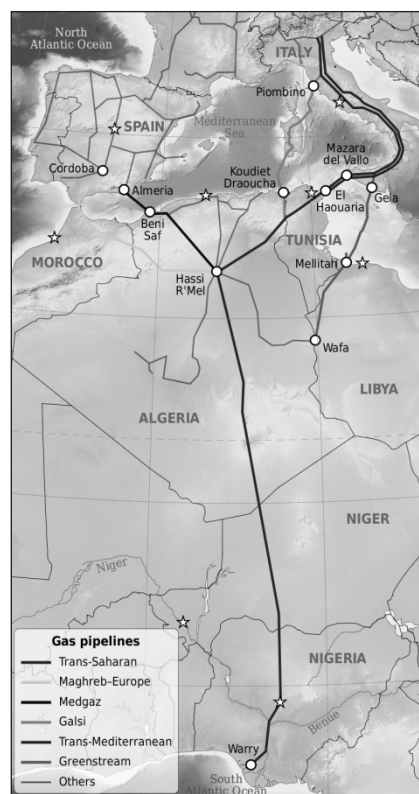


Рис. 1. Маршруты основных трубопроводных систем

затратами на строительство и эксплуатацию мощностей по сжижению природного газа.

При строительстве трансконтинентальных морских трубопроводов экономический эффект достигается за счет отсутствия необходимости платежей за транзит газа через территорию третьих стран. Кроме того, протяженность трасс морских трубопроводов обычно ниже, чем при преодолении водных преград по берегу. Этот эффект особенно сильно проявляется при переходе через относительно узкие и в то же время протяженные акватории, такие как, например, Байдарацкая губа Карского моря.

В качестве примеров строительства трансконтинентальных газопроводов (рис. 1) можно привести Транссредиземноморский трубопровод (ТрансМед), проложивший свой маршрут из Алжира через Тунис и Сицилию в Италию по дну Средиземного моря [11]. Включает в себя следующие участки: алжирский (550 км), тунисский (370 км), подводный переход от африканского побережья на о. Сицилия (96 км), сухопутный сицилийский участок (340 км), подводный переход от о. Сицилия до материковой Италии (15 км), сухопутный участок по территории Италии с отделением в Словению (1055 км).

Технические характеристики морских газопроводов

Наименование газопровода/ начало поставок	Маршрут	Стоимость, млрд. дол. США	Пропускная способность, млрд. м ³ в год	Длина нити, км	Диаметр труб морского участка, мм	Максим. глубина прокладки труб, м
Транссредиземно- морский/ 1983	Алжир-Италия (Средиземное море)	1,6	30,2	общая: 2475; морск.: 111	–	610
Магриб-Европа/ 1996	Алжир-Испания- Португалия (Гибралтарский пролив)	2,3	11,5	общая: 1620; морск.: 45	560	–
Голубой поток/ 2003	Россия-Турция (Черное море)	3,2	16	общая: 1213; морск.: 396	610	2150
Зеленый поток/ 2004	Ливия-Италия (Средиземное море)	6,6	8–11	540	810	1127
Лангелед/ 2007	Норвегия-Велико- британия (Северное море)	7,1	25	1200	1200	360
Северный поток/ 2011	Россия-Германия (Балтийское море)	7,4	55 (2 нити)	1224	1220	210
Medgaz/ 2011	Алжир-Испания (Средиземное море)	0,9	8	общая: 784; морск.: 210	610	–
Galsi (не реализован)/ 2014 (план)	Алжир-Италия (Средиземное море)	2,0	10	1505	1219	–
Южный поток (не реализован)/ 2015 (план)	Россия-Болгария (Черное море)	15,5	63 (4 нити по 15,57 каждая)	подвод. часть: 900 км	–	2250
Турецкий поток (в процессе реали- зации)/ 2018 (план)	Россия-Турция (Черное море)	7,0	31,5 (2 нити)	общая: 1100; морск.: 937	813	2200
Трансадриатический газопровод/ 2020 (план)	Греция-Албания- Италия (Адриа- тическое море)	–	10...20	878	–	–
Северный поток 2/ 2020 (план)	Россия-Герма- ния (Балтийское море)	9,5	55 (2 нити)	1224	1153	210
Северные ворота/ 2022 (план)	Норвегия- Польша (через Данию)	2,0	10	230	–	–

Одним из самых длинных магистральных газопроводов является «Лангелед» [17], проложенный между Норвегией и Великобританией по дну Северного моря и соединяющий норвежское газовое месторождение Ормен Ланге с британским терминалом Исингтоном (протяженность 1200 км). До завершения «Северного потока» был самым длинным подводным трубопроводом в мире. Пропускная способность «Лангелед» соот-

ветствует 1/5 части годовой потребности Великобритании. Газопровод делится на две части, протяженностью 600 км каждая.

В настоящее время наиболее известными проектами являются «Голубой поток», «Северный поток», «Зеленый поток» [2; 10; 16; 18] и др., маршруты которых нанесены на рис. 1–3, а основные технические характеристики занесены в таблицу 1.



Рис. 2. «Северный поток» на карте



Рис. 3. «Голубой поток» на карте

Нереализованным международным проектом газопровода явился «Южный поток» [10], который планировалось проложить по дну Черного моря из Анапского района в болгарский порт Варну к 2015 году (см. таблицу 1).

На смену «Южному потоку» в 2016 году пришел «Турецкий поток» (рис. 4) [10] – реализуемый в настоящее время международный проект газопровода из Анапского района (Россия) по дну Черного моря в западную часть Турции (Люлебургаз).

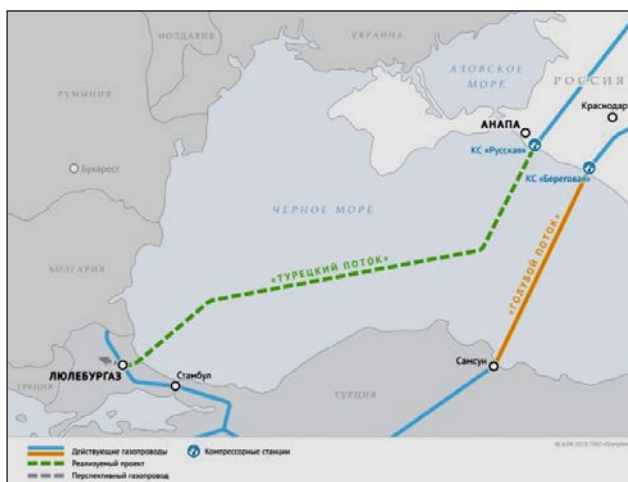


Рис. 4. «Турецкий поток» на карте

Трубопровод будет иметь протяженность 1100 км, из которых 937 км – морская часть, и состоять

из двух ниток (первая нитка будет предназначена для поставок газа турецким потребителям, вторая – для газоснабжения стран Южной и Юго-Восточной Европы).

Следует также отметить нереализованный проект магистрального газопровода «Набукко» протяженностью 3300 км из Туркмении и Азербайджана в страны ЕС, прежде всего Австрию и Германию. Проектная мощность 26–32 млрд. кубометров газа в год. Прогнозировалась стоимость проекта 7,9 млрд. евро. В конце февраля 2011 года уже сообщалось, что реальная стоимость проекта составляет порядка 14 млрд. евро, подорожание связано с ростом цен на сырьё, в частности железную руду, необходимую для выплавки металла для труб. Подготовка проекта велась с 2002 года. Первоначально строительство планировалось начать в 2011 году, а завершить к 2014 году, однако реализация проекта несколько раз откладывалась из-за проблем с возможными поставщиками газа. В конце 2011 года было сообщено, что сроки запуска проекта сдвинулись к 2018 году. Однако 28 июня 2013 года было объявлено, что проект «Набукко» закрыт [11].

В 2017 году началась постройка газопровода «Северные ворота» [7], также известного как «Норвежский коридор» (см. таблицу 1). Трубопровод будет доставлять газ из шельфа Норвегии через Данию в Польшу, откуда определенное количество норвежского газа может быть отправлено в другие страны Центральной Европы, такие как Чехия, Словакия, Венгрия, страны Балтии и даже Украина.

На данный момент (2018 год) началось строительство газопровода «Северный поток 2» [9], который является расширением «Северного потока». Транспортировка газа в данном случае будет осуществляться в направлении Россия-Германия через Балтийское море. При этом запуск газопровода планируется на 2020 год (см. таблицу 1).

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать следующие выводы:

- максимальная пропускная способность среди реализованных проектов газопроводов присуща «Северному потоку» (55 млрд. м³ в год), причем стоимость данного проекта также достаточно высокая;

- наиболее глубоководным трубопроводом является «Голубой поток» (глубина – 2150 м), который также отличается большой протяженностью и непростыми геологическими условиями; при этом «Турецкий поток» должен превысить данную отметку до 2200 м;

Относительные характеристики некоторых морских газопроводов

Наименование газопровода	Прим. кол-во КС	Стоимость газопровода без стоим. КС, млрд. дол. США	Стоим.* 10 ³ , дол. США дл. нити, м	Стоим.* 10 ³ , дол. США дл. нити x глуб., м	Стоим.* 10 ³ , дол. США дл. нити x глуб. x диам., м
Зеленый поток	4	5,0	9,259	0,010	0,010
Лангелед	8	5,3	4,417	0,012	0,010
Северный поток	7	5,6	4,575	0,021	0,018
Турецкий поток	8	5,3	4,818	0,002	0,003
Северный поток 2	7	7,1	5,801	0,030	0,024

КС – компрессорная станция.

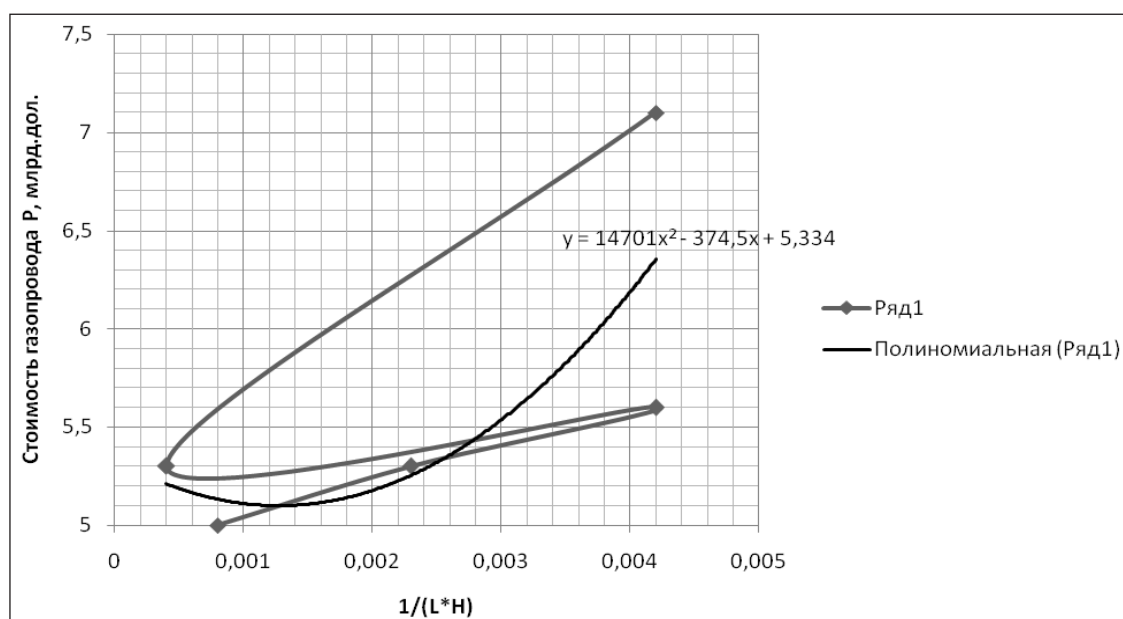


Рис. 5. Зависимость стоимости газопровода от длины нити и глубины прокладки

– наибольшая общая протяженность (включая сухопутную часть) соответствует Транссредиземноморскому газопроводу (2475 км), а максимальная протяженность морского участка принадлежала сначала газопроводу «Лангелед» (1200 км), а затем перешла к «Северному потоку» (1224 км).

На основе таблицы 1 рассчитаны относительные характеристики морских газопроводов, а именно отношение стоимости газопровода к его геометрическим параметрам. При этом стоимость газопровода бралась без учета стоимости компрессорных станций (КС), которые устанавливаются на трубопровод на расстоянии 100...150 км друг от друга для поддержания необходимого уровня давления газа. При этом исходили из того, что стоимость компрессорных станций составляет 20...25% от общей стоимости газопровода [6]. Полученные относительные характеристики

занесены в таблицу 2, причем приведены лишь те из них, которые соответствуют газопроводам, схожим по своим параметрам.

Данные таблицы 2 позволили сделать выборку тех газопроводов, технические характеристики которых максимально схожи, в результате чего построена зависимость стоимости газопровода P от длины нити L и глубины прокладки H (рис. 5).

Анализ полученного графика позволил вывести полиномиальную зависимость вида:

$$P(L, H) = 14701 \cdot \left(\frac{1}{L \cdot H}\right)^2 - 374,5 \cdot \left(\frac{1}{L \cdot H}\right) + 5,334.$$

Данная зависимость позволяет получать оценочную стоимость постройки морских газопроводов без учета компрессорных станций в зависимости от их технических характеристик.

Следует отметить, что эксплуатация морских трубопроводов, по отношению к эксплуатации трубопроводов на суше, имеет определенную

специфику. В частности, это положительная плавучесть трубопровода. Чем больше его диаметр, тем больше возможная архимедова сила, стремящаяся поднять трубу над дном. Таким образом, при проектировании и строительстве надежность и безопасность морских трубопроводов обеспечиваются по повышенным требованиям по отношению к проложенным на суше. Это вызвано особыми (морскими) условиями, такими как достаточно агрессивная морская среда, подводное расположение, повышенная протяженность без промежуточных компрессорных станций, воздействие морского волнения, ветра и течений, сейсмичность, сложный рельеф дна, ограниченные возможности подготовки и контроля трассы, затрудненность или невозможность реализации стандартного для магистральных газопроводов регламента обслуживания и ремонтов и т. д.

Следует отметить, что для обеспечения устойчивого положения подводный трубопровод (в особенности газопровод) должен иметь отрицательную плавучесть, т. е. полный вес трубопровода в воздухе должен быть больше вытесненной им воды.

На устойчивость подводного трубопровода большое влияние оказывает объемный вес воды в придонной зоне (при размыве грунта от действия волн), а также гидродинамическое давление от волнения и течений. Изменение объемного веса воды с 1,0 до 1,20–1,25 т/м³ может привести к уменьшению величины отрицательной плавучести и всплытию трубопровода [13].

Таким образом, при подсчете веса трубы в воде, кроме значения отрицательной плавучести, следует учитывать и другие факторы, имеющие дополнительное влияние на устойчивость подводного трубопровода. Необходимое значение веса балласта определяется по условному «удельному весу» трубопровода (отношение веса трубопровода с балластом в воздухе к весу воды, вытесняемой трубопроводом и балластом). Так, по американским техническим условиям морские трубопроводы, укладываемые в прибрежных зонах, должны иметь условный «удельный вес» не менее 1,30 [12]. В отдельных случаях, в зависимости от естественных условий района прокладки, когда при волнениях объемный вес грунтовой смеси в придонной зоне доходит до 1,8 т/м³, величины условного «удельного веса» морского трубопровода рекомендуется увеличивать до 2 [8].

В практике для балластировки подводных трубопроводов применяют сплошные монолитные бетонные и асфальтобетонные мастики, наносимые на изоляцию, а также одиночные чугунные,

железобетонные или бетонные грузы. Однако одиночные грузы могут создавать сосредоточенные нагрузки, повреждать изоляцию, затруднять протаскивание их по дну и исключать применение трубозаглубительных механизмов.

В последнее время при строительстве морских трубопроводов нашли применение пригрузки сплошными покрытиями из бетона, усиленного арматурой, поверх слоя антикоррозионной изоляции.

Бетонные и другие сплошные покрытия часто применяют при протаскивании трубопровода по дну моря без изгиба или с изгибом по кривой большого радиуса, чтобы предотвратить образование трещин.

Кроме того, сплошное покрытие хорошо защищает изоляцию и дает возможность применять наиболее производительные трубозаглубительные снаряды, перемещающиеся вдоль уложенных трубопроводов.

Особый интерес представляют специальные балластные покрытия, в состав которых входит асфальтовая мастика с частицами стекловолокна и утяжеляющими материалами. Такие сплошные покрытия имеют одновременно антикоррозионные свойства. Их объемный вес может составлять от 2,08 до 3,84 т/м³ в зависимости от количества добавляемых материалов [15].

Высокая пластичность этих покрытий исключает образование трещин при изгибе трубопровода в процессе укладки. Применение подобных покрытий, являющихся одновременно изоляционными материалами, допускает укладку трубопроводов методом наращивания с плавучих средств с изгибом в пределах упругих деформаций металла труб.

В отдельных случаях в спокойных акваториях с устойчивыми грунтовыми условиями, а также при прокладке трубопроводов через пойменные и заболоченные участки устойчивость может быть обеспечена винтовыми или другими видами металлических анкером.

Регулирование плавучести и установление определенной массы трубопроводов под водой имеют большое значение при их укладке различными методами. Оснащение трубопроводов понтонами (буями) необходимо при транспортировке их на плавку к месту укладки (рис. 6). Особенно точное регулирование массы трубопровода под водой необходимо при укладке на большие глубины для ограничения чрезмерных напряжений, возникающих от изгиба трубы, и установления оптимальных значений усилия натяжения трубопровода.

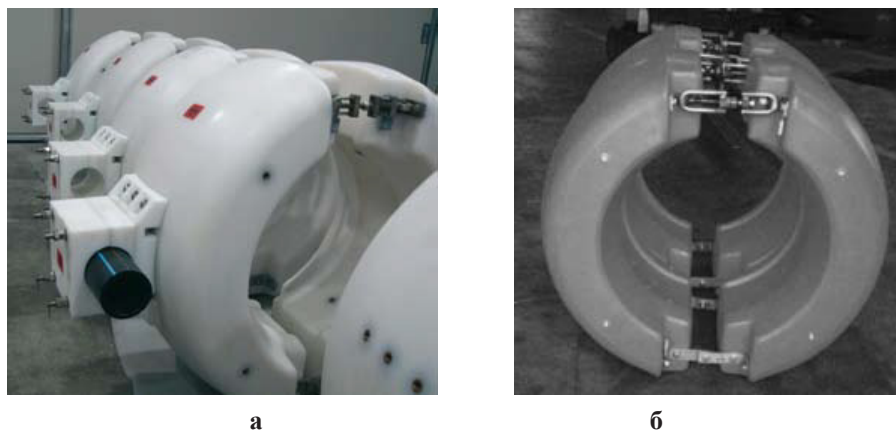


Рис. 6. Буи для подводных трубопроводов

При этом регулируемую плавучесть трубопровода можно создать и с помощью конструкции понтона, работающей по схеме поршень в цилиндре. Поршень отделяет сжимаемый газ от гидростатического давления окружающей воды. С увеличением глубины погружения поршень сжимает газ, и плавучесть понтона уменьшается, при подъеме понтона плавучесть его увеличивается [8].

Регулирование плавучести трубопровода вблизи дна можно осуществлять с помощью понтонов с присоединенными цепями. Понтоны с присоединенными цепями позволяют удерживать трубопровод на определенном расстоянии от дна. Для этого трубопровод оснащают понтонами таким образом, чтобы он имел небольшую положительную плавучесть, затем к понтонам присоединяют металлические цепи. Если трубопровод находится на значительном расстоянии от дна, то цепи свисают, не касаясь дна, и придают всей системе отрицательную плавучесть, и трубопровод погружается. Когда цепи частично лежат на дне, масса их свисающих частей уравнивает плавучесть трубопровода с понтонами, удерживая трубопровод на определенном расстоянии от дна.

Выводы. В результате анализа эксплуатирующихся на данный момент морских трубопроводных систем на примере морских газопроводов можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен анализ проектов, в том числе реализованных на практике, морских подводных нефтегазопроводов. Эти линейные объекты оке-

анотехники являются эффективными средствами транспортировки нефти и газа при освоении нефтегазовых ресурсов континентального шельфа морей и океанов. В ближайшие десятилетия с увеличением мировой добычи газа и нефти из месторождений континентального шельфа потребности в морских трубопроводах будут нарастать.

2. Основным направлением в развитии подводных трубопроводов является увеличение протяженности трассы, глубины прокладки, а также пропускной способности системы за счет увеличения диаметра труб.

3. На надежную эксплуатацию данных подводных трубопроводных систем влияют волнение (особенно на мелководье), подводные морские течения, гидрологические условия, динамическое воздействие транспортируемого груза, гидростатическое давление воды (для глубоководных систем), а также методы и средства удержания в фиксированном положении под грунтом, на морском дне либо в толще воды.

4. В результате исследования статистических характеристик морских подводных трубопроводов, разработана методика расчета и оценки строительной стоимости морских нефтегазотрубопроводов. На основе использования полиномиальной зависимости строительной стоимости подводных трубопроводов от длины нити и глубины прокладки трубопровода можно получить оценочную стоимость постройки магистральных газопроводов на начальном этапе.

Список литературы:

1. Бородавкин П.П., Березин В.Л., Шадрин О.П. Подводные трубопроводы. Москва, 1979. 207 с.
2. «Голубой поток». ПАО «Газпром», 2015. URL: www.gazprom.ru/about/production/projects/pipelines/blue-stream.
3. Искандеров И.А. Вопросы проектирования и строительства морских трубопроводов. Баку: Азернешр, 1970. 213 с.

4. Капустин К.Я., Камышев М.А. Строительство морских трубопроводов. Москва, 1982. 135 с.
5. Морские трубопроводы / Ю.А. Горяинов, А.С. Федоров, Г.Г. Васильев и др. Москва: Недра-Бизнес-центр, 2001. 131 с.
6. Нагорный В.П., Глоба В.М. Магистральные трубопроводы. Киев: НАН Украины, Институт геофизики им. С.И. Субботина, 2012. 310 с.
7. Польща пропонує новий газопровід з Норвегії, щоб замінити поставки з РФ. *Європейська правда*. 19.10.2016. URL: <http://euointegration.com.ua/news/2016/10/19/7056115>.
8. Рекомендации по технологии прокладки морских трубопроводов. Р 125-72. Москва: ВНИИСТ, 1972. 117 с.
9. «Северный поток-2». *Газпром*. 29.11.2018. URL: <http://www.gazprom.ru/projects/nord-stream2/>.
10. «Южный поток с препятствиями». *Вокруг газа*. 18.03.2011. URL: www.trubagaz.ru/issue-of-the-day/juzhnyj-potok.
11. Boyun Guo, Shanhong Song, Jacob Chacko, Ali Ghalambor. Offshore Pipelines. USA: ELSEVIER, 2005. 303 p.
12. Gas Pipeline For Algeria. The New York Times. 1993-08-02. Retrieved 2009-07-29.
13. Germanischer Lloyd Allgemeine Grundsätze für Verlegung, Prüfung und Überwachung von Rohrleitungen unter Wasser. Hamburg, 1973.
14. Hayes, Mark H. Algerian Gas to Europe: The Transmed Pipeline and Early Spanish Gas Import Projects. – Working Paper #27. Stanford University, Program on Energy and Sustainable Development. Pp. 26–27. Retrieved 2009-07-29.
15. Improving the Safety of Marine pipelines. National Academies Press, 1994. 156 p.
16. Nord Stream. Consulting Services on Natural Gas Sector in Russia URL: www.eegas.com/nord_ru.htm. “Russian Gas Insight”, 2007.
17. Rules for, the design, construction and inspection of submarine pipelines and risers. Printed by Det norske Veritas, Oslo, 1976.
18. “Work begins on Maghreb-Europe gas pipeline”. Europe Energy. 1994-10-14. Retrieved 2009-07-29.

ЛОГІСТИЧНІ ПРОЕКТИ МОРСЬКИХ ТРУБОПРОВІДІВ

У статті розглянуто основні технічні характеристики найбільших морських трубопровідних систем. Виконано аналіз особливостей експлуатації цих лінійних об'єктів океанотехніки. Досліджено статистичні характеристики морських газопроводів. Розроблено методику оцінювання будівельної вартості морських газопроводів.

Ключові слова: морська логістика, підводний трубопровід, океанотехніка, лінійний об'єкт, позиціонування.

LOGISTIC PROJECTS OF SEA PIPELINES

The main technical characteristics of the largest offshore pipeline systems were considered. The analysis of the features of the ocean technology linear objects operating data was executed. The statistical characteristics of offshore gas pipelines were investigated. The method for estimating the construction cost of offshore gas pipelines has been developed.

Key words: maritime logistics, offshore pipeline, ocean technology, linear object, positioning.

УДК 631.431.73

Павлов Г.О.
АТ «МОТОР СІЧ»

Кулагін Д.О.
Запорізький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХОДОВИХ ЧАСТИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ НА ГУСТИНУ ҐРУНТУ

У статті описується вплив ходових частин колісної сільськогосподарської техніки (тракторів) із виробничою потужністю у межах 13–95,2 к. с. на густину ґрунту чорноземного типу з вологістю понад 30%. Дослідження зміни густини ґрунту у місці проходження техніки виконано на підставі значення виробничої потужності задіяної техніки та габаритних параметрів її ходових частин (коліс). У дослідженні зміни густини ґрунту у місці проходження техніки замість значення маси тракторів використовувалося значення їх виробничої потужності, оскільки між масою техніки та її виробничою потужністю достатньо високий взаємозв'язок (коефіцієнт кореляції складає 0,9527), що може свідчити про високу точність результатів проведеного дослідження за такого підходу. Дослідження проведене з метою надання рекомендацій стосовно підбору габаритів ходових частин колісної техніки (тракторів) залежно від її виробничої потужності для виконання сільськогосподарських робіт на зволоженому ґрунті (вологість 30–50%) чорноземного типу. Було встановлено, що найменший вплив на ґрунт мають трактори потужністю до 25 к. с. Глибина сліду у місці проходження трактора «Беларус 132Н» не більша за 0,2 см, а приріст густини ґрунту складає всього 0,1% після першого проходження, причому глибина, на яку будуть розповсюджуватися деформаційні навантаження, не більша за 20 см, що ніяк не відобразиться на густині ґрунту у місці проходження трактора після проведення оранки та на врожайності цих ділянок. Найбільш згубний вплив на стан ґрунтів мають трактори типу «Беларус 80.1» і «Беларус 922.5», глибина слідів у місці проходження цих тракторів складає понад 6 та 7 см, а приріст густини ґрунту після першого проходження складе 0,3% та 0,33% відповідно.

Ключові слова: густина ґрунту, трактор, ходова частина, механічний вплив, виробнича потужність.

Постановка проблеми. Задіяння механізованої техніки для обробки земельних ділянок призводить до хімічного забруднення навколишнього середовища вихлопними газами паливної системи такої техніки, але забруднення складниками вихлопних газів сільськогосподарської техніки має локальний характер і є незначним порівняно з міським транспортом. Проте задіяння механізованих засобів у сільському господарстві призводить до виникнення механічного забруднення, яке проявляється у зміні густини та хімічного складу ґрунту у місці проходження техніки (слідах від коліс). Багатьма авторами було встановлено, що в місці проходження техніки питоме значення врожайності культур у середньому знижується на $\approx 4,8\%$. Збільшення густини ґрунту призводить до збільшення механічного опору під час його обробки, що спричиняє зменшення експлуатаційного ресурсу, а також збільшення витрат паливно-мастильних матеріалів через збільшення навантаження на паливну систему механізованого засобу.

Основними чинниками, які впливають на механічне забруднення сільськогосподарською технікою, є її маса та швидкість руху по земельній ділянці, що обробляється, а також габаритні параметри ходової частини (коліс). Оскільки швидкість, із якою обробляється земельна ділянка, обирається відповідно до типу ґрунту та рекомендацій виробника техніки, доречно буде дослідити зміну навантаження на ґрунт у разі зміни площі контакту ходової частини колісних тракторів із ґрунтом земельної ділянки, яка обробляється.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив сільськогосподарської техніки на фізичні властивості земельної ділянки досліджували такі вчені, як Н.Н. Погодін, Н.І. Стріжков, В.В. Медведєв, С.В. Щитов, Н.Н. Шило [1, с. 33; 2, с. 4; 3, с. 37; 4, с. 28; 5, с. 28; 6, с. 1; 7, с. 7; 8, с. 73].

У працях, розглянутих авторами, наводилися результати досліджень впливу на ґрунт, що обробляється, техніки, яка мала виробничу потужність понад 80 к. с. (із тяговим класом від 1,4), а висновки у більшості робіт робилися

відповідно до рівня питомої врожайності на місці проходження трактора, що не давало повного уявлення про зміну фізичних властивостей ґрунту. Вивчення деформації та зміни густини ґрунту від дії ходових частин колісних тракторів виконувалися на земельних ділянках із вологістю ґрунту, не більшою за $\approx 20\%$, причому згідно з дослідженнями густина та щільність ґрунтів збільшується інтенсивніше у більш вологих ґрунтах, а земляні роботи, пов'язані з обробкою ґрунту, проводяться здебільшого восени та навесні, коли середня вологість ґрунтів складає 30–50%, тому більшість рекомендацій, які даються у роботах із цієї теми, не завжди можуть бути коректними.

У працях В.В. Медведєва [7, с. 9] виконаний поглиблений аналіз, що полягав у дослідженні фізичних властивостей всіх типів ґрунтів в Україні та впливу не тільки колісної техніки, а й інших чинників, проте не розглянутий вплив геометричних параметрів ходової частини техніки на ґрунт, які є основним фактором, що зумовлює ущільнення та зміну густини ґрунту через зміну навантаження на нього.

На відміну від більшості авторів, С.В. Щитов у своїх працях [8, с. 74] наводить результати, які характеризують зміну фізичних властивостей ґрунту, та рекомендації щодо використання тієї чи іншої техніки для ґрунту певного типу, але не досліджує вплив на ґрунт тракторів потужністю, меншою за 80 к. с. (тяговим класом, меншим за 1,4).

Постановка завдання. Метою статті є визначення впливу на фізичні властивості (густину) ґрунтів чорноземного типу ходових частин колісних тракторів виробничою потужністю до 90 к. с., з урахуванням вірогідних фізико-хімічних характеристик ґрунту на період підготовчих робіт до посіву. Проведене дослідження дасть змогу сформулювати пропозиції щодо раціонального підбору ходових частин техніки (коліс) залежно від її виробничої потужності.

Виклад основного матеріалу дослідження. За предмет дослідження обрані ґрунти чорноземного типу з густиною у $1,1 \frac{\text{кґ}}{\text{м}^3}$, притаманні більшій частині території України, та трактори виробництва ООО «МТЗ», а саме: «Беларус 132Н» (13 к. с.), «Беларус 311М» (33 к. с.), «Беларус 321М» (36 к. с.), «Беларус 512 (57 к. с.)», «Беларус 80.1» (81,6 к. с.) та «Беларус 922.5» (95,2 к. с.) [9].

З урахуванням того, що техніка, необхідна для оброблення земельної ділянки, може підбиратися за виробничою потужністю, аналіз впливу ходових частин колісної техніки на фізичні властивості ґрунту можна виконувати на підставі її

виробничої потужності, оскільки кореляційний аналіз показав, що сила взаємозв'язку між масою задіяної техніки та її виробничою потужністю достатньо висока (коефіцієнт кореляції складає 0,9527).

Оскільки більшість земляних робіт у сільському господарстві проводиться в періоди року (восени та навесні), яким притаманні підвищена вологість повітря та зволоженість ґрунту, для визначення механічного впливу ходових частин техніки на ґрунт вологість ґрунту бажано приймати значенням у 30–50%. Крім того, згідно з останніми дослідженнями [5, с. 28; 7, с. 9], густина ґрунту чорноземного типу повинна складати не більше $1,29 \frac{\text{кґ}}{\text{м}^3}$, тобто для випадку, який розглядається у нашій роботі, густина повинна зменшитися не більше, ніж на 14,7%.

Оскільки більшість земляних робіт є разовою роботою, зміну густини ґрунту можна розраховувати для одного проходження техніки.

З урахуванням того, що ґрунт має неоднорідний хімічний склад, на його фізичні властивості може здійснюватися також і механічний вплив, через який можуть витіснитися такі складники ґрунту, як вологість (вода) та повітря, тому у разі деформування ґрунту на певну глибину змінюється його щільність і густина, зміну яких, насамперед, характеризуватиме такий чинник, як глибина сліду у місці проходження техніки [7, с. 11].

Виходячи з вищенаведеного, можна зробити висновок, що механічний вплив від ходових частин техніки на ґрунт буде прямо пропорційний глибині сліду, залишеного такою технікою, що задовольняє умови закону Гука, який можна представити у вигляді співвідношення сили, що впливає на тіло, яке піддається деформуванню ($m \cdot g$), та коефіцієнту жорсткості (k), що дорівнюватиме довжині деформації. У цьому разі розглядаються процеси деформування тіла, тому в моделі необхідно враховувати параметри, які характеризують фізичні властивості тіла (ґрунту), до яких можна віднести: густину ґрунту та граничне значення допустимого навантаження на ґрунт, виведене з урахуванням особливостей конструкції коліс техніки. Також на рівень деформації ґрунту впливатиме його вологість, котру необхідно також враховувати у моделі, виражену у відносних одиницях. Оскільки ґрунт не є пружним тілом, замість коефіцієнту пружності можна використати коефіцієнт механічного опору. На підставі допущень, наведених вище, глибину сліду у місці проходження можна визначити за формулою:

$$l_{cn} = \frac{\rho_0^{-1} \cdot m \cdot \sigma \cdot 10^{-6} \cdot \kappa_g}{E_z \cdot \kappa_{cn}} \quad (1),$$

де E_z – граничне значення допустимого навантаження на ґрунт, МПа;

l_{cn} – глибина сліду на ґрунті у місці проходження техніки, м;

ρ_0 – початкове значення густини ґрунту, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

m – маса техніки, що контактує з поверхнею ґрунту, кг;

σ – навантаження на ґрунт трактора у місці контакту його ходової частини, $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;

κ_g – коефіцієнт, який характеризує вологість ґрунту, виражену у відносних одиницях, в. о.;

κ_{cn} – коефіцієнт механічного опору ґрунту.

Крім того, бажано враховувати прогнозні показники, що значно спрощують розрахунок, у нашому випадку таким показником є коефіцієнт ущільнення κ_1 , який використовується у визначенні зміни ґрунту [1–3].

$$\kappa_1 = \frac{\rho_0}{\sigma \cdot S} \quad (1),$$

де S – контактна площа ходових частин техніки, м^2 .

Проте згідно з виконаними дослідженнями [1, с. 33] ґрунт деформується нерівномірно, що пояснюється нерівномірністю навантаження на поверхню ґрунту ходових частин колісної техніки, яке може бути викликано нерівномірністю складу ґрунту, тому для усереднення показників рівня деформації ґрунту від ходових частин техніки у місці її проходження у розрахунку зміни густини ґрунту необхідно також враховувати показник, що характеризує розподіл навантаження на ґрунт.

$$\beta = \frac{v_{op \cdot \kappa_g \cdot F_{my}}}{\sigma \cdot 10^{-6} \cdot g \cdot m \cdot \kappa_{cn}} \quad (2),$$

де β – коефіцієнт розподілу навантажень при деформації ґрунту, м^{-1} [1, с. 33];

F_{my} – тягове зусилля, яке створюється трактором під час його руху, Н · м;

g – прискорення вільного падіння, $\frac{\text{М}}{\text{с}^2}$;

Показники зміни густини ґрунту були визначені відповідно до методик, наведених у [1, с. 33], та результатами розрахунків за формулами (1) та (2).

Нижче наведена таблиця, складена за розрахунками та даними, взятими з [9], яка характеризує зміну густини ґрунту.

З даних, наведених у табл. 1, видно, що найменший вплив на фізичні властивості ґрунту має трактор «Беларус 132Н», що можна пов'язати з його незначною масою, яка складає 532 кг, завдяки чому для рівномірного розподілу навантаження на ґрунт достатньо одинарних коліс зі стандартними розмірами, причому глибина сліду у ґрунті, типу

розглянутого у цій роботі, складатиме до 0,17 см, а деформація ґрунту буде розповсюджуватися на глибину, не більшу за 20 см, з урахуванням до 6 проходжень у тому самому місці. Оскільки глибина відвальної оранки складає понад 30 см, механічний вплив тракторів виробничою потужністю до 25 к. с. на нижчі шари ґрунту виключений. Найбільший вплив на фізичні властивості ґрунту у місці свого проходження мають колісні трактори «Беларус 922.5», який може змінити густину ґрунту до 0,33% вже після першого проходження, глибина сліду складатиме понад 6 см, та «Беларус 80.1», глибина сліду від ходових частин якого на ґрунті може досягти понад 7 см, проте приріст густини ґрунту складатиме 0,3%. Така тенденція може вказувати на те, що шин розміром 13,6x20 / 15,5x38 дюймів і 9x20 / 18x38 для тракторів «Беларус 922.5» та «Беларус 80.1» недостатньо, і виникає потреба у використанні здвоєних коліс або ходової частини гусеничного типу.

Таблиця 1

Вплив потужності техніки та геометричних параметрів її ходових частин на зміну густини ґрунту у місці проходження техніки

Тип трактора (виробнича потужність, к. с.)	Розмір передніх / задніх коліс, дюйм	Зміна густини ґрунту у місці проходження трактора, %
Беларус 132Н (13)	6x16 / 6x16	0,099
Беларус 311М (33)	6,5x16 / 12,4x16	0,29
Беларус 321М (36)	7,5x16 / 21,4x16	0,31
Беларус 512 (57)	9x20 / 18,4x30	0,22
Беларус 80.1 (81,6)	9x20 / 18x38	0,3
Беларус 922.5 (95,2)	13,6x20 / 15,5x38	0,33

Табл. 1 складена за даними, наведеними у [9], та виконаними розрахунками деформаційних процесів у ґрунті, викликаних ходовими частинами колісних тракторів. Проте для визначення оптимальних геометричних параметрів ходових частин колісних тракторів необхідно дослідити вплив на густину ґрунту з усіма типами коліс для кожного трактора, наведеного в табл. 1, для чого необхідно скласти поверхневий графік зміни густини ґрунту залежно від виробничої потужності та контактної площі з ґрунтом ходових частин колісних тракторів.

Найменша зміна густини ґрунту спостерігається у разі задіяння колісних тракторів потужністю 13–33 к. с. Згідно з графіком, наведеним на рис. 1, для тракторів потужністю 13–33 к. с. зміна густини ґрунту може бути не більшою за 0,1%. Зміна

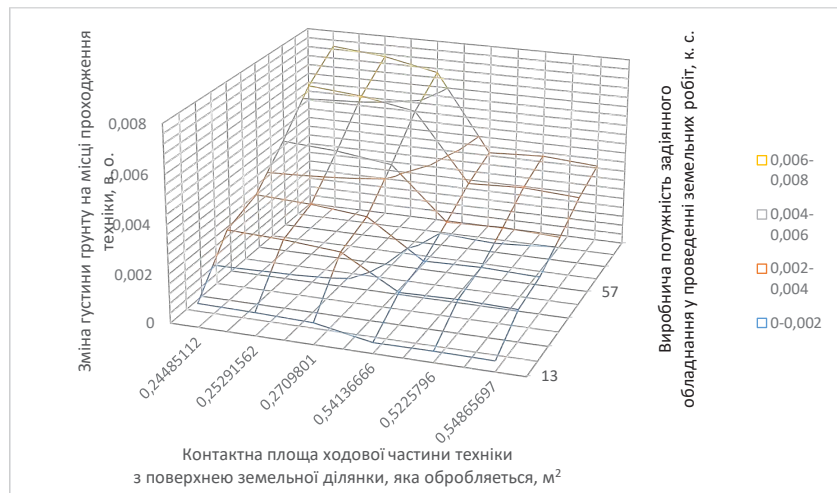


Рис. 1. Зміни густини ґрунту у місці проходження колісної техніки залежно від контактної площі з ґрунтом її ходових частин і її виробничої потужності

густини ґрунту у місці проходження трактора на 0,1% спостерігається у разі задіяння колісного трактора виробничою потужністю 20 к. с., у якого передні колеса розміром 6x16, а задні – 12,4x16, тобто за виробничої потужності трактора у межах 20–33 к. с., щоб не перевищити переущільнення ґрунту на 0,1%, необхідно підбирати колеса більшого розміру або використовувати здвоєні задні колеса, а це свідчить про те, що передніх коліс розміром 6,5x16 і задніх розміром 12,4x16 для трактора типу «Беларус 311М» недостатньо. Для тракторів виробничою потужністю від 33 до 49 к. с., із розміром передніх коліс до 7,5x16 дюймів і задніх – до 21,4x16, характерний рівень переущільнення ґрунту у місці проходження знаходиться у межах 0,1...0,3%, з урахуванням конструктивних особливостей, у тракторах потужністю від 49 к. с. бажано використовувати колеса більшого розміру, ніж у трактора «Беларус 321М». Причому, виходячи зі значень графіка, наведеного на рис. 1, для трактора «Беларус 321М» бажано використовувати здвоєні колеса, щоб переущільнення не перевищило 0,3%.

Як показало подальше дослідження, найбільш згубний вплив на стан ґрунту має трактор типу «Беларус 80.1». Згідно з розрахунками глибина сліду у місці проходження цього трактора від його ходових частин складає понад 7 см, крім того, про значний негативний вплив на ґрунт ходових частин трактора «Беларус 80.1» говорилося також і в працях С.В. Щитова та П.В. Тихончука [8, с. 74]. Але на фізичні властивості ґрунту трактор «Беларус 80.1» має менший вплив, ніж «Беларус 922.5», що може свідчити про нерівномірність розподілу навантаження на ґрунт його ходової частини, а це

можна пов'язати із більш концентрованим характером механічного навантаження. Така тенденція свідчить про менш досконалу конструкцію порівняно з тракторами інших типів, яка потребує значних доопрацювань.

Залежності, наведені на рис. 2, мають чітко виражений степеневий характер із коефіцієнтами квадрата детермінації, які дорівнюють одиниці ($R^2=1$). На підставі виконаного регресійного аналізу між показниками, наведеними на графіку з рис. 2, можна виділити те, що на ущільнення ґрунту впливають такі показники, як швидкість пересування техніки по поверхні ґрунту, а також зусилля, яке прикладається системами техніки та її ходовими частинами, необхідне для руху цієї техніки, що можна виразити у вигляді співвідношення між виробничою потужністю техніки (N) та натурального логарифму її кінетичної енергії (v) – $\frac{N}{\ln v}$, до якого рівень переущільнення, виражений у відносних одиницях, залежатиме степенево. Крім того, подальший аналіз показав, що степеневу залежність також мають показники розподілу деформації ґрунту та його механічного опору. З урахуванням всіх вищенаведених допущень для спрощення розрахунків запропоновано коефіцієнт, який характеризує загальний вплив на ґрунт ходових частин техніки, що має вигляд:

$$B = \kappa_1 + (1 + e)^{-\beta \cdot l} - \frac{N \cdot \kappa_1}{\ln v} \quad (3),$$

де $e^{-\beta \cdot l}$ – показник, який характеризує кратність деформаційного навантаження на певній глибині ґрунту від місця проходження техніки, в. о.;

N – виробнича потужність обладнання, к. с.;

v – кінетична енергія техніки під час її руху по поверхні ґрунту, кДж.

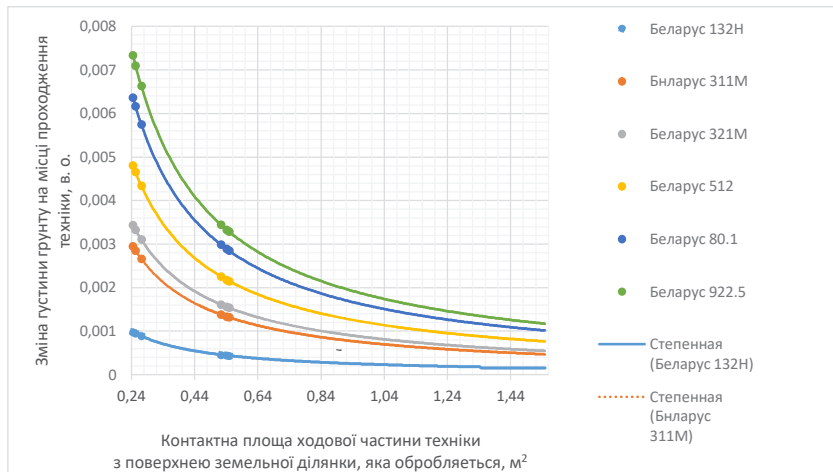


Рис. 2. Прогнозовий графік зміни густини ґрунту залежно від зміни контактної площі ходових частин тракторів

З урахуванням характеру залежностей, наведених у формулі (2), та показників, формули яких наведені вище, можна припустити, що залежність, котра характеризує зміну густини ґрунту, величина якої виражена в умовних одиницях, у місці проходження техніки матиме вигляд:

$$\rho_x = \frac{1 - e^{-\beta \cdot l}}{S^B} \cdot 100 \quad (4),$$

де ρ_x – зміна густини ґрунту у місці проходження техніки залежно від значення контактної площі ходової частини техніки, %.

Висновки. Із проведеного дослідження впливу контактної площі ходової частини техніки (трактора) з поверхнею ґрунту на його фізичні властивості випливає, що найменший вплив на поверхню ґрунту (глибину сліду) і його фізичні властивості (густину) спостерігається у разі задіяння тракторів виробничою потужністю у 10–25 к. с. (трактор «Беларус 132Н» і його аналоги). Глибина сліду у місці проходження трактора складає 0,17 см, а густина ґрунту може збільшитися до 0,1%. Най-

більший негативний вплив на фізичні властивості ґрунту має трактор «Беларус 90.1», у місці проходження якого на ґрунті залишається слід завглибшки у 6,4 см, а густина цього ґрунту збільшується до 0,33% після першого проходження.

Під час виконання аналізу розрахункових даних було зроблено припущення, що значення контактної площі коліс техніки з поверхнею ґрунту має зворотно пропорційну залежність до зміни фізичних властивостей ґрунту, а показники, які характеризують процеси деформації ґрунту, мають прямо пропорційну залежність між собою. На підставі запропонованих допущень була виведена методика розрахунку переущільнення ґрунту у місці проходження техніки після першого проходження.

Проведене дослідження дасть змогу визначити рекомендований розмір ходової частини для тракторів із метою мінімізації її впливу на фізичні властивості ґрунту у місці проходження.

Список літератури:

1. Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н., Нукешев С.О., Кушнир В.Г. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12, № 1. С. 31–36.
2. Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н., Шкляревич В.А., Воробей А.С. Закономерности уплотнения почвы под воздействием колес сельскохозяйственных машин. *Агроранорама*. 2016. № 2. С. 2–8.
3. Шило И.Н., Орда А.Н., Романюк Н.Н., Нукешев С.О., Кушнир В.Г. Влияние количества осей ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на глубину следа. *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. № 4. С. 37–42.
4. Никитин В.В., Соловиченко В.Д., Навальнев В.В. Влияние основной обработки почвы и удобрения на экономические показатели технологии возделывания многолетних трав. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 1 (43). Ч. 3. С. 27–30.
5. Погодин Н.Н., Кучко В.В. Влияние уплотнения почвы на урожайность сельскохозяйственных культур. *Агроранорама*. 2008. № 2. С. 28–31.

6. Дудкин И.В., Дудкин В.М., Айдиев А.Я., Стрижков Н.И., Дудкина Т.А. Экологические аспекты формирования систем земледелия и защиты растений. *Агрономия*. 2017. № 3. С. 1–7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/ekologicheskie-aspekty-formirovaniya-sistem-zemledeliya-i-zaschity-rasteniy.html>.

7. Медведєв В.В., Бігун О.М. Про оптимальну, припустиму і неприпустиму щільність будови орних ґрунтів. *Ґрунтознавство*. 2013. № 3–4 (23). С. 6–17.

8. Щитов С.В., Тихончук П.В., Спириданчук Н.В. Техногенное воздействие на почву колесных тракторов. *Достижения науки и техники АПК*. 2012. № 6. С. 73–74.

9. Продукція. Офіційний сайт ООО «МТЗ». URL: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОДОВОЙ ЧАСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ

В статье описывается влияние ходовых частей колесной сельскохозяйственной техники (тракторов) с производственной мощностью в пределах 13–95,2 л. с. на плотность почвы черноземного типа с влажностью более 30%. Исследование изменения плотности почвы в месте прохождения техники выполнено на основании значения производственной мощности задействованной техники и габаритных параметров ее ходовых частей (колес). В исследовании изменения плотности почвы в месте прохождения техники вместо значения массы тракторов использовалось значение их производственной мощности, поскольку между массой техники и ее производственной мощностью достаточно высокая взаимосвязь (коэффициент корреляции составляет 0,9527), что может свидетельствовать о высокой точности результатов проведенного исследования при данном подходе. Исследование проведено с целью предоставления рекомендаций по подбору габаритов ходовых частей колесной техники (тракторов), в зависимости от ее производственной мощности, для выполнения сельскохозяйственных работ на увлажненной почве (влажность 30–50%) черноземного типа. Было установлено, что наименьшее влияние на почву имеют тракторы мощностью до 25 л. с. Глубина следа в месте прохождения трактора «Беларус 132Н» не более 0,2 см, а прирост плотности почвы составляет всего 0,1% после первого прохождения, причем глубина, на которую будут распространяться деформационные нагрузки, – не более 20 см, что никак не отразится на плотности почвы в месте прохождения трактора после проведения вспашки и на урожайности данных участков. Наиболее пагубное влияние на состояние почв имеют тракторы типа «Беларус 80.1» и «Беларус 922.5», глубина следов в месте прохождения данных тракторов составляет более 6 и 7 см, а прирост плотности почвы после первого прохождения составит 0,3% и 0,33% соответственно.

Ключевые слова: плотность почвы, трактор, ходовая часть, механическое воздействие, производственная мощность.

RESEARCH INFLUENCE OF RUNNING PARTS AGRICULTURAL EQUIPMENT ON THE SOIL DENSITY

The article describes the influence of running strands of wheeled agricultural machinery (tractors) with production capacity in the range of 13 – 95.2 horsepower on soil density of black soil type with a humidity of more than 30%. Study of soil density changes in the place of passage of the equipment performed on based on the value of the production capacity of the equipment involved and the general parameters of its running gear (wheels). In studying the changes in soil density at the site of the passage of technology, instead of the weight of the tractor was used the value of its production capacity, since between the mass of technology and its production capacity rather high correlation (correlation coefficient be 0,9527), which may indicate a sufficiently high accuracy of the results conducted research with this approach. The study described in this paper was conducted to provide recommendations on the selection. The dimensions of the chassis of wheeled vehicles (tractor), depending on its production capacity for agricultural work on wetted soil (moisture 30–50%) black soil type. The study found that tractors with a capacity of up to 25 horsepower have the least impact on the soil. Depth of the track at the place of passage of the tractor “Belarus 132H” is not more than 0.2 cm, and the increase of soil density is only 0,1% after the first passage, at that depth to which the strain loads will apply – no more than 20 cm, which does not affect the density of the soil in its place passing after plowing, and as a result – prolificness in these area. The most detrimental effects on soil conditions are tractors type “Belarus 80.1” and “Belarus 922.5”, the depth of the tracks in place of the passage of these tractors is more than 6 and 7 cm, and the increase soil density after the first passage will be 0.3% and 0.33%, respectively.

Key words: soil density, tractor, running gear, mechanical impact, production capacity.

УДК 631.3.072 – 027.236 : 631.51

Пушка О.С.

Уманський національний університет садівництва

Шевчук В.В.

Уманський національний університет садівництва

Кутковецька Т.О.

Уманський національний університет садівництва

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ПІД ЧАС ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Робота присвячена науковим дослідженням ефективності роботи машинно-тракторних агрегатів під час обробітку ґрунту з використанням газодизельних тракторів. Наведено схему підвищення ефективності машинно-тракторних агрегатів під час виконання таких технологічних процесів, як оранка, культивування та ін. Визначено, що одним із доступних напрямів підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів під час виконання технологічних операцій є ресурсозбереження. Основні витрати під час виконання механізованих робіт припадають на паливно-мастильні матеріали, тому для зниження цих витрат варто здійснити перехід на більш дешеве альтернативне паливо, а саме природний газ. Встановлено, що доцільним є переобладнання дизельних енергетичних установок на систему живлення газовим паливом.

Ключові слова: технологічні процеси, машинно-тракторні агрегати, обробіток ґрунту, газодизельні енергетичні засоби, режими роботи.

Постановка проблеми. Під час вирішення питань підвищення продуктивності й економічності машинно-тракторних агрегатів (далі – МТА) увагу необхідно приділити енергоємним сільськогосподарським операціям (оранці, культивуванні і т. д.), виконання яких вимагає великих енергетичних затрат. Всі основні технологічні процеси сільськогосподарського виробництва базуються на застосуванні МТА. Основним завданням сільського господарства є отримання високоякісної продукції за порівняння із зарубіжними виробниками значень її собівартості. Виробництво сільськогосподарської продукції включає в себе ряд технологічних процесів: обробіток ґрунту, посів, застосування засобів захисту, збирання врожаю і транспортування продукції. Основна частка витрат у цих процесах припадає на спожите паливо (25...30%), тому для зниження частки цього складника доцільно переобладнати енергетичні установки на більш дешеві альтернативні види палива, що є перспективним завданням.

Особливостями технологічних операцій, які виконуються МТА, є несталий характер навантаження на валу двигуна і, як наслідок, погіршення ефективних показників: на 15...20% втрати потужності та на 20...25% збільшення витрати палива. Застосування нових або модернізація наявних

конструктивних схем систем і механізмів двигуна, що мають узгоджені з умовами експлуатації параметри, дозволить поліпшити показники ефективності використання МТА. Тому наша стаття, спрямована на підвищення ефективності роботи МТА під час обробітку ґрунту з використанням газодизельних тракторів, сьогодні є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових робіт, присвячених застосуванню газодизельних енергетичних засобів під час виконання технологічних процесів, показав, що сьогодні проводилося багато досліджень щодо визначення умов, сфер та економічної ефективності використання природного газу на транспорті. Проблеми застосування природного газу на тракторних двигунах відображені в працях Ю.М. Васильєва [1, с. 12], В.І. Захарчука [2, с. 27], О.В. Захарчука [3, с. 53], Л.С. Золотаревського [4, с. 128], Ю.І. Колесніка [5, с. 38], А.А. Лісової [5, с. 40] та ін. Вибору оптимальних параметрів МТА під час їх використання присвячені роботи відомих вчених М.К. Діденка [6, с. 13], А.С. Кушнарєва [7, с. 27], Л.В. Погорєлого [8, с. 16], М.М. Шарова [9, с. 53] та багатьох інших. Проте є ще багато невирішених проблем щодо використання газодизельних енергетичних засобів і покращення їх техніко-експлуатаційних показників під час обробітку ґрунту.

Постановка завдання. Шляхом проведення наукових досліджень необхідно дослідити вплив умов функціонування МТА з використанням енергетичної установки з газодизельним циклом на їх техніко-експлуатаційні показники.

Метою статті є дослідження ефективності роботи МТА під час обробки ґрунту з використанням газодизельних енергетичних засобів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основна частина ресурсів у сільському господарстві пов'язана з виконанням технологій виробництва продукції. Для зниження собівартості необхідно підвищити продуктивність і якість виконуваних робіт за високого рівня ресурсозбереження.

Технологія виробництва продукції в сільському господарстві включає кілька технологічних процесів, таких як: оранка, культивування, боронування

та ін. Деякі науковці [6, с. 12] розглядають технологічний процес як систему з трьох складників «джерело енергії – робочий орган машини – середовище». Такий підхід до технологічного процесу отримав подальший розвиток у роботах багатьох вчених, які розглядали можливі шляхи підвищення ефективності технологічних процесів (рис. 1).

Ці процеси, а також їх взаємозв'язки визначають вихідні параметри системи, що містять агротехнічну частину, енергоємність і техніко-економічні параметри.

Класифікація способів підвищення ефективності МТА під час виконання технологічних процесів на етапах проектування й експлуатації представлена на рис. 2.

Як видно з рис. 2, критеріями підвищення ефективності МТА є: підвищення агротехнічних

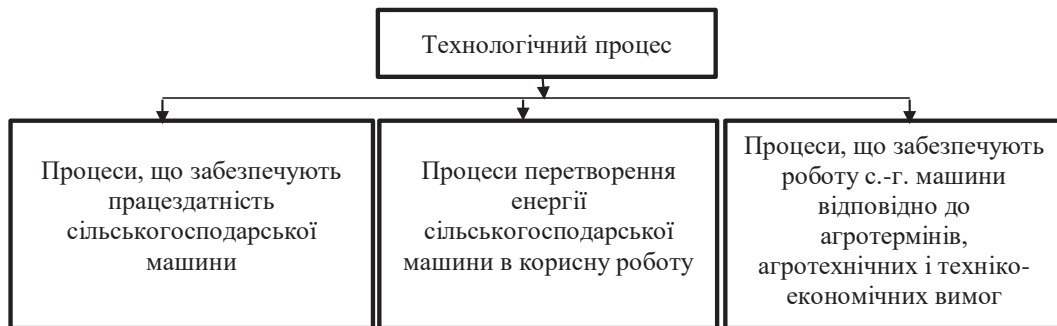


Рис. 1. Технологічний процес сільськогосподарського виробництва

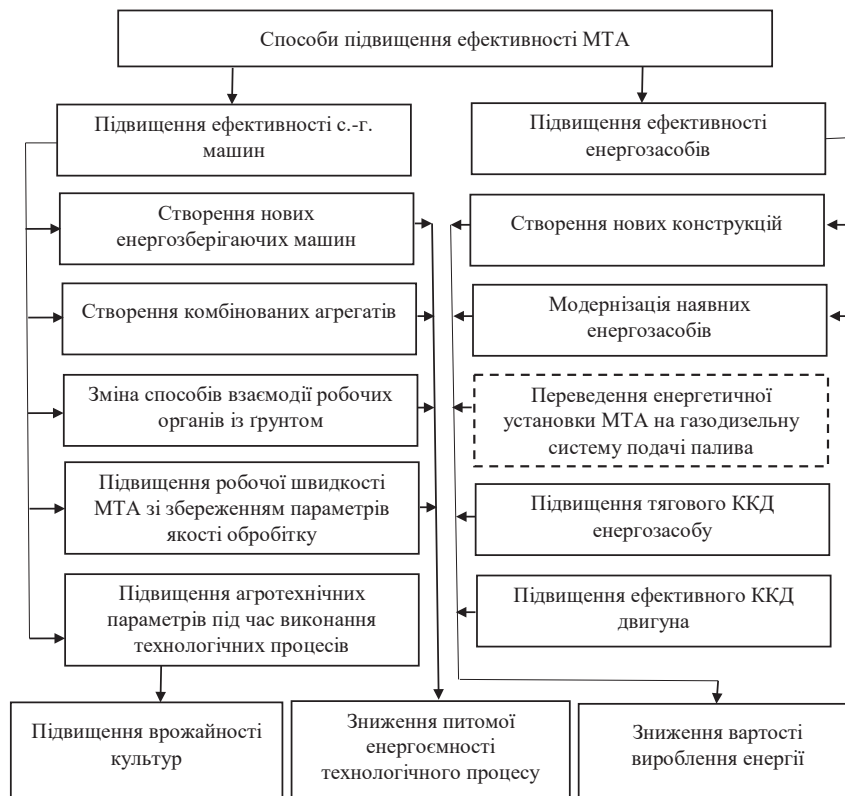


Рис. 2. Схема підвищення ефективності МТА

показників, зниження питомої енергоємності процесу та зниження вартості вироблення енергії.

Одним із доступних напрямів підвищення ефективності використання МТА під час виконання технологічних операцій є ресурсозбереження. Основні витрати під час виконання механізованих робіт припадають на паливно-мастильні матеріали, тому для зниження цих витрат доцільним є перехід на більш дешеве альтернативне паливо [10, с. 64].

До альтернативних видів палив відносять палива, які не є продуктами переробки нафти, і традиційні нафтові палива, модифіковані різними добавками (рис. 3).

Одним із перспективних альтернативних видів палива є природний газ. Існують три основні аспекти доцільності переведення дизельної енергетичної установки на газодизельну систему подачі палива [11, с. 32].

Перший аспект – економічний. Через різницю вартості дизельного і газового палива переводити дизельний двигун на газ економічно доцільно. Наприклад, сьогодні вартість 1 л дизпалива становить 32,93 грн, а вартість 1 л природного газу дорівнює 12,74 грн.

Другий аспект – технічний. Відбувається зниження зносу циліндропоршневої групи та зниження навантаження на кривошипо-шатунний механізм, згорання відбувається більш рівномірно, інтервал заміни мастила збільшується в 1,5–2 рази, а також зменшується утворення нагару в двигуні.

Третім аспектом є зменшення токсичності відпрацьованих газів у разі переобладнання дизеля на газове паливо. Особливо зменшується димність вихлопу і вміст твердих частинок (сажі та канцерогенів у ній).

Враховуючи економічні, технічні й екологічні переваги перед дизельною системою подачі палива, можна сказати, що система газодизельної подачі палива дедалі ширше застосовується не тільки в Україні, а й в інших країнах світу. Обсяг споживання газового палива в автотранспортному секторі нашої країни збільшився приблизно в 9 разів. Парк газобалонних автомобілів, що використовують такі види палива, як метан або природний газ, становить 2,25 млн од. [12].

На практиці використовують два способи переобладнання дизельних енергетичних установок на систему живлення газовим паливом (рис. 4).

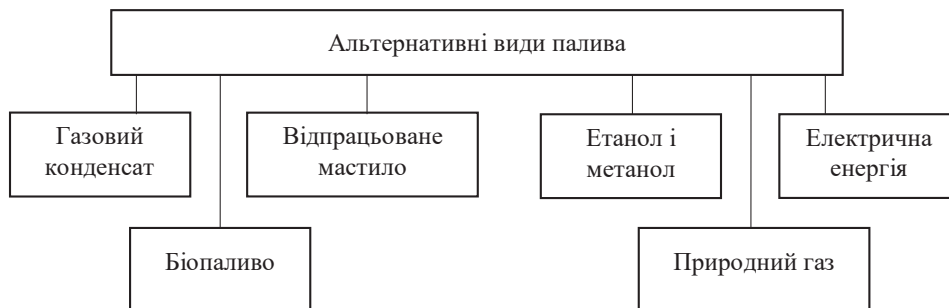


Рис. 3. Альтернативні види палива

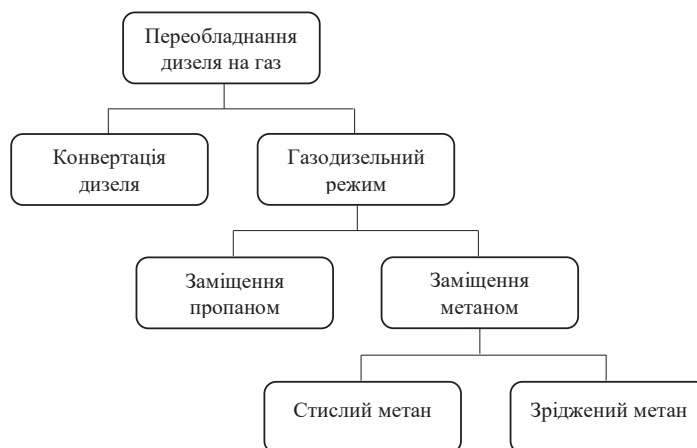


Рис. 4. Способи переобладнання дизельних двигунів на газове паливо

Спосіб конвертації дизельної енергетичної установки в енергетичну установку із займанням газоповітряної суміші від іскри достатньо радикальний і пов'язаний зі значною зміною конструкції. З енергетичної установки демонтують дизельну паливну апаратуру, зменшують ступінь стиснення до 11...13 одиниць, встановлюють систему запалювання, газову систему паливopодачі та газові балони. Завдяки цьому енергетична установка працює на газовому паливі, яке має вартість нижчу, ніж дизельне. Екологічні параметри відпрацьованих газів конвертованого дизеля зазвичай вищі, ніж у вихідній енергетичній установці, параметри потужності знаходяться приблизно на одному рівні з базовим енергетичним засобом.

У газодизельному режимі в енергетичну установку подають два види палива: дизельне (в меншій кількості, ніж у базовому) і газове (паливо для заміщення). Дизельне паливо грає роль «запальної» дози для займання інтегральної газоповітряної паливної суміші. Ступінь заміщення додатковим паливом залежить від декількох факторів, переважно від удосконалення додаткової газопаливної апаратури, що встановлюється, і базової дизельної апаратури. Дуже важливим моментом у використанні газодизельного режиму є можливість переходу на вихідний дизельний режим у будь-який момент часу, перемикач режиму знаходиться в кабіні.

У газодизельному режимі для заміщення зазвичай використовують пропан або метан. У кожного виду з цих газових палив є свої переваги і недоліки [13].

Застосування зрідженого нафтового газу як палива для ДВЗ дозволяє отримати такі переваги, як:

- велика мережа газових заправок;
- газові балони займають мало місця і мають невелику вартість;
- невелика вартість газобалонного обладнання дозволяє швидко окупити додаткові витрати.

До недоліків використання зрідженого нафтового газу для газодизельного режиму можна віднести невисоку фінансову ефективність від економії (після закінчення періоду окупності початкових витрат), яка складає від 11% до 16% в розрахунку від попередніх витрат на дизельне паливо.

Тому для енергетичних установок, що працюють на дизельному паливі, найбільш придатним є стислий природний газ.

Використання метану для заміщення може бути реалізоване двома способами, які відрізняються видом зберігання газу. У першому випадку метан (стислий природний газ) зберігається в

стислому стані в спеціальних балонах високого тиску (тиск до 20 МПа), що дає таку перевагу, як найвища фінансова ефективність від економії (після закінчення періоду окупності початкових витрат), складник від 35% до 55% у розрахунку від попередніх витрат на дизельне паливо.

До недоліків від використання метану (стислого природного газу) для газодизельного режиму можна віднести:

- нерозповсюдженість мережі заправок, прив'язаність маршруту руху трактора до певної заправки;
- відносно невеликий пробіг на одній заправці, оскільки газ зберігається в балонах у стислому вигляді, тому маса запровленого палива невелика;
- газові балони займають багато місця на борту трактора;
- відносно велика вартість комплексу обладнання та великі початкові витрати, що збільшують період окупності.

У другому випадку метан (зріджений природний газ) зберігається в зрідженому вигляді у спеціальному криогенному балоні (тиск до 1–6 МПа, температура близько -155°C), що дає такі переваги:

- відносно високу фінансову ефективність від економії (після закінчення періоду окупності початкових витрат), складник від 20% до 30% у розрахунку від попередніх витрат на дизельне паливо;
- газові балони займають мало місця на борту;
- вартість газобалонного обладнання нижча за вартість у варіанті зі стисненим метаном, що зменшує початкові витрати на переобладнання.

До недоліків від використання зрідженого природного газу для газодизельного режиму можна віднести:

- практично повну відсутність мережі заправок, прив'язаність маршруту руху трактора до певної заправки;
- газові криогенні балони випускаються у вигляді дослідних зразків (під замовлення), мають високу вартість [12].

Незважаючи на вказані недоліки, природний газ розглядається як перспективний альтернативний заміник нафтових палив. Переобладнання сільськогосподарської техніки на СПГ є економічно вигідним і дозволить значно зменшити викиди шкідливих речовин із відпрацьованими газами.

Висновки. Таким чином, у процесі роботи за несталою навантаження всі системи енергетичної установки МТА працюють неузгоджено, збільшуються витрати палива до 20%, знижується ефективна потужність на 15...20%, знижується ресурс

енергетичної установки та збільшуються викиди шкідливих речовин.

З проведених досліджень можна зробити висновки, що сьогодні для енергетичних установок у складі МТА, що працюють за несталою

навантаження, замість дизельного палива для поліпшення ефективних показників доцільно використовувати енергетичну установку з газодизельною системою подачі палива, що є економічно вигідно.

Список літератури:

1. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Золотаревский Л.С., Ксенофонтов С.И., Самсонов Р.О. Опыт эксплуатации автомобилей, работающих на газе. Москва: ВНИИЭГазпром, 1990. 59 с.
 2. Захарчук В.І. Застосування альтернативних палив в автотракторних дизелях. *Енергозбереження*. 2010. № 2. С. 27–28.
 3. Захарчук О.В. Теоретичні дослідження показників колісного трактора з газовим двигуном. *Сільськогосподарські машини*. 2012. Вип. 23. С. 51–55.
 4. Золотаревский Л.С., Васильев Ю.П., Ксенофонтов С.И. Газовые и газодизельные двигатели. Москва: ВНИИЭГазпром, 1992. 126 с.
 5. Колесник Ю.И., Долганов К.Е., Лисовая А.А. Система питания и регулирования для переоборудования дизелей в газодизели. *Двигателестроение*. 1999. № 1. С. 37–40.
 6. Диденко Н.К. и др. Обоснование состава комплексов машин для растениеводства. *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1980. № 9. С. 12–15.
 7. Кушнарьов А.С., Серий І.О., Серий І.С. Обґрунтування конструктивних параметрів нового робочого органу з активаторами розпушування. *Праці ТДАТУ*. 2017. Вип. 17. Т. 2. С. 26–35.
 8. Погорелый Л.В., Бильский В.Г., Кононенко Н.П. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники. Киев: Урожай, 1989. 240 с.
 9. Шаров Н.М. Эксплуатационные свойства машинно-тракторных агрегатов. Москва: Колос, 1981. 240 с.
 10. Клементьев А., Федоров В. Альтернативные виды топлива: проблема выбора в ближайшей перспективе. *АГЗК+АТ*. 2006. № 3. С. 63–65.
 11. Галышев Ю.В., Магидович Л.Е. Перспективы применения газовых топлив в ДВС. *Двигателестроение*. 2001. № 3. С. 31–35.
- Метан – як моторне пальне. Переваги і недоліки. URL: <http://www.oilgasexpo.com/ru/uploads/2016.pdf>.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИНОТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Работа посвящена научным исследованиям эффективности работы машинотракторных агрегатов при возделывании почвы с использованием газодизельных тракторов. Приведена схема повышения эффективности машинотракторных агрегатов при выполнении таких технологических процессов, как вспашка, культивация и др. Определено, что одним из доступных направлений повышения эффективности использования машинотракторных агрегатов при выполнении технологических операций является ресурсосбережение. Основные затраты при выполнении механизированных работ приходятся на горюче-смазочные материалы, поэтому для снижения этих затрат стоит совершить переход на более дешевое альтернативное топливо, а именно газ. Установлено, что целесообразно переоборудовать дизельные энергетические установки на систему питания газовым топливом.

Ключевые слова: технологические процессы, машинотракторные агрегаты, обработка почвы, газодизельные энергетические средства, режимы работы.

ENHANCEMENT OF THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF MACHINE-TRACTOR AGGREGATES BY SOIL CULTIVATION USING THE GAS AND DIESEL POWER SUPPLY ACTIVITIES

The work deals with the scientific research on the operational efficiency of machine-tractor aggregates by soil cultivation using the gas and diesel tractors. The scheme of machine-tractor aggregates efficiency increase during the execution of such technological processes as plowing, cultivation and other kinds of works is given. It is determined that one of the available ways to increase the efficiency of using machine-tractor aggregates during the implementation of technological operations is the resource-saving. The main costs of performing mechanized work are fuel and lubricants, so the way to reduce these costs is the transition to cheaper alternative fuels, namely natural gas. As a result, it was found that it is expedient to convert the diesel power supply units over to a gas fuel supply system.

Key words: technological processes, machine-tractor aggregates, soil cultivation, gas-diesel power supply units, operating modes.

УДК 62-626.9

Тірон-Воробйова Н.Б.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

Романовська О.Р.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

Максимов С.Б.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ: СУЧАСНІ РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

У статті розглянуто сучасні реалії та перспективи річкового транспорту України, спираючись на досвід країн Європейського Союзу. Окреслено проблематику стислого впровадження річкового транспорту в Україні, вирішення цього питання з метою удосконалення водного транспорту загалом, поліпшення умов річкових перевезень. Проаналізовано методи стимулювання розвитку річкового транспортно-комплексу всієї держави.

Ключові слова: річковий транспорт, перспективи, енергоефективність, дельта Дунаю, річковий транспортний комплекс, судноплавство.

Постановка проблеми. У річкового транспорту в Україні існує дві основні проблеми: відсутність законодавства щодо розвитку внутрішнього водного транспорту (як наслідок, немає чітких правил для інвесторів і передумов для ведення бізнесу) і національного регулятора та зрозумілого тарифу. Фактично, в Україні ніхто не володіє інформацією щодо собівартості перевезення по річці. Це більша проблема, ніж застарілий флот і днопоглиблення, як відзначає один з експертів з економічного аналізу та транспортної інфраструктури «Українського інституту майбутнього». Але водночас до 2030 р. Україна може вийти на 25 млн т вантажоперевезень на рік, доповнює експерт. Для цього потрібно прийняти закон «Про водний транспорт», наслідком якого стане конкурентоспроможність річкових перевезень. Сьогодні підприємства здійснюють вантажоперевезення передусім «Укрзалізницею», де тарифи занижені. Якщо в країні з'являться «зрозумілі правила гри» та тарифи, річкових перевезень стане набагато більше. Основним кредо є впровадження технологій, за допомогою яких будуть зменшені витрати на паливо, що призведе до зменшення тарифу. Маючи 5 дм³ умовного палива, 1 т умовного вантажу можна перевезти річковим транспортом на 500 км, залізницею – на 333 км, автомобільним транспортом – усього на 100 км. А це, насамперед, економічність [1, с. 20–25]. Однак ніхто не готовий «пересісти на річку», тому що судно повільніше за автобус і поїзд, – стверджують аналітики.

В Україні всього 3% вантажу перевозиться річкою, що призводить до втрати країною річкового транспорту. Загалом країна мала 4 005 км річкових судноплавних шляхів, тепер же – удвічі менше. За першоджерелами, Європейський інвестиційний банк підрахував, що Україна, не використовуючи потенціал Дніпра, недоотримає 27 млн грн на рік.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом, морський транспортний комплекс є багатофункціональною структурою, яка задовольняє потреби національної економіки у транспортному забезпеченні. Морські порти передусім є складовою частиною транспортної та виробничої інфраструктури держави з огляду на їх розташування по напрямках міжнародних транспортних коридорів. Конкурентоспроможність вітчизняного транспортно-комплексу на ринку світових держав залежить від ефективності функціонування морських портів, рівня їх технологічного та технічного оснащення, відповідності системи управління та розвитку інфраструктури сучасним міжнародним вимогам.

Основними перевагами морської портової галузі в Україні є достатньо високий експортний потенціал вантажів чорних металів, вугілля, залізородного концентрату та зернових; наявність потужностей з обробки вантажів; вигідне розташування морських портів для забезпечення транзитних вантажопотоків; наявність нормативно-правової бази щодо можливості залучення приватних інвестицій для розвитку портової

галузі; наявність висококваліфікованих спеціалістів портової галузі (поступове щорічне зростання).

Обсяги вантажних і пасажирських перевезень річковим транспортом незначні, але є найбільш рентабельними за рахунок міжнародних сполучень із використанням басейнів рік Дніпра і Дунаю, а також прибережних вод Чорного моря у напрямку країн центральної і південно-східної Європи. Ефективність функціонування річкового транспорту України значно нижча (близько 20%) порівняно з розвинутими країнами Заходу.

Річковий транспорт як галузь народного господарства є одним із найважливіших видів транспорту, який у взаємодії з залізничним та іншими видами транспорту сприяє забезпеченню нормального виробництва й обігу продукції промисловості, сільського господарства і задовольняє потреби населення в пересуванні по внутрішніх водних шляхах.

Правове регулювання річкового транспорту як підгалузі транспортного права здійснюється загальним законодавством (Законом України «Про транспорт» і галузевими актами, зокрема Статутом внутрішнього водного транспорту та законодавством, яке регулює перевезення як морським, так і внутрішнім водним транспортом (Кодексом торговельного мореплавства і т. д.).

Основним суб'єктом господарювання у сфері річкового транспорту є пароплавства (ВАТ «Українське Дунайське пароплавство», Азовське морське пароплавство) та інші перевізники різних форм власності, які отримали у встановленому порядку ліцензію на надання послуг із перевезення пасажирів і вантажів морським, річковим транспортом.

Як і морський, річковий транспорт має низку переваг перед сухопутним, зокрема готові природні шляхи, використання течії води, можливість одночасно транспортувати великі вантажі й пасажирів [2].

Після спорудження у середині 30-х рр. Дніпрогесу й затоплення Дніпровських порогів встановилося наскрізне судноплавство на Дніпрі.

Загальна довжина судноплавних річок в Україні – 4,4 тис. км, у т. ч. з навігаційною обстановкою – 3,9 тис. км. Найдовша внутрішня водна артерія – Дніпро (1 200 км).

Річковий транспорт України представлений міжгалузевим державним об'єднанням «Укррічфлот», яке реформувалося в акціонерну судноплавну компанію, що складається з Головного підприємства та 290 структурних одиниць.

Серед транзитних вантажів переважають вугілля та руда. Річковим транспортом вантажі перевозяться Дніпром, Дунаєм, Чорним і Середземним морями із заходом в річкові порти Румунії, Німеччини, Угорщини, Австрії, а також у морські порти Туреччини, Греції, Ізраїлю, Франції, Італії.

Європейський Союз в 2005 р. прийняв нову транспортну політику, в якій важлива роль належить морським автомагістралям, найбільш широкий розвиток отримали Пан'європейські транспортні коридори.

Головна річкова судноплавна артерія, що проходить територією України з півночі на південь, по суті, є водною частиною міжнародного транспортного коридору (далі – МТК) № 9. У перспективі за спільної заінтересованості Євросоюзу, балтійських країн, Польщі та Білорусі у проведенні гідротехнічних робіт Дніпро разом із Дніпро-Бузьким каналом, Бугом і Віслою з однієї сторони, в поєднанні з Західною Двіною та Даугавою – з іншої, може стати економічно вигідним водним коридором між Чорним і Балтійським морями [3].

До основної європейської транспортної мережі входить транспортний маршрут річкою Дунай (МТК № 7), що забезпечує водне сполучення між країнами придунайського регіону центральної та південно-східної Європи з виходом до Чорного моря.

Будівництво судноплавного каналу Дунай – Чорне море на українській ділянці дельти Дунаю дасть змогу значно розширити експлуатаційні спроможності української частини транспортного коридору, а в перспективі у взаємодії з Російською Федерацією створити маршрут Дунай – Чорне море – Дон – Волга з виходом до Каспійського моря.

Крім того, разом із Критським МТК за останні роки сформована мережа МТК, яка включає євразійські МТК, МТК Організації співробітництва залізниць (ОСЗ), формується Пан'європейська Чорноморська транспортна зона, затверджена на III Загальноєвропейській транспортній конференції (Гельсінкі, 1997 р.) [4].

Постановка завдання. Метою статті є аналітичний огляд першоджерел і системна оцінка умов функціонування (досягнення оптимального рівня) річкового транспортного комплексу України, аналіз реалій і перспектив, методів стимулювання в рамках цілої держави розвитку річкового транспорту країни.

Виклад основного матеріалу дослідження. Річковий транспорт – один з основних видів транспорту, що здійснює перевезення вантажів і пасажирів внутрішніми водними шляхами.

Перед поширенням залізничного транспорту річковий був в Україні головним засобом масового транспорту, пізніше занепав і тепер становить близько 2% порівняно з усіма іншими видами.

Внутрішній водний (річковий) транспорт – транспорт, який здійснює перевезення вантажів і пасажирів суднами внутрішніми водними шляхами, як природними (річками, озерами), так і штучними (каналами, водосховищами). До його складу входять судноплавні шляхи (природні та штучні), вузли (порти, пристані) та флот (річкові судна). Розміри річкових суден значно менші, ніж морських, на деяких річкових шляхах із глибиною до 6–8 м курсують морські судна змішаного типу «річка – море» (наприклад, по каналу руслу річки Св. Лаврентія в Канаді). Річковий флот представлений самохідними судами й баржами, які йдуть окремо або буксируються караванами. Річкові судна спеціалізуються за видами вантажів: відкриті і закриті суховантажі (у т. ч. зерновози, вуглевози), танкери, контейнеровози тощо. Річковий флот світу налічує близько 90 тис. суден [5]. У багатьох країнах світу річковий транспорт досі займає важливе місце в транспортній системі, оскільки є найбільш дешевим і зручним видом транспорту, особливо для перевезень масових вантажів. Позитивними особливостями цього виду транспорту є висока провізна спроможність (на глибоководних ріках), невисокі собівартість перевезень і витрати на організацію судноплавства.

Річковий транспорт використовує судноплавні річки, канали, озера та інші внутрішні водойми, тому його розвиток і географія багато в чому визначаються природними умовами. З огляду на це великі можливості для організації річкового судноплавства мають багато країн Північної і Латинської Америки, Європи та Азії [6].

Річковий транспорт обслуговує переважно внутрішні потреби окремих держав, але іноді здійснює міжнародні перевезення (наприклад, по річках Рейн і Дунай у Європі або річкою Св. Лаврентія і Великими озерами у Північній Америці). Всього у світі 214 т. зв. міжнародних річок (Дунай, Рейн, Амазонка, Замбезі, Ніл, Конго та ін.).

Україна володіє значними й протяжними річковими ресурсами, які не до кінця використовуються як зручний і дешевий спосіб для доставки вантажів як по Україні, так і за її межі. В Україні є три великі судноплавні річки: Дунай, Дніпро та Південний Буг. Всі вони мають вихід до Чорного моря, а Дунай і Дніпро належать до п'яти найбільших річок Європи. Однак, незважаючи на наявний потенціал, для розвитку транспортного сполу-

чення за допомогою річкового транспорту в Україні ним перевозиться лише 0,5% товарів. Серед країн ЄС цей показник доходить до 16,3% в Болгарії та 12,3% – у Німеччині. У цілому в країнах ЄС цей показник становить 6,7%. З часу здобуття незалежності (починаючи з 1990 р.) довжина річкових судноплавних шляхів скоротилася майже в 2 рази (з 4 до 2,1 тис. км). Скоротилася щільність річкових судноплавних шляхів у 1,75 разів, інтенсивність перевезень вантажів – у 3 рази, перевезень пасажирів – у 7,5 разів. Проведений аналіз ресурсного потенціалу річкового флоту України показав, що 80,8% (1 648 од.) річкових суден придатні до експлуатації, решта 19,2% (392 од.) – непридатні. У структурі придатних до експлуатації суден найбільшу частку – 46,7% (770 од.) та 44,4% (731 од.) – становлять службово-допоміжні та транспортні судна. Також є технічні судна, частка яких дорівнює 6,9% (113 од.), та судна спеціального призначення – 2,1% (34 од.). Вантажопідйомність транспортних суден становить 899,8 тис. т, а пасажиромісткість – 16,4 тис. пасажирів. Технічний стан річкового флоту постійно погіршується. Кількість технічно та морально застарілих суден становить 81,9%. Найбільша частка старих суден припадає на вантажопасажирські – 97,1%. Внаслідок цього за останні 5 років, враховуючи світову фінансову кризу, загальний обсяг перевезень вантажу скоротився в 3,5 рази.

Таким чином, річковий транспорт України має більше проблем, ніж позитивних зрушень. Все це розпочалося ще з часів незалежності України, оскільки вже тоді потрібно було правильно реформувати цю галузь транспорту [7].

Головними проблемами річкового транспорту України є:

1. застарілість флоту, застаріле навантажувально-розвантажувальне обладнання. Проблема застарілості основних засобів є спільною для всієї транспортної галузі України, тому річковий транспорт не є оригінальним у цьому плані. Але оскільки річкові перевезення є прибутковою справою, не повинно виникати великих складнощів із залученням інвестицій;

2. сезонність перевезень. Ця проблема є природною специфікою річкового транспорту, оскільки взимку частина річок недоступна для суден. Це зменшує прибутковий період компанії та змушує її підвищувати рентабельність діяльності в теплу пору року;

3. недостатність гарантованих проектованих глибин на ділянці Кам'янське – Запоріжжя через відпрацьованість Запорізького водосхо-

вища. Недостатність глибини ускладнює питання доставки вантажів через цю ділянку, змушує або розбивати вантаж малими партіями та використовувати судна, що потребують меншої глибини, або частково транспортувати вантаж сушею;

4. обміління каналу Прірва, через що виникають проблеми з перевезенням вантажів із гирла Дніпра до Дунаю територією України. Неможливість переходу до русла Дунаю через територію України змушує використовувати території інших країн, а це потребує додаткових видатків і підвищує мінімальну вартість вантажу, який прибутково провозити руслом Дунаю.

Україна має можливість змінити таку ситуацію в позитивну сторону, для цього треба дотримуватися певного плану розвитку річкового транспорту та співпрацювати з країнами ЄС [8].

Отже, завданнями розвитку річкового транспорту в Україні є:

- застосування великовантажних суден для внутрішніх перевезень масових вантажів;
- збільшення частки вантажів у пакетованому вигляді, контейнерах;
- розширення перевезень у ліхтеровозах;
- розвиток перевезень експортно-імпортних вантажів у суднах типу річка-море;
- пом'якшення чинників сезонної нерівномірності перевезень за рахунок подовження експлуатаційного періоду й організації цілорічної навігації на окремих ділянках;
- виведення з експлуатації фізично й морально застарілих суден і поповнення флоту суднами нових типів;
- розширення обсягів перевезень буксирним флотом вантажопідйомністю 3 900 т і більше;
- оснащення портів високопродуктивними перевантажувальними комплексами для перевезення вантажів навалом, а також засобами малої механізації, що дасть змогу скоротити простої суден, вагонів та автомобілів, розвинути відомчі причали, оснастити їх сучасною перевантажувальною технікою.

Для освоєння намічених обсягів перевезень річковому транспорту на перспективу потрібно 120 тис. т самохідного вантажного і 195 тис. т несамохідного тоннажу [9].

Для забезпечення стійкої роботи річкового транспорту потрібно реконструювати суднопіднімальні споруди Запорізького та Херсонського судноремонтно-суднобудівного заводів, окремі об'єкти на Київському судноремонтно-суднобудівному заводі, Чернігівській і Дніпропетровській ремонтно-експлуатаційних базах флоту, трика-

мерний судноплавний шлюз у Запоріжжі, збудувати Вилковську ремонтно-експлуатаційну базу флоту на Дунаї.

Висновки. Для забезпечення розвитку річкових перевезень необхідно вжити заходи щодо підвищення конкурентоспроможності річкового транспорту, зокрема:

- розробити та прийняти галузеві транспортні стратегічні програми з метою збалансування розподілу вантажопотоків між авто-, залізничним і річковим транспортом;
- ввести конкурентний підхід до тарифоутворення на залізничному транспорті;
- змінити принцип оплати зборів за проходження річковими суднами шлюзів, акваторій морських портів;
- знизити збори за прохід суден під іноземними прапорами внутрішніми водними шляхами України.

Такий розвиток річкового транспорту повинен привести до позитивних змін. По-перше, буде розвантажений залізничний вузол біля Великої Одеси. По-друге, річковий транспорт більш екологічно чистий, ніж інші види перевезень, вища і його енергоефективність. По-третє, розвиток річкового транспорту зміцнить позиції України в МТК. Також потрібно розвивати Одеський регіон, він має декілька великих річок, якими здійснюється судноплавство. Найбільш привабливою вважається ділянка Дунаю. Саме він зв'язує Україну з країнами – членами ЄС у Центральній і Західній Європі, а також із Балканами.

Сьогодні здійснюється будівництво паромної переправи «Ісачка – Орлівка», яка може активізувати судноплавство в регіоні. Таким чином, Україна має великий і нереалізований потенціал перевезень річковим транспортом. Перспективними регіонами для розвитку річкової навігації традиційно залишаються дві найбільші річки – Дніпро та Дунай. Розвиток інфраструктури й оновлення річкового флоту, ухвалення низки законодавчих ініціатив, спрямованих на спрощення роботи річкових перевізників, може стати додатковим фактором активізації економічної активності в Україні. З огляду на перспективність розвитку річкового сполучення в західному напрямі актуальним є реалізація інфраструктурних проектів у партнерстві України та країн – членів ЄС.

У сучасному світі транспортування збільшило своє значення і стало одним із найважливіших складників інфраструктури. Розвиток транспорту також вплинув на комунікації, які допомагають розвитку світової економіки. Сьогодні комуніка-

ції переміщують не лише матеріальні об'єкти, а й віртуальні цінності (інформацію). У свою чергу, розвивається не лише економіка, а й суспільство загалом. Саме сьогодні виникають нові транспортні галузі, що стають важливими компонентами світової економіки. Проте потрібно не забувати про ті види транспорту, які вже існують, адже за їх допомогою можливо скоротити витрати на транспортування та проводити операції набагато швидше. Проте існує низка факторів, що негативно впливають на транспортну систему підприємства, серед яких:

– застарілий рухомий склад різних видів транспорту;

– неефективна транспортна технологія;
– недоліки в управлінні та погано налагоджена система тощо.

Отже, транспортна система потребує негайного вивчення, покращення та вдосконалення. Це повинно бути проведено шляхом глобального вивчення та впровадження нових, більш досконалих досліджень, з використанням матеріалів і принципів глобальної логістики. Потрібно внести корективи до чинного законодавства та перейняти досвід більш розвинених країн, що вже налагодили власні транспортні системи та є лідерами у цій галузі. Перспективним є подальші наукові дослідження тенденцій розвитку інших галузей транспортної системи.

Список літератури:

1. Бережнюк І.Г. (відп. ред.) та ін. Транспорт річковий. *Митна енциклопедія*: у 2 т. Хм.: ПП Мельник А.А, 2013. 416 с.
2. Транспортне право: Річковий транспорт України, його склад і система управління. URL: <https://buklib.net/books/26417/>.
3. Революція на воді: як Україні заробити на річках. URL: <https://ukr.segodnya.ua/economics/transport/revoluciya-na-vode-kak-ukraine-zarobotat-na-rekah-1136749.html>.
4. Річковий транспорт. URL: https://pidruchniki.com/1274121138617/rps/richkoviy_transport.
5. Морський і річковий транспорт України. URL: http://proukraine.net.ua/?page_id=469.
6. Водний транспорт: інформація про водний транспорт України. URL: <http://mtu.gov.ua>.
7. Укррічфлот – офіційний сайт. URL: <http://ukrrichflot.ua/ua/>.
8. Розвиток річкового транспорту у контексті реалізації євроінтеграційних планів України. Аналітична записка. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1763/>.
9. Державна служба статистики України – офіційний сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ УКРАИНЫ: СОВРЕМЕННЫЕ РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В статье рассмотрены современные реалии и перспективы речного транспорта Украины, опираясь на опыт стран Европейского Союза. Очерчена проблематика сжатого внедрения речного транспорта в Украине, решения этого вопроса с целью усовершенствования водного транспорта, улучшения условий речных перевозок. Проанализированы методы стимулирования развития речного транспортного комплекса всего государства в целом.

Ключевые слова: речной транспорт, перспективы, энергоэффективность, дельта Дуная, речной транспортный комплекс, судоходство.

RIVER TRANSPORT OF UKRAINE: MODERN REALITIES AND PROSPECTS

The article deals with the contemporary realities and prospects of river transport of Ukraine, at the same time, according to the latter, building on experience of the countries of the European Union. The authors of the article justify the problem of rather brief introduction of the existence of river transport in Ukraine, in particular the solution of this difficult question with the aim of improving water transport in general, and improving the conditions of the development of river transport. The methods of stimulating the active growth of the demand of the state river transport complex are analyzed.

Key words: river transport, prospects, energy efficiency, Danube Delta, river transport complex, shipping.

БУДІВНИЦТВО

УДК 624.011

Стоянов В.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Жгалли Ш.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ПОКРЫТИЯХ УНИКАЛЬНЫХ И СОВРЕМЕННЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ

В статье объектом и предметом внимания является достоверность и применимость численного моделирования процессов снегопереноса и снегоотложения с целью определения снеговых нагрузок на покрытиях уникальных и современных архитектурных форм на первом этапе концепции в условиях отсутствия нормативно-методической документации и научно-технического сопровождения. Эксперимент в специальных аэродинамических трубах всегда должен сопровождать процесс численного моделирования. Дается краткий анализ современного состояния численного моделирования, а также приводятся проверочные расчеты, результаты моделирования и их сопоставимость с ранее полученными численно и экспериментально результатами других авторов. Исследуется распределение снега на оболочки типа гиперболического параболоида. Моделирование проводится в программном комплексе ANSYS Fluent.

Ключевые слова: снеговые нагрузки, натурные эксперименты, снегоотложение и снегоперенос, гиперболический параболоид, ANSYS Fluent, аэродинамические трубы.

Постановка проблемы. Процесс формирования снеговых покровов на большепролетных покрытиях или оболочках является серьезной проблемой в последние годы, особенно когда глобальное потепление провоцирует реальные возможности изменения в снеговых и ветровых районах. Отсутствие схемы для определения характера распределения снеговой нагрузки с учетом ссыпания и снегопереноса в (ДБНе, СНИПе, еврокоде, в актуализированной редакции этих документов)

усугубляет ситуацию, особенно для большого класса формы оболочки, в частности гиперболических покрытий, что является причиной случайных повреждений и разрушений эксплуатируемых конструкций (рис. 1).

В настоящее время прогнозирование снеговых нагрузок в значительной степени зависит от изменений в аэродинамической трубе. С развитием вычислительной механики особенно в области вычислительной гидродинамики (CFD) все боль-



Рис. 1. Обрушение стадиона в Миннеаполисе в 2010 г.

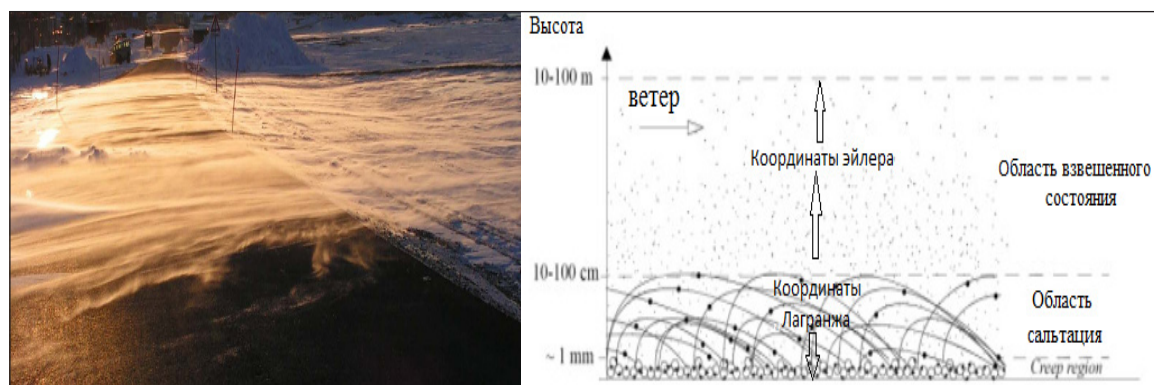


Рис. 2. Слева – поток сальтации снежных частиц г. Лонгиир, Норвегия; справа – классификация математических моделей снегопереноса в соответствии с двумя основными механизмами снегопереноса

шее число исследователей начинают изучать снеговые нагрузки путем численного моделирования. Между тем, численное моделирование имеет преимущества по низкой стоимости, сжатоу сроку и может быть легко использовано для проведения параметрического анализа.

В зависимости от подхода к моделированию, модели многофазных течений разделяются на два основных класса: Лагранжевы и Эйлеровы модели. Наиболее простые модели основаны на критической скорости U_* и распространяют подход Эйлера как на область сальтации, так и на область взвешенного состояния, в которой турбулентность играет значительную роль в процессе переноса частиц снега (рис. 2). С другой стороны, прямое моделирование динамики частиц снега в координатах Лагранжа значительно повышает требования к вычислительным ресурсам [1].

В связи с этим, данный подход нельзя рекомендовать к внедрению в инженерную практику, за исключением двумерных расчетов или моделирования ограниченных областей. Такое четкое разделение на два основных механизма снегопереноса и их математическая интерпретация приводят к определенным проблемам, что усложняет реализацию обеих механизмов снегопереноса одновременно. Возможный вариант решения указанной проблемы – использование результатов моделирования процесса сальтации в координатах Лагранжа в качестве входных граничных условий (например, в виде эффективной объемной концентрации снега) для задачи моделирования процесса переноса взвешенных частиц снега в координатах Эйлера [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Первые попытки использовать технологии численного моделирования для расчета снеговых нагрузок предприняты еще в начале 90-х годов

прошлого века. В этот период началось активное строительство гражданских и промышленных объектов в высокогорных районах Франции и Норвегии, для которых характерна повышенная вероятность схода лавин с соответствующими катастрофическими последствиями. В связи с этими обстоятельствами, появилась идея использовать методы вычислительной гидродинамики для моделирования процессов снегоотложения и снегопереноса.

В 1998 году французский ученый Naaim [3] опубликовал работу, которая стала основой для разработки современных моделей снегопереноса и снегоотложения Thiis [4–7] и Bang [8]. Для моделирования массообмена между воздухом и снегом Naaim предложил «эрозионную» модель, в которой процесс массообмена зависит от характеристик турбулентности основного потока, от критической скорости потока (скорость потока, соответствующая началу переноса частиц снега) и локальной концентрации снега.

В предыдущих исследованиях, где моделировали снеговые нагрузки, использовалось множество различных моделей турбулентности. В работе [9] применили стандартную модель k-ε и указали, что необходимо критически изучить влияние неточности в отношении изотропной турбулентности при накоплении снега и эрозии. В работе [10] использовали исправную модель k-ε в моделировании снегопереноса и снегоотложений и сравнили результаты со стандартным k-ε.

Сравнительный анализ провиден в работе [11], где исследуется обтекание забора двухфазным потоком с применением различных моделей турбулентности (включая модель RSM, модель SST k-ω, k-ε модель и k-kl-ω), здесь авторы пришли к выводу, что модель k-kl-ω лучше согласуется с экспериментом. Эта модель представляет собой

три уравнения турбулентной кинетической вязкости на основании усреднения по Рейнольдсу. Эти три уравнения включают уравнения переноса для турбулентных кинетических энергий k_T , ламинарную кинетическую энергию k_L и обратный масштаб турбулентности (ω). Эти уравнения турбулентности представлены ниже:

$$\frac{Dk_T}{Dt} = P_{k_T} + R + R_{NAT} - wk_T - D_T + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{\alpha_T}{\alpha_k} \right) \frac{\partial k_T}{\partial x_j} \right], \quad (4)$$

$$\frac{Dk_L}{Dt} = P_{k_L} - R - R_{NAT} - D_L + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v \frac{\partial k_L}{\partial x_j} \right) \right], \quad (5)$$

$$\frac{D\omega}{Dt} = C_{\omega 1} \frac{\omega}{k_T} P_{k_T} + \left(\frac{C_{\omega} R}{f_{\omega}} - 1 \right) (R + R_{NAT}) \frac{\omega}{k_T} - C_{\omega 2} \omega^2 + C_{\omega 3} f_{\omega} \alpha_T f_w^2 \frac{\sqrt{k_T}}{d^3} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{\alpha_T}{\alpha_k} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \quad (6)$$

где P_{k_T} и P_{k_L} – генерации турбулентной и ламинарной кинетической энергии, R представляет собой усредненный эффект пробой турбулентной флуктуации в переходной поток, R_{NAT} – это естественный переход генерации, D_T и D_L – пристеночные диссипации.

Постановка задания. Целью работы является формулирование метода численного моделирования процесса снегопада, исследование закономерности формирования снеговых отложений на оболочке типа гипара.

Изложение основного материала исследования. Процесс снегопереноса и снегоотложения рассматривается как задачи теории многофазной среды, где течение вязкой несжимаемой жидкости определяется на основе решения системы уравнений Навье-Стокса. В работе применяется модель смеси (mixture), где рассматривается течение многофазной смеси в дисперсном режиме как единого целого. Фазы считаются взаимопроникающими средами. При этом решается один набор уравнений сохранения импульса для определения поля скоростей смеси двух или более фаз. Скорости отдельных фаз могут вычисляться через поправки к скорости смеси.

Пристеночные сдвиговые напряжения являются очень важным параметром в процессе снегопереноса и снегоотложения. Частицы снега начинают двигаться, когда пристеночные сдвиговые напряжения τ на поверхности снега превышают его предельные значения τ_r , в противном случае частицы снега остаются неподвижными. В численном моделировании пристеночное сдвиговое напряжение τ заменяется скоростью трения u , следующему соотношению:

$$u_* = \sqrt{\tau / \rho} = \frac{\kappa u(z)}{\ln(z / z_s)}, \quad (7)$$

где κ обозначает постоянную вон Кармана и равную 0,4; z_s – аэродинамическая высота шероховатости над снежной поверхностью.

Снежный поток уноса q_{ero} в упрощенном виде описывается в зависимости от скорости трения. Поток осаждения q_{dep} рассчитывается как функция объемной доли f и скорость снегопада w_f , определяется следующим условным выражением:

$$q_s = \begin{cases} q_{ero} = A_{ero} (u_*^2 - u_{*r}^2) & u_* > u_{*r} \\ q_{dep} = \rho_s f w_f \frac{u_*^2 - u_{*r}^2}{u_{*r}^2} & u_* \leq u_{*r} \end{cases} \quad (8)$$

Здесь A_{ero} является коэффициентом пропорциональности, характеризующим силу сцепления частиц снега, равняется 7.0×10^{-4} , u_{*r} – предельная скорость трения, равняется, w_f – скорость осаждения частиц снег. Кроме того, на каждом временном шаге нестационарной задачи сетка деформируется в соответствии с условиями (8). Перемещение узлов сетки позволяет отслеживать изменение топологии снежного покрова во времени, ниже представлен необходимый код на языке C++ для программирования этого условия во Fluent ANSYS.

```
DEFINE_EXECUTE_AT_END(exec)
begin_c_loop(c, t)
{
    real x[ND_ND];
    real y, vof, up, ux, hs;
    C_UDMI(c, t, 0) = (ps*wf*vof*((uxt*uxt)-(ux*ux)))/(uxt*uxt);
    Domain *domain;
    cell_t c;
    Thread *t;
    domain = Get_Domain(3);
    thread_loop_c(t, domain)
    {
        begin_c_loop(c, t)
        C_UDMI(c, t, 2) = (C_UDMI(c, t, 0) - C_UDMI(c, t, 1))/150;
        {
            C_CENTROID(x, c, t);
            y = x[1];
            up = uxt*2.8;
            ux = (C_U(c,t)*0.4)*0.4 / log(y / zs);
            hs = 0.0815*ux*ux;
            C_VOF(c, t);
            if (y <= hs)
                vof += (0.68*uxt*((ux*ux) - (uxt*uxt))) /
                    (ux*up*hs*9.81);
            else
                vof += (0.8*exp(-1.55*(4.78*pow(ux, -0.544) - pow(y,
                    -0.544)))) / ps;
        }
        end_c_loop(c, t)
    }
    printf("\n VOF = %g\n", vof);
}
```

Обычно плотность частиц снега ρ_s немного больше объемной плотности ρ_b . В данном исследовании это отличие не рассматривается. Таким образом, скорость изменения глубины снега за единицу времени может быть рассчитана

$\Delta h = q_s / \dot{\lambda}_s$. После определенного периода времени снегопада Δt глубина снега или снеговой покров может быть рассчитан согласно уравнению (4), где h_0 – начальный снеговой покров:

$$h(t) = h_0 + \int_0^{\Delta t} \frac{q_s}{\rho_s} dt . \quad (9)$$

В реальных условиях процесс снегопада часто длится от нескольких часов до нескольких дней, поэтому традиционные методы моделирования снеготранспорта и снеготложения с использованием CFD становятся очень трудоемкими в отношении к потреблению времени. Следовательно, изменение поверхности снега обычно не рассматривалось во многих предыдущих работах [12].

Данный метод является упрощенным подходом для реализации моделирования небольших процессов снеготранспорта и снеготложения. Результаты прогнозирования показывали хорошую сходимость с данными, полученными путем испытаний в специальной аэродинамической трубе [13]. Также во время моделирования процессов эрозии и осаждения задача рассматривается как стационарное состояние, где скорость изменения глубины снега за единицу времени q_s / ρ_s остается постоянной. Таким образом, интеграл по времени становится следующей формулой (10):

$$h(t) = h_0 + \frac{q_s}{\rho_s} \Delta t. \quad (10)$$

Важно отметить, что снеготранспорт разделяется на три механизма в зависимости от высоты от поверхности земли, области оползня, области и сальтации, области взвешенного состояния (диффузия). Скорость переноса снега в слое оползня настолько мала, что можно пренебречь. Таким образом, движение снега в оползень не рассматривается.

В UDF-Fluent посредством кода на C++ динамику сетки можно представить в следующем виде:

```
DEFINE_GRID_MOTION(beam, domain, dt, time, dtime)
{
    Thread *tf= DT_THREAD(dt);
    face_t f;
    cell_t c0;
    Thread *ct0;
    Node *v;
    real NV_VEC(axis);
    real beam;
    int n;
    begin_f_loop(f, tf)
    {
        f_node_loop(f, tf, n)
        {
            v = F_NODE(f, tf, n);
            if (NODE_POS_NEED_UPDATE(v))
            {
                NODE_POS_UPDATED(v);
            }
        }
    }
}
```

```
c0 = F_C0(f, tf);
ct0 = THREAD_T0(tf);
beam = C_UDMI(c0, ct0, 2)*dtime;
NV_D(axis, =, 0.0, 1.0, 0.0);
NV_V_VS(NODE_COORD(v), =,
NODE_COORD(v),+,axis,*, beam);
}
```

Профиль концентрации частиц снега задается эмпирической формулой, предложенной в работах [14–15], в которой концентрация снега задается как постоянная в области сальтации ($z < h_{sat}$) и уменьшается экспоненциально с увеличением высоты к области взвешенного состояния ($z > h_{sat}$).

Концентрация частиц снега Φ представляет собой произведение объемной доли снега f и плотности частиц снега ρ_s , объемную долю снега f можно вычислить по формуле (11) и в коде C++, ниже представлено:

$$f = \begin{cases} \frac{0,68}{g u_p h_{sat}} u_p (u_s^2 - u_t^2) z \leq h_{sat} \\ 0,8 \exp[-1,55(4,78 u_p^{-0,544} - z^{-0,544})] / \rho_s z > h_{sat} \end{cases}, \quad (11)$$

где u_p – средняя скорость частицы снега в области сальтации и принимается как $2,8 u_t$, h_{sat} – это средняя высота области сальтации, которая определяется следующим уравнением:

$$h_{sat} = 1,6 \frac{u_t^2}{2g} \quad (12)$$

```
DEFINE_PROFILE(volume_fraction,thread,index)
{
    real x[ND_ND];
    real y;
    real up,ux,um,hs;
    face_t f;
    begin_f_loop(f,thread)
    {
        F_CENTROID(x,f,thread);
        y=x[1];
        up=ux*2.8;
        um=Uref*pow(y/del,alpha);
        ux=(um*0.4)/(log(y/zs));
        hs=0.0815*ux*ux;
        if (y<=hs)
            F_PROFILE(f,thread,index)=(0.68*ux*((ux*ux)-(ux*ux)))/(ux*up*hs*9.81);
        else
            F_PROFILE(f,thread,index)=(0.8*exp(-1.55*(4.78*pow(ux,-0.544)-pow(y,-0.544))))/ps;
    }
}
```

Результаты по моделированию снеготложения и снеготранспорта в условиях верификационных моделей. С целью проверки достоверности численного моделирования, мы проводим сравнительный анализ между экспериментом и результатом численного моделирования, приведенными нами и другими авторами. Для этого рассматриваются две модели: ступенчатая, исследуемая технологическим институтом Хоккайдо (Саппоро, Япония), где проведены серии экспериментов и наблюдений за моделью под снегопадом [16], и двускатная крыша, исследуемая множественством авторов [21–22].

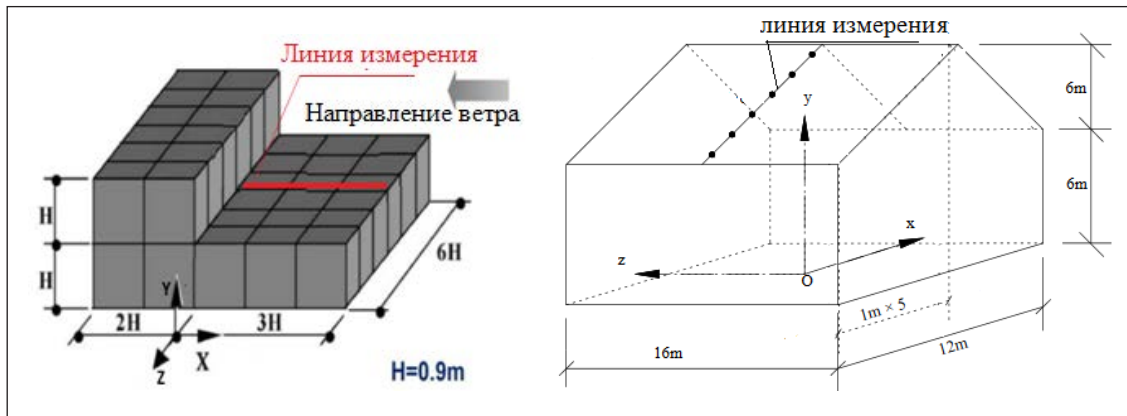


Рис. 3 Схема модели здания

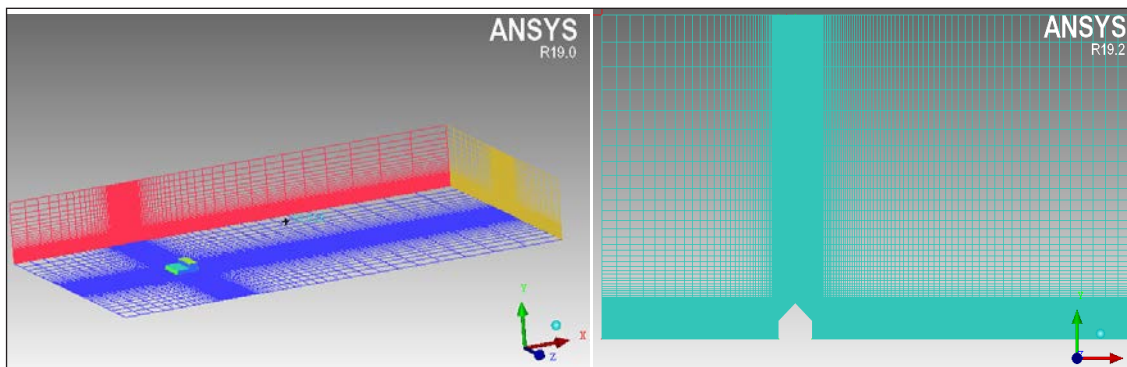


Рис. 4. Схема вычислительной области и конфигурации сетки

Размерность вычислительной области равняется $X \times Y \times Z = 21L \times 10B \times 14H$ (L обозначает длину здания, а B – ширину строения), в случае первого варианта $H = 0,9$, строится структурированная сетка с минимальным размером сетки $H / 40$ и общим количеством трехмерных конечных элементов (hexa) около 2,27 миллионов для ступенчатой формы здания, и 420800 для двускатной крыши (рис. 3–4).

Как отмечалось выше, транспортная модель снегопереноса и снеготложения сформирована на основе эмпирического параметра критической скорости U_{*t} [16; 17]. Если скорость трения превышает пороговую скорость трения, ветровые частицы входят в подвижное состояние. Из-за взаимодействия между частицами и ветром поток ветра изменяется и обновляется скорость трения, что приводит к вероятности для осаждения или переноса частиц [18; 19; 20].

Критическая скорость U_{*t} зависит от размера, формы и плотности частиц $[a, e]$ и выражается следующим образом:

$$U_{*t} = A_{t,e} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d_s}, \quad (13)$$

где $A_{t,e}$ – безразмерный параметр; ρ_s – плотность частиц снега; ρ – плотность воздуха; d_s – диаметр частиц снега; g – гравитационная постоянная. При свежем снеге $U_{*t} < 0,25 \text{ м / с}$, а старом или уплотненном снеге $0,25 \text{ м / с} < U_{*t} < 1 \text{ м / с}$.

Когда частицы снега начинают двигаться (сольтировать), длина шероховатости в зависимости от скорости трения может быть выражена как:

$$z_0 = 0,12u_*^2 / 2g. \quad (14)$$

Высота сальтации пропорциональна скорости подъема частиц и оценивается следующим выражением:

$$h_{sal} = 1,6u_*^2 / 2g. \quad (15)$$

Средняя скорость сальтации снега пропорциональна критической скорости трения, где $c = 2,3 - 2,8$, и представляется ниже в форме:

$$u_p = cu_{*t}. \quad (16)$$

Взаимосвязь между скоростью снегопада w_f и скоростью трения u обычно используется в качестве меры для различения режимов переноса снежных частиц, w_f играет большую роль в области взвешенного состояния. Если игнорировать вязкие и турбулентные напряжения, можно ее описать по закону Стокса:

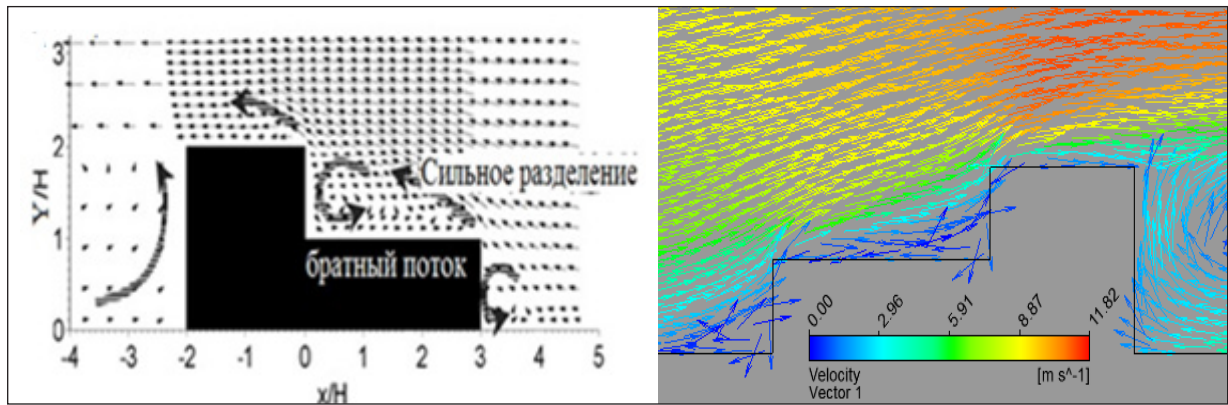


Рис. 5. Распределение скорости вокруг зданий: слева – эксперимент; справа – CFD

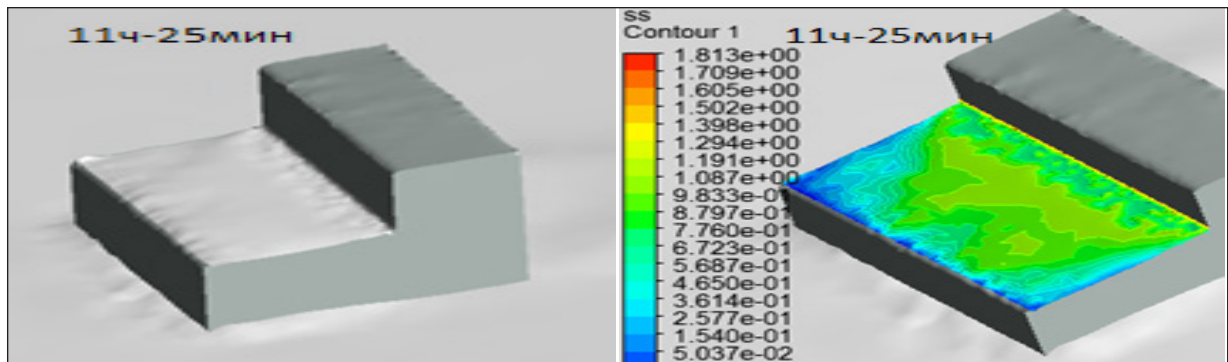


Рис. 6. Распределение снега на ступенчатой форме здания

$$w_f = \frac{(\rho_p - \rho) g d_s^2}{18\mu} \quad (17)$$

Однако скорость снегопада в реальности зависит от поля сдвига, где снежная частица, движущаяся через сдвиговое поле, может подвергаться подъемной силе, пропорциональной величине градиента скорости:

$$w_f = CD_p, \quad (18)$$

где C – пропорциональный коэффициент, зависящий от формы частиц, $C = 3880 c^{-1}$ для сферической геометрии, $C = 3880 c^{-1}$ для неопределенной формы.

Таблица 1

Физические свойства снега

Диаметр d_s (мм)	0,15
Плотность ρ_s ($кг.м^{-3}$)	150
Предельная скорость трения u_{*t} ($м.с^{-1}$)	0,2
Скорость частиц снега в снегопаде w_f ($м.с^{-1}$)	0,2
Средняя скорость сальтации u_p ($м.с^{-1}$)	0,56

На рис. 6 показано сравнение изополя скорости между численным моделированием CFD и результатами, полученными в аэродинамической трубе в работе [16]. Легко заметить, как потоки

ветра подобны, что обеспечивает точность дальнейшего моделирования CFD.

Сильное разделение потока было сгенерировано, как показано на рис. 5, образуя вихревую струю на низком покрытии как в численном моделировании, так и в эксперименте. Также наблюдается течение, протекающее против основного потока ветра вблизи поверхности покрытий.

Максимальное значение обратного потока составляло по экспериментальным данным $\bar{u} / U_0 = -0,4$ на $x / H = 0,5$, а при CFD $\bar{u} / U_0 = -0,32$.

В результате численного моделирования (рис. 6) преобразуются две основные зоны на низкой ступени покрытий. Первая глубина снега развивается во времени в диапазоне ($x = 22,5 до 24,6$), а вторая область при ($x = 24,7 до 25,1$) характеризуется обратным эффектом, где отложение частицы снега сводится к минимуму. Ниже приводятся сравнительные результаты между численными и экспериментальными результатами.

На рис. 7 показана глубина снега по центральной линии низкого покрытия, где вертикальная ось обозначает коэффициент перехода (S / S_d) и ($S_d = 0,07 м$). Как видно, кривые хорошо сходятся, однако существуют некоторые различия между данными измерений и численным моделированием.

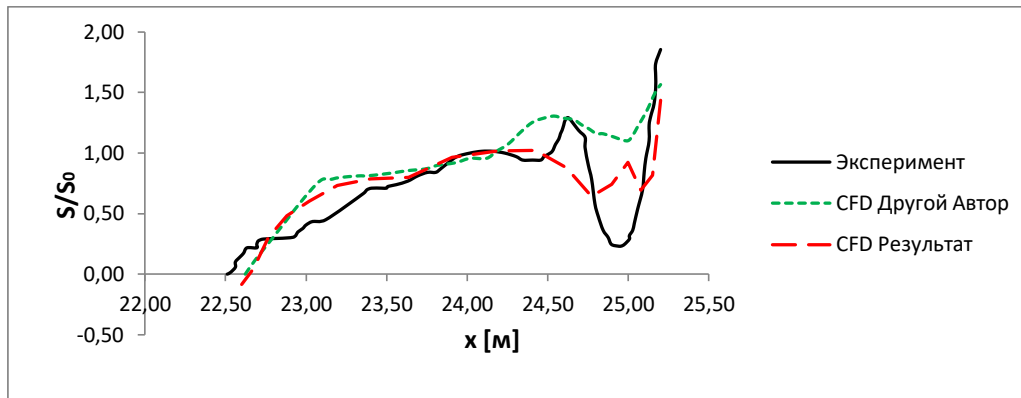


Рис. 7. Распределение коэффициента перехода по центральной линии на низком покрытии

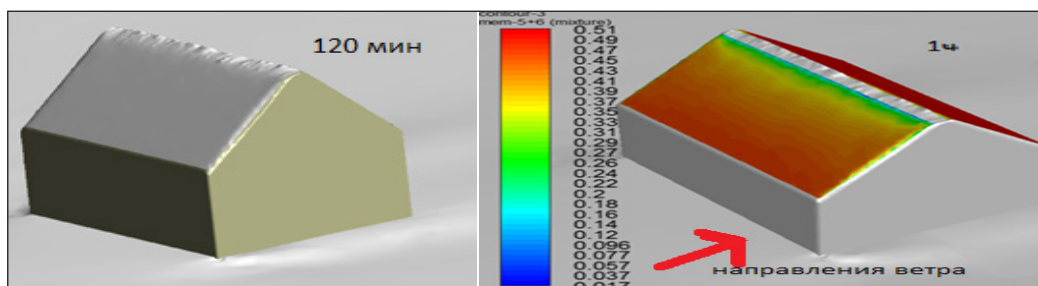


Рис. 8. Распределение снега на двухскатной крыше

Наибольшее скопление снега концентрируется около второй ступеньки ($x = 25,2$) из-за блокирующего эффекта более высокого покрытия.

Скорость ветра в этой области достаточно низкая, поэтому и значительное отложение частиц снега. Измерения в этой области равняется ($S / S_d = 1,8$), что немного больше, чем результаты моделирования.

В области $x = 24,7 - 25,1$ результаты измерения свидетельствуют о более эрозийном эффекте, чем результаты моделирования. В зоне более выраженного эрозийного эффекта по результатам моделирования наименьшие отложение равняется ($S/S_d = 1,10$ и $0,6$), тогда как данные измерений характеризуется более острым эффектом ($S/S_d = 0,24$).

Другой вариант, служивший объектом проверки модели снеготранспорта и снегоотложения, представлен на рис. 8, где показано распределение снега на двухскатной крыше в течение 120-минутного снегопада [21–22].

В результате численного моделирования, на наветренной стороне покрытий максимальная глубина снега увеличивается по мере снижения высоты, тогда как на подветренной стороне крыши толщина снега сохраняет равномерность по всей поверхности. Также как и в случае ступенчатого покрытия, проведем ниже сравнение между экс-

периментом и CFD. Видно как на рис. 9 наблюдается идеальное сходство по закону распределения снега по покрытию, однако степень точности чуть занижена за счет выбранных моделей турбулентности. Но в целом картинка распределения коэффициента перехода $\mu = S / S_d$ между численным и физическим экспериментами удовлетворительны.

Результаты по моделированию снеговых отложений на гипаре. Выполнена оценка характера распределения и величины снеговых отложений на гиперболическом параболоиде. Исследован ряд изменений в форме покрытий, как показано на рисунках ниже (рис. 10–11).

Оценка объемов выноса и отложения снеговых масс на кровле проведена при следующих исходных условиях:

- тип местности IV (по классификации ДБН В.1.2-2:2006);
- вес снегового покрова для II-го снегового района принят $Sg=1$ кПа;
- интенсивность переноса снега и объем переносимого снега за время действия метели оценивается по формулам (8–11).
- профили распределения скорости ветра и турбулентности по высоте от входа вычислительной области принимаются по следующей формуле:
нормальный профиль скорости ветра:

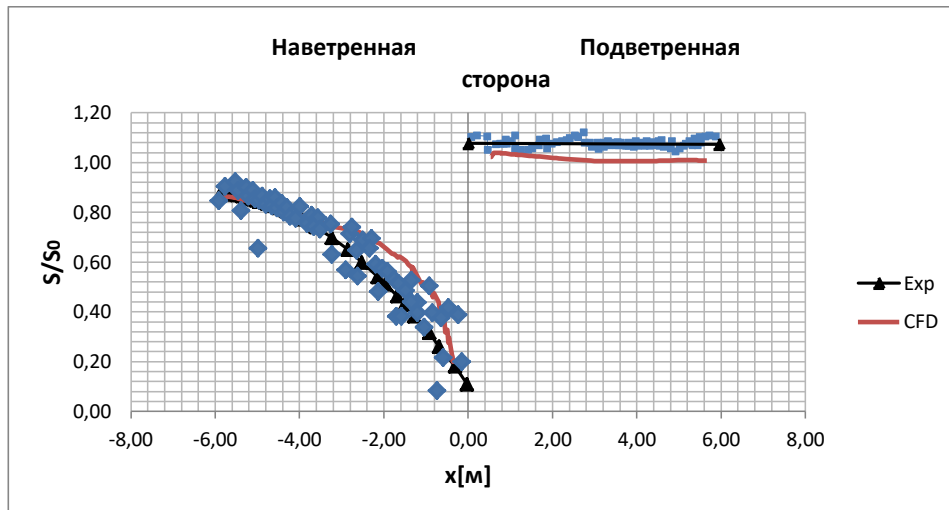


Рис. 9. Распределение коэффициента перехода по центральной линии на двухскатной крыше

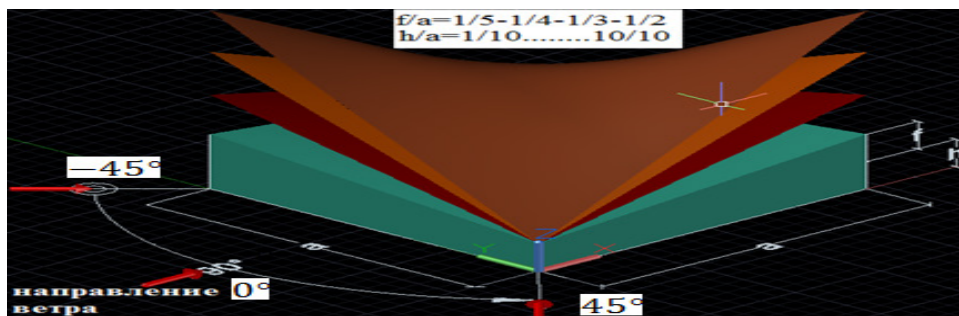


Рис. 10. Параметризация модели гипара

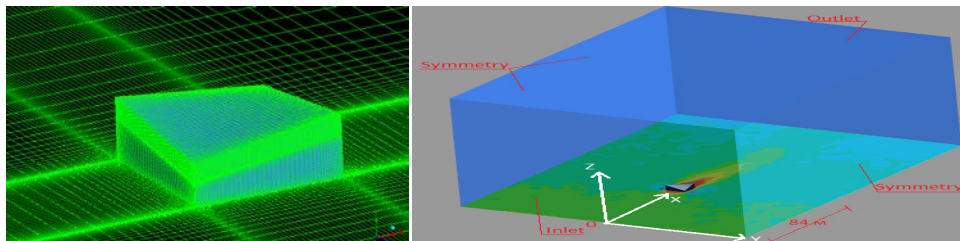


Рис. 11 Конфигурации сетки вокруг гипара с количеством конечных ячеек: 3,41 миллиона и область вычисления

$$U(z) = U_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha; \quad (19)$$

где z – высота от земли; U_{ref} – скорость ветра на высоте z_{ref} ; z_{ref} – базовая высота; α – безразмерный показатель степенного закона изменения скорости с высотой;

– нормальный профиль турбулентной кинетической энергии:

$$k(z) = \sqrt{C_1 \ln(z + z_0) + C_2}, \quad (20)$$

где C_1, C_2 – константы определяются испытанием в аэродинамической трубе

$C_1 = -0,064$ и $C_2 = 0,588$; z_0 – аэродинамическая высота шероховатости;

– нормальный профиль диссипации и скорости диссипации турбулентной энергии:

$$\varepsilon(z) = C_\mu^{1/2} k(z) \frac{\partial U}{\partial z}; \quad \text{и} \quad \dot{E} = \frac{\mu(z)}{C_{1/2} k(z)}; \quad (21)$$

где C_μ – констант равняется 0,09;

– поскольку гипар симметричен относительно оси, проходящей через низкие или высокие опоры, исходя от результатов полученных нами при испытание гипара в аэродинамической трубе, оценка выполнена для трех направлений ветра 0°; 45°; -45°;

– скорость потока ветра U_{ref} применяется от 3 до 6 м/с.

Результаты исследования и анализ при направлении ветра 0. Результаты по моделированию снеговой нагрузки на гиперболических покрытиях представлены ниже. Сначала пред-

ставлен процесс формирования снегового покрова на покрытии с геометрической конфигурацией

$$h/a = \left\{ \frac{2}{10}; \frac{4}{10}; \frac{9}{10} \right\} \text{ и } f/a = \left\{ \frac{1}{5}; \frac{1}{3}; \frac{1}{2} \right\}, \text{ при } \alpha = 0^\circ.$$

Процесс распределения снега на крыше во времени при скорости ветра 3 м/с и направлении ветра 0 γ показан на рис. 12, где наблюдается начальный накапливаемый снег в течение 50 мин. и распределяется равномерно вблизи бортового элемента, расположенного в зоне наветренного фасада здания, по мере удаления от элемента глубина снегового покрова затухает до нуля из-за сдувания снега.

На следующем этапе (через два часа снегопада) набирается снеговой покров в форме треуголь-

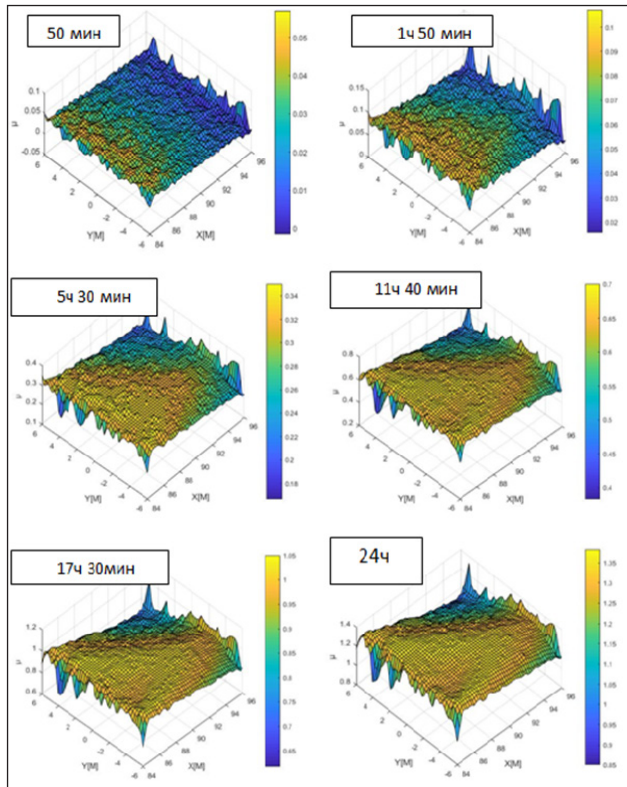


Рис. 12. Процесс распределения коэффициента перехода μ на гипар с конфигурацией $h/a = \frac{2}{10}; 8f/a = \frac{1}{5}$ при $\pm = 0^\circ$ и скорости потока $V = 3$ м/с

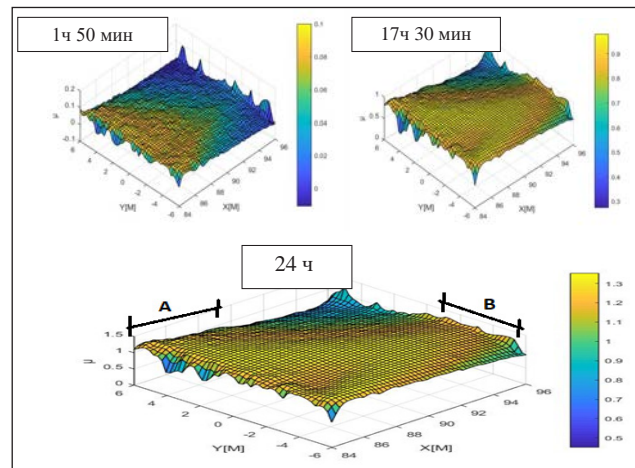


Рис. 13. Процесс распределения коэффициента перехода μ на гипар с конфигурацией $h/a = \frac{2}{10}; 8f/a = \frac{1}{5}$ при $\pm = 0^\circ$ и скорости потока $V = 6$ м/с

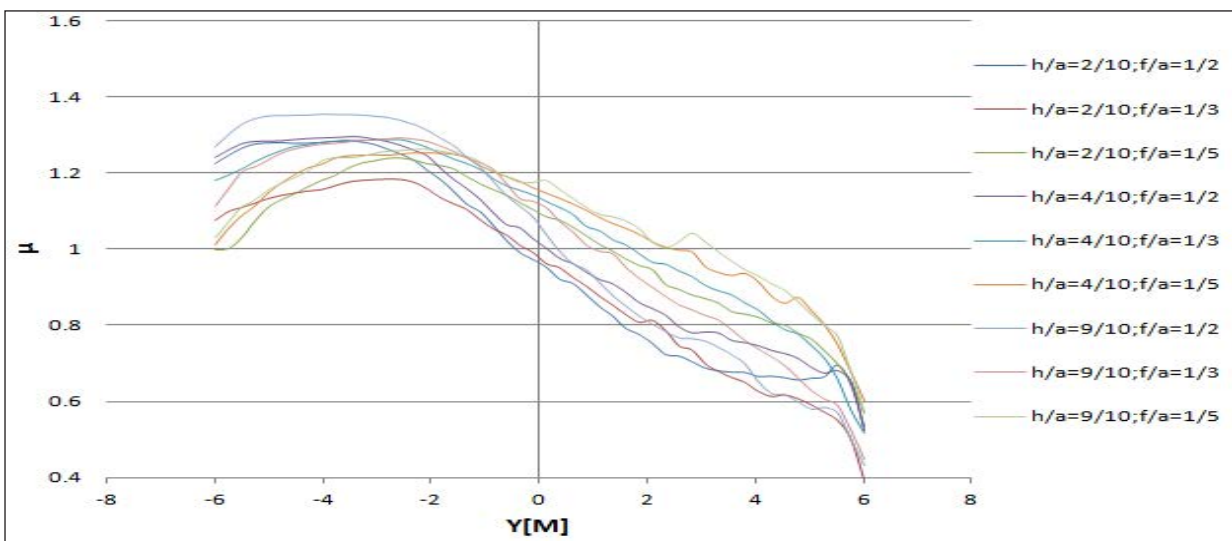


Рис. 14. Распределение коэффициента перехода μ на модель гипара по линии $x=94,7$ при $h/a = \left\{ \frac{2}{10}; \frac{4}{10}; \frac{9}{10} \right\}$ и $8f/a = \left\{ \frac{1}{5}; \frac{1}{3}; \frac{1}{2} \right\}$, $V = 6$ м/с и направлении ветра 0 γ .

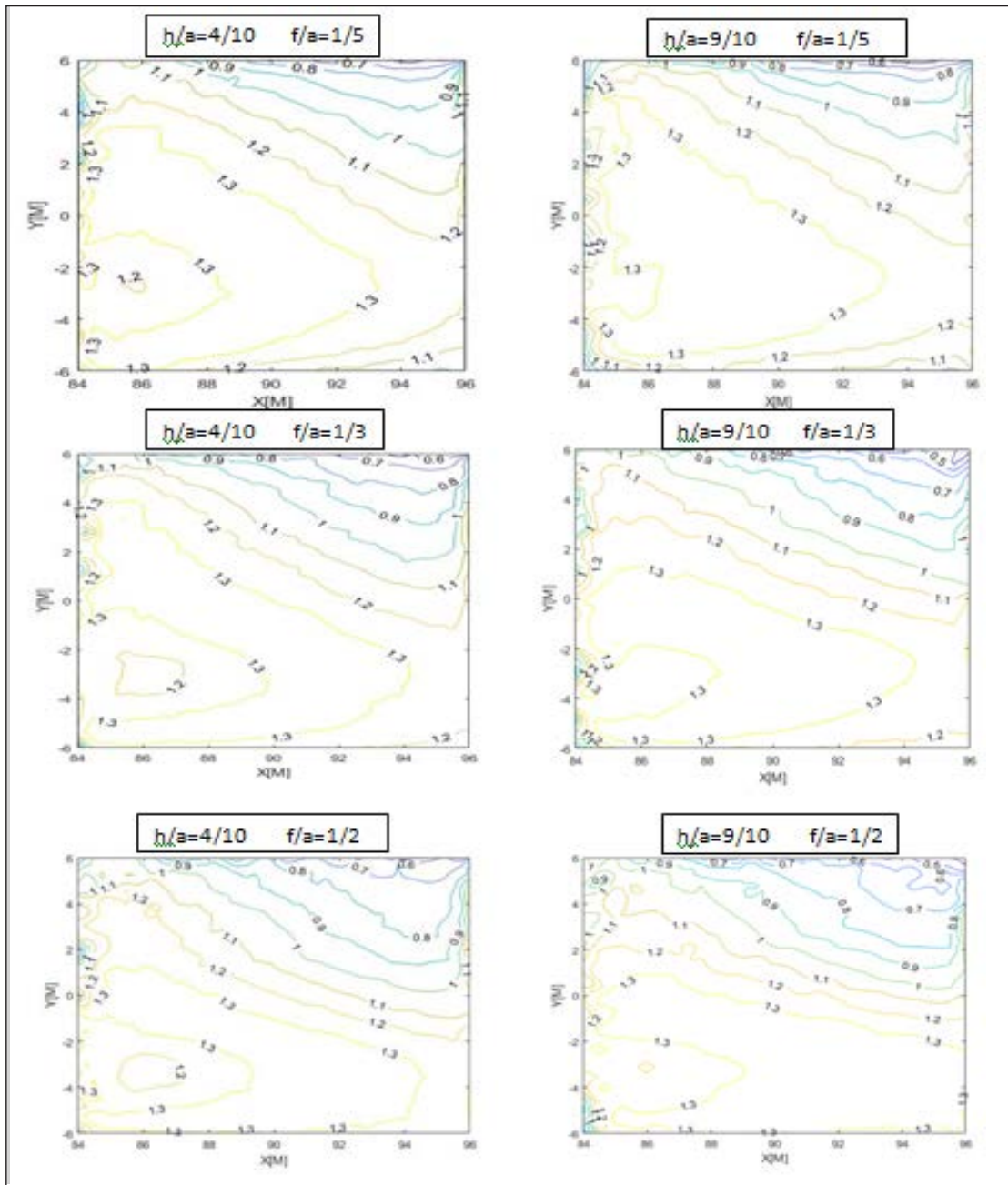


Рис. 15. Распределение коэффициента перехода μ на модель гипара

ника, где одна из его сторон занимает зону переднего бортового элемента и противоположенный угол, расположенный в центре оболочки. Через 6 ч видно, как снег концентрируется в подветренной области. Через 12 ч уже сформировалась конечная стабильная форма снегового покрова, в дальнейшем форма распределения сохраняется, тогда как значение глубины продолжает изменяться во времени, в итоге отмечается перенос снега с наветренной стороны в зону задней высокой опоры и также небольшой снос по периметру крыши. На участке покрытия, примыкающего к

передней высокой опоре на подветренной стороне крыши, именно в центре четверти оболочки наблюдается незначительный снос снега.

Снег образует вал на подветренной стороне покрытия вокруг передней высокой опоры, как и в передней части наветренной стороны крыши, но менее интенсивно. На наветренной стороне покрытия наблюдается хороший вынос снега, особенно в задней зоне высокой опоры. Конечная форма отложений снега на покрытии показана на рис. 12 после 24 ч. Снег распределен стремительно симметрично относительно нисходящей

главной диагонали, с изменением в степени асимметрии в зависимости от геометрических параметров, скорости и угла направления ветра, что нельзя говорить о симметрии относительно восходящей главной диагонали.

При скорости ветра 6 м/с результаты моделирования схожи с результатами при 3 м/с, однако интенсивность снега на покрытии при 6 м/с меньше, чем в первом случае. При дальнейшем увеличении скорости потока картина распределения снега меняется незначительно. Конечная форма отложений снега на покрытии при $\alpha = 0^\circ$ и $v=6$ м/с показана на рис. 13.

Наблюдается идентичный характер распределения в течение времени, и на наветренной стороне сохраняется слой снега незначительной мощности. Повышенные отложения снега наблюдаются на подветренной стороне покрытия. Также наблюдается частичный вынос снега в центре зоны высокой опоры наветренной стороны покрытия и увеличение интенсивности отложений вокруг нее.

В случае $f/a = \frac{1}{5}$ видно небольшой снос по периметру крыши в зоне задней низкой опоры, что не отмечается в других вариантах из-за высоты подъема оболочки. Общий суммарный вес снега на покрытии меняется определенным образом: чем больше подъем покрытия, тем меньше суммарный вес снега. Другие параметры, проявляющие себя, представляют собою ширину распределения снега на подветренной стороне покрытия в зоне низких опор (см. рис. 13, 24 ч). Можно сказать, что параметры А и В уменьшаются с увеличением подъема оболочки.

Относительно выпуклой зоны, находящейся в центре четверти оболочки, ближе к передней высокой опоре, наблюдается увеличение выноса снега по мере увеличения в подъеме оболочки. Наряду с этим и площадь наветренной стороны увеличивается.

В итоге, чем больше подъем гипара, тем значительнее неравномерность снеговой нагрузки на покрытие. Аналогичная тенденция имеет место и для всех остальных форм изменений.

По линии $x=94,7$ явно различается верхняя зона наветренной стороны (рис. 14), где наблюдаются высокие сносы снега $\mu=0,4$, и максимальные снеговые отложения формируются на подветренной стороне покрытия в нижней зоне $\mu=1,375$.

Значительного сноса или переноса снега не наблюдается во всех результатах численного исследования, сосредотачиваются в зоне высоких опор. Нужно отметить, что часть снега с наветренной стороны покрытия переносится на подветренную сторону или выносятся с покрытия. На рис. 15 видно, как на всех картинках снег распределен стремительно симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через главную нисходящую диагональ. Можно выделить области с разным по величине уровнем снегового покрова.

На наветренной стороне крыши также наблюдается частичный снос снеговых масс с сохранением снегового покрова. На подветренной стороне крыши распределены снеговые массы. При этом наблюдаются повышенные снеговые отложения вокруг центр четверти оболочки, расположенной в зоне передней высокой опоры. Снос снега начинается с центральной зоны покрытия и направляется параллельно нисходящим парабол в стороны наветренной высокой опоры, насколько отдаленнее от центра оболочки тем, настолько выше степень сноса снега.

Выводы. Таким образом, на основании изложенного выше можем резюмировать следующее:

- в результате численного моделирования тестовых задач сходимость обоих вариантов между экспериментом и CFD достигала высокой точности, что свидетельствует о достоверности применяемой модели и методики симулирования;
- схемы распределения снеговой нагрузки на покрытиях гипара, полученные в результате численного моделирования, в любом случае нуждаются в экспериментальных данных для окончательной проверки и подтверждения;
- в качестве критерия, показывающего асимметрию распределения снеговых масс на симметричных покрытиях, применен коэффициент асимметрии распределения снеговых масс.

Список литературы:

1. Bosse T. Numerical simulation of disperse two-phase flows. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zürich, 2005.
2. Gauer P. Blowing and drifting snow in alpine terrain: a physically-based numerical model and related field measurements. PhD thesis, Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research, Davos, 1999.
3. Naaim M., Naaim-Bouvet F., Martinez H. (1998). "Numerical simulation of drifting snow: erosion and deposition models", *Annals of Glaciology* 26, 191–196.
4. Thiis T.K. Large scale studies of development of snowdrifts around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91 (6) (2003), 829–839.

5. Thiis T.K., Ramberg J.F. (2008). "Measurements and Numerical Simulation of Development of Snow Drifts on Curved Roofs", Snow Engineering IV, Whistler, BC, Canada, ECI.
6. Thiis T.K., Potac J., Ramberg J.F. (2009). "3D numerical simulations and full scale measurements of snow depositions on a curved roof", EACWE 5, Florence, Italy.
7. Thiis T.K., Potac J., 2011. Numerical simulation of snow drift development on a gabled roof, in: Proceedings of the 7th European and African Conference on Wind Engineering.
8. Bang B., Nielsen A., Sundsbø, P.A., Wilk, T. (1994), "Computer simulation of wind speed, wind pressure and snow accumulation around buildings (SNOW-SIM)", Energy and Buildings 21, 235–243.
9. Beyers J.H.M., Sundsbø, P.A. and Harms T.M., 2004. Numerical simulation of three-dimensional, transient snow drifting around a cube. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 92(9): 725–747.
10. Tominaga Y. and Mochida A., 1999. CFD prediction of flow field and snowdrift around a building complex in a snowy region. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 81(1–3): 273–282.
11. Sun X., Hon C., Wu Y., 2014. Numerical simulation of snow drifting around building model. Engineering Mechanics, 31(4): 141–146 (in Chinese).
12. Zhou X., Kang L., Gu M., Qiu L. and Hu J., 2016. Numerical simulation and wind tunnel test for redistribution of snow on a flat roof. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 153: 92–105.
13. Tominaga Y., Okaze T. and Mochida A., 2011. CFD modeling of snowdrift around a building: An overview of models and evaluation of a new approach. Building and Environment, 46(4): 899–910.
14. Pomeroy J.W., 1990. Saltation of Snow. Water Resource Research, 26(7): 1583–1594.
15. Pomeroy J.W., 1992. Steady-state suspension of snow. Journal of Hydrology, 136: 275–301.
16. Tsuchiya M., Tomabechi T., Hongo T. and Ueda H., 2002. Wind effects on snowdrift on stepped flat roofs. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90(12–15): 1881–1892.
17. Bagnold R.A., 1941. The physics of blown sand and desert dunes. London: Methuen.
18. Alhajraf S., 2004. Computational fluid dynamic modeling of drifting particles at porous fence. Environmental Modeling and Software, Volume 19, pp. 163–170.
19. Beyers M. & Waechter B., 2008. Modeling transient snowdrift development around complex three-dimensional structures. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 96, pp. 1603–1615.
20. Naaim-Bouvet F. & Mullenbach P., 1998. Field experiments on "living" snow fences. Annals of Glaciology, Volume 26, pp. 217–220.
21. Keqin Y., Xuanyi Z., Ming G., Kasperski M. Wind-drifted snow load simulation on gable roof. The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2010) Chapel Hill, North Carolina, USA May 23-27, 2010.
22. Schmidt R., 1980. Threshold wind-speeds and elastic impact in snow transport. Hlaciology, Volume 26, pp. 453–467.
23. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів, навантаження і впливи, норми проектування, дбн в.1.2-2:2006.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СНІГОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОКРИТТЯХ УНІКАЛЬНИХ І СУЧАСНИХ АРХІТЕКТУРНИХ ФОРМ

У статті об'єктом і предметом уваги є достовірність і прийнятність використання чисельного моделювання процесів снігопереносу і сніговідкладень з метою визначення снігових навантажень на покриттях унікальних і сучасних архітектурних форм в умовах відсутності нормативно-методичної документації та науково-технічного супроводу. Подається короткий аналіз сучасного стану цього питання, а також наводяться перевірені розрахунки, результати моделювання та їх порівняння з раніше отриманими чисельно й експериментально результатами інших авторів. Досліджується розподіл снігу на оболонки типу гіперболічного параболоїда. Моделювання проводиться в програмному комплексі ANSYS Fluent.

Ключові слова: снігове навантаження, натурні експерименти, сніговідкладення і снігоперенос, гіперболічний параболоїд, ANSYS Fluent.

NUMERICAL SIMULATIONS OF SNOW LOADS ON A CURVED ROOF AND MODERN ARCHITECTURAL SHAPES

This article is an subject of attention, on the part of the reliability and applicability of numerical simulation of snowdrift and snow deposition, in order to determine the snow loads, on the surfaces unique and modern architectural forms unique and modern architectural forms in the absence of regulatory and methodological documentation and scientific and technical support. The article provides a brief analysis of the current state of this issue, and also provides the verification of calculations, simulation results and their comparability with the wound results obtained numerically and experimentally by other authors. After that, the distribution of snow on shells of the hyperbolic paraboloid type is investigated. Simulations are carried out in the ANSYS Fluent software package.

Key words: snow load, Full-scale experiments, snowdrift and snow deposition, the hyperbolic paraboloid, ANSYS Fluent software, two phase, CFD.

УДК 624.014

Чичулін В.П.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Чичуліна К.В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

У статті представлено загальний алгоритм розрахунку сталевих резервуарів для зберігання вуглеводнів. Наведені класифікації резервуарів і виявлені вимоги щодо зберігання газу і нафтопродуктів. У роботі проаналізовані основні види й особливості резервуарів. Розглянуті характеристики умов роботи елементів резервуара. Приведені фізичні властивості складників ємностей, що розглядаються.

Ключові слова: сталеві резервуари, вуглеводні, проектування, зберігання.

Постановка проблеми. В умовах перманентного розвитку будівельного ринку в Україні зростають і вимоги до будівельних конструкцій і споруд. Особливий інтерес для наукової спільноти та широкого загалу користувачів становлять резервуари для зберігання вуглеводнів. Необхідно відзначити, що під час зберігання вуглеводневої сировини виникають певні складнощі за рахунок якостей таких речовин. Вони вважаються вогнетривими, вибухонебезпечними, високочутливими, відсутні можливості зміни характеристик вуглеводневої сировини. У виборі головних критеріїв створення оптимальних умов зберігання нафти та газу важливим фактором є проектування резервуарів відповідно до сучасних норм і вимог. Для розгляду особливостей конструювання резервуарів велике значення мають тип розміщення і конструктивні особливості резервуарів. Важливим чинником є фізико-хімічні характеристики матеріалу резервуарів.

Класифікуючи наявні види резервуарів, можна відсортувати їх за способом розташування в просторі: вертикальні і горизонтальні, наземні і підземні; за формою: прямокутні, циліндричні та краплеподібні; за товщиною: одностінні і двостінні. Також важливим фактором є визначення ключових показників, які допоможуть вести облік продуктів. Наприклад, важлива маса нафти в резервуарі. Загалом є кілька способів її визначення, але в традиційних випадках у розрахунок приймається об'єм резервуара і густина нафтопродуктів. Для подальшого розгляду факторів безпечної експлуатації резервуарів важливим пунктом є регулярне очищення та проведення моніторингу. Це дозволяє попередити можливі аварії та пожежонебезпечні ситуації, а також виявлення дефек-

тів на початковій стадії. Отже, питання проектування резервуарів для зберігання вуглеводнів і їх подальше обслуговування є сьогодні актуальними та вимагають сучасних проектних підходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1] науковцями систематизовано проблемні питання будівництва й експлуатації нафтових вертикальних сталевих резервуарів у складних інженерно-геологічних умовах. Ряд авторів у роботі [2] розглядають задачу визначення показників надійності елементів вертикального сталевих резервуарів під час експлуатації. Проведені розрахунки ймовірності безвідмовної роботи як окремих елементів, так і резервуара загалом. Розроблено відповідні математичні моделі для визначення ймовірності безвідмовної роботи резервуара в експлуатації. У [3] отримані результати, що підтверджують правомірність застосування гіпотези «слабкої ланки» для моделювання показників надійності сталевих резервуарів для тривалого зберігання нафтопродуктів. Запропоновані моделі дозволяють отримати комплексну імовірнісну оцінку технічного стану резервуарів. Параметри цих моделей можуть коригуватися за даними натурних обстежень, що підвищує точність оцінки у кожному окремому випадку. Ці моделі можуть застосовуватися як прогнозні на стадії проектування резервуарів і як моделі управління надійністю в період експлуатації цих споруд. Вони можуть служити ефективним математичним інструментом у дослідженні проблем надійності та довговічності нафтових резервуарів. У роботі [4] пропонуються метод і система оцінки зміни НДС стінки резервуарів вертикальних сталевих (далі – РВС) за даними про переміщення точок її поверхні без визначення сил і навантажень, що

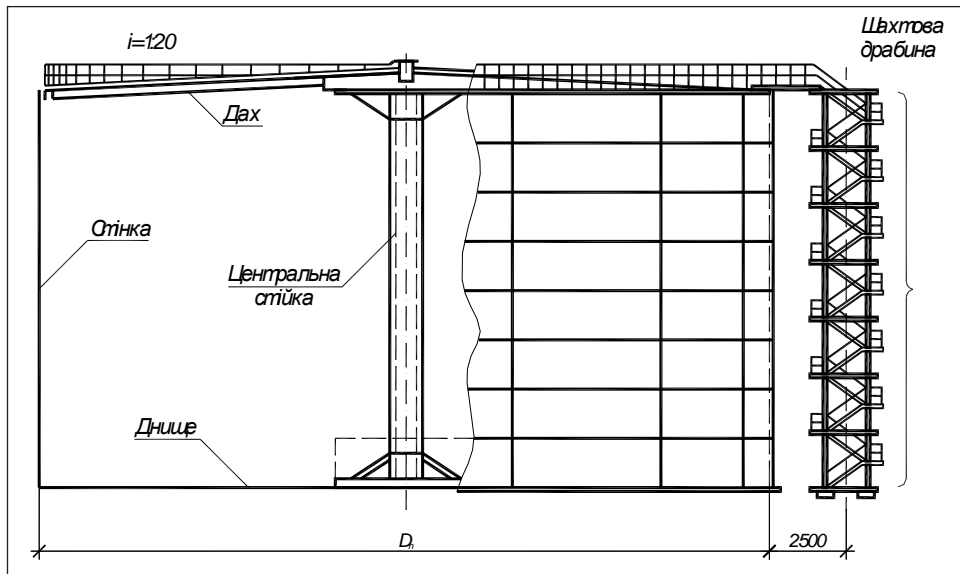


Рис. 1. Фасад і розріз вертикального циліндричного резервуара

діють на резервуар, із використанням згладжувачих сплайнів для відтворення стінки РВС за координатами окремих точок. Останнє дає змогу зменшити вплив похибки вимірювання з урахуванням просторового переміщення стінки, дефектів форми стінки та впливу зварних з'єднань РВС. Загалом у ряді нормативних документів [5–9] представлені основи розрахунку сталевих резервуарів і ємностей для зберігання нафти та газу. Але існує необхідність наукового обґрунтування поетапного розрахунку такого типу споруд.

Постановка завдання. З огляду на проведений аналіз досвіду проектування резервуарів для зберігання вуглеводнів було сформовано мету і задачі дослідження. Вони полягають у представленні науково-обґрунтованого алгоритму розрахунку резервуарів для зберігання нафти та газу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Резервуарами називаються посудини, призначені для приймання, зберігання, технологічної обробки і відпуску різних рідин, нафти, нафтопродуктів, зріджених газів, води, водного аміаку, технічного спирту тощо. Вертикальні циліндричні резервуари (рис. 1) використовуються за надлишкового тиску у пароповітряній зоні до 2 кПа і вакуумі до 0,25 кПа. Ці резервуари мають плоскі днища, виготовлені зі сталевих листів товщиною 4–6 мм, і стінки у вигляді ряду поясів, товщина яких збільшується пропорційно росту тиску рідини в міру наближення до днища.

Основними елементами такого резервуара виступає стінка (корпус), днище та покрівля (покриття), виконані з листової сталі. Експлуата-

ційне обладнання резервуара складається з арматури (пристроїв для наливу, заміру та випуску рідини, запобіжних клапанів) і пристроїв для чищення й огляду (сходів, світлового та замірного люків, лазів).

Призначення розмірів резервуара. Оптимальна висота корпусу резервуара визначається за формулою (1):

$$H_{opt} = \sqrt{\Delta \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c / (\gamma_{f,\ell} \cdot \gamma_g)} \quad (1),$$

де $\Delta = 0.9$ см – сума приведених товщин днища та покрівлі (табл. 1);

$R_{wy} = R_y = 24$ кН/см² – розрахунковий опір зварного шва (табл. Г.2 [6]), з урахуванням того, що зварні з'єднання виконуються з фізичним контролем якості шва;

γ_g – питома вага палива, визначається за табл. 2;

$\gamma_{f,\ell} = 1.1$ – коефіцієнт надійності за навантаженням від гідростатичного тиску рідини;

γ_c – коефіцієнт умов роботи (табл. 5.1. [6])

Таблиця 1

Приведені товщини для резервуарів

V , тис. м ³	1	2	3	4	8	12	16	20
Δ , см	0,8	0,9	1,05	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8

Ця висота повинна бути кратною ширині стандартного листа з урахуванням острожки кромки. Потрібна довжина розгортки:

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{V}{\pi H_0}} \quad (2),$$

де H_0 – висота залива резервуара продуктом.

За компоновання стінки резервуара радіус облонок корпусу складає:

Таблиця 2

Щільність і питома вага рідин, що зберігаються у резервуарах

Назва рідини	Щільність, кг/м^3	Питома вага, кН/см^3
Ацетон	800	$7,85 \times 10^{-6}$
Бензин (легкий)	700	$6,87 \times 10^{-6}$
Бензол	880	$8,63 \times 10^{-6}$
Гліцерин	1 260	$1,24 \times 10^{-5}$
Дизельне паливо	1 000	$9,81 \times 10^{-6}$
Керосин	800	$7,85 \times 10^{-6}$
Спирт (ректифікат)	830	$8,14 \times 10^{-6}$
Етиловий спирт	790	$7,75 \times 10^{-6}$
Ефір	720	$7,06 \times 10^{-6}$
Мазут	960	$9,4 \times 10^{-6}$

$$r = (L - n_{\text{рул}} \cdot \delta) / (2\pi) \quad (3),$$

де $n_{\text{рул}}$ – кількість рулонів стінки резервуара; δ – сумарна довжина накладання в одному монтажному стику (приймається в межах 140÷200 мм);

$$L = -2\pi \sqrt{\frac{V}{\pi H_0}} - \text{довжина стінки резервуара.}$$

Фактичний об'єм резервуара:

$$V_{\text{факт}} = \pi r^2 H_1 \quad (4)$$

Розходження із заданим об'ємом складає $(V_{\text{факт}} / V - 1) \cdot 100\% = (4550 / 4500 - 1) \cdot 100\% = 1.11\%$.

Детально представимо розрахунок стінки резервуарів. Розрахунок виконується на основі формул (5), (6):

$$t_w = \frac{N_{r,1} \gamma_n}{\gamma_c R_{\text{вы}}} + c_1 + c_2 = \frac{[\gamma_g \gamma_{f,c} h_p + p_0 \gamma_{f,p}] \cdot r}{\gamma_c R_{\text{вы}}} \gamma_n + c_1 + c_2 \quad (5),$$

де t_w – товщина стінки на рівні x ;

$N_{r,1}$ – внутрішнє зусилля на пояс (за розрахунку міцності);

γ_c – коефіцієнт умов роботи за табл. 3;

$h_p = h - h_c \cdot (n_i - 1) - x_c$ – висота розрахункового рівня;

h – відстань до розрахункового рівня рідини;

h_c – конструктивна висота поясу (1 490, 1 790, 1 990 мм);

n_i – порядковий номер поясу за рахування знизу;

p_0 – характеристичне значення надлишкового тиску у пароповітряному середовищі;

$r = R_2$ – радіус резервуара;

$\gamma_{f,c} = 1.1$ та $\gamma_{f,p} = 1.2$ – відповідно коефіцієнти надійності за навантаженням для гідростатичного тиску та надлишкового тиску пароповітряної суміші:

$$y = \frac{N_{r,2}}{Et_w} r = \frac{[\gamma_g (h \cdot h_c \cdot (n_i - 1) \cdot x_c) + p_0] \cdot r}{Et_w} r \quad (6),$$

Таблиця 3

Коефіцієнти умов роботи для розрахунку елементів вертикальних циліндричних резервуарів

Вид і місце розрахунку	Коефіцієнт умов роботи γ_c
Стінки за розрахунку на міцність:	
нижній пояс	0,6
інші пояси	0,7
Спряження стінки із днищем	1,2
Стінки резервуарів за розрахунку на стійкість	1,0
Сферичні та конічні покриття розпірної конструкції за розрахунку за безмоментною теорією	0,9

де $E = 2.06 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2$ – модуль пружності сталі;

$N_{r,2}$ – внутрішнє зусилля на пояс (за розрахунку жорсткості);

t_w – товщина стінки у місці перевірки жорсткості.

Враховується, що стінка буде складатися з n поясів (змінна $n_i \in [1 \div 8]$). Усі пояси набираються з листів 6000×1500 мм. Під час обробки кромки листів (острожка на кромкостругальних станках) на кожній кромці листа прибирається по 5 мм. Додаток на корозію приймається $c_1 = 1.0$ мм, мінусові допуски на прокат приймаються за таблицею 4. Крім того, товщина поясу не повинна бути меншою за 5 мм. Максимальний рівень заповнення резервуара h приймаємо рівним його конструктивній висоті H .

Таблиця 4

Мінусові допуски на товщину сталевих листів згідно з ГОСТ 14637 Г.5 [6]

Товщина листа, мм	Ширина листа, мм		
	1000÷1500	1500÷2000	2000÷2300
від 3,9 до 5,5	-0.50	-0.50	-0.50
від 5,5 до 7,5	-0.60	-0.60	-0.60
від 7,5 до 25,0	-0.80	-0.80	-0.80
від 25,0 до 30,0	-0.90	-0.90	-0.90
від 30,0 до 34,0	-1.0	-1.0	-1.0

Для першого (нижнього) поясу товщина стінки буде визначатися таким чином. Висота розрахункового рівня становить:

$$h_p = h - h_c (n_i - 1) - x_c \quad (7)$$

Внутрішнє зусилля на пояс (за розрахунку міцності):

$$N_{r,1} = [\gamma_r \gamma_{f,l} h_p + p_o \gamma_{f,p}] \cdot r. \quad (8)$$

Внутрішнє зусилля на пояс (за розрахунку жорсткості):

$$N_{r,2} = [\gamma_g h_p + p_o] \cdot r. \quad (9)$$

Розрахункова товщина стінки без урахування допусків c_1 та c_2 :

$$t_{w,p} = \frac{N_{r,1} \gamma_n}{\gamma_c R_{wy}} \quad (10),$$

де R_{wy} – розрахунковий опір зварних швів (приймається рівним розрахунковому опору за межею плинності R_y з фізичним контролем якості швів або $0.85R_y$ – без фізичного контролю якості швів);

Розрахункова товщина стінки з урахуванням допусків на корозію та мінусові допуски на прокат:

$$t_w = t_{w,p} + c_1 + c_2. \quad (11)$$

За сортаментом товстості сталі (ГОСТ 14637 Г.5 [6]) приймаємо товщину першого (нижнього) поясу t_w .

Фактичне напруження у стінці корпусу із прийнятою товщиною t_w :

$$\sigma_2 = \frac{N_{r,1}}{t_w} < \frac{R_{wy} \gamma_c}{\gamma_n}. \quad (12)$$

Прогин корпусу (радіальне зміщення) у місці розташування першого (нижнього) поясу за формулою (13):

$$y = \frac{N_{r,2}}{Et_w} r. \quad (13)$$

Розрахунок другого та наступних поясів загалом виконується відповідно до вищевказаного алгоритму, однак має дві особливості. Перша полягає у необхідності уточнювати поправку x_c за формулою (14), що впливає на визначення висоти розрахункового рівня h_p , друга – у використанні коефіцієнта умов роботи зі значенням $\gamma_c = 0.7$ (замість $\gamma_c = 0.6$).

$$x_c = 0.6 \sqrt{r \cdot t_w} \quad (14),$$

де r – радіус резервуара;

t_w – товщина поясу.

Висновки. У дослідженні було представлено загальний алгоритм розрахунку сталевих резервуарів для зберігання вуглеводнів. Наведено класифікацію сталевих резервуарів і виявлені основні вимоги до зберігання газу і нафтопродуктів. Представлена типологія та характеристика наявних резервуарів для зберігання вуглеводнів.

Список літератури:

1. Зоценко М.Л., Вінніков Ю.Л., Харченко М.О., Ларцева І.І. Особливості проектування нафтових резервуарів у складних інженерно-геологічних умовах при сейсмічних впливах. *Academic journal. Series Industrial Machine Building. Civil Engineering*. 2017. Т. 1 (48). С. 175–182.
2. Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М. Визначення терміну безпечної експлуатації стінки вертикального резервуару для збереження нафтопродуктів в експлуатації. *Збірка наукових праць*. 2014. Вип. 19. С. 38–48.
3. Семенец С.Н., Насонова С.С., Власенко Ю.Е., Кривенкова Л.Ю. Расчетные модели надежности нефтяных резервуаров. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. № 1. С. 60–67.
4. Заміховський Л.М., Паньків Х.В., Паньків Ю.В., Дорофей І.Р. Метод і система контролю зміни напружено деформованого стану стінки вертикальних сталевих циліндричних резервуарів. *Нафтогазова енергетика*. 2013. № 1. С. 99–108.
5. Технические условия ТУ У В.2.6-28.1-02070795-001-2002. Конструкции строительные стальные стальных резервуаров вертикальных цилиндрических для нефти и нефтепродуктов объемом от 100 до 50000 м³. ДонГАСА, 2005. 50 с.
6. ДБН В.2.6-163:2014. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. Київ, 2014. 196 с.
7. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Київ, 2006. 59 с.
8. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Київ, 2009. 49 с.
9. ДБН В.2.2-58,2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3. Київ, 1994. С. 95.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

В статье представлен общий алгоритм расчета стальных резервуаров для хранения углеводородов. Приведены классификации существующих резервуаров и выявлены требования по хранению газа и нефтепродуктов. В работе проанализированы основные виды и особенности резервуаров. Рассмотрены характеристики условий работы элементов резервуара. Приводятся физические свойства составляющих заполнителей ёмкостей.

Ключевые слова: стальные резервуары, углеводороды, проектирование, хранения.

DESIGN OF STEEL TANKS FOR STORAGE OF HYDROCARBONS

The article presents a general algorithm for calculating steel tanks for storing hydrocarbons. Classifications of existing tanks are given and requirements for gas and oil products storage are identified. The paper analyzes the main types and characteristics of tanks. The characteristics of the working conditions of reservoir elements are considered. The physical properties of the constituents of the considered capacities are given.

Key words: *steel tanks, hydrocarbons, designing, storage.*

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 625.72:528.4

Коваленко Л.А.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРУГЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

В статье рассмотрена последовательность выполнения геодезических измерений и расчетов основных геометрических элементов закруглений в плане с целью обоснования необходимости реконструкции автомобильной дороги. Перед непосредственным определением радиуса и длины закругления необходимо установить его геометрическую конструкцию. Геодезические методы наиболее доступны и распространены на производстве. Они обеспечивают наиболее точное определение геометрических параметров автомобильных дорог в плане и продольном профиле.

Ключевые слова: автомобильная дорога, паспортизация, реконструкция, геометрические параметры дороги, геодезические измерения, теодолит, мерная лента.

Постановка проблемы. Автомобильные дороги имеют важное экономическое и социальное значение. Однако, несмотря на строительство и реконструкцию в последние годы ряда автомагистралей, развитие сети дорог все еще отстает от потребностей, а их техническое состояние не отвечает возросшим скоростям и интенсивности движения. Поэтому протяженность дорог, требующих реконструкции, составляет значительную часть от общей протяженности дорожной сети [1; 2].

В деятельности дорожных организаций капитальный ремонт и реконструкция дорог занимают одно из главных мест. Посредством этих работ улучшаются транспортно-эксплуатационные качества дорог, увеличиваются радиусы закруглений, уменьшаются уклоны на наиболее крутых участках, устраиваются дополнительные полосы и уширения на подъемах [3].

Для рационального планирования работ по реконструкции и капитальному ремонту автомобильных дорог проводят их техническое обследование и паспортизацию, в результате чего получают данные о состоянии дорог, дорожных сооружений и их геометрические параметры. При решении вопросов реконструкции дороги наиболее важными и определяющими геометрическими параметрами являются радиусы круговых кривых на закруглениях, уклоны продольного профиля, радиусы вертикальных кривых. Эти параметры определяют при полевых измерениях [4; 5].

Анализ последних исследований и публикаций. Определение геометрических параметров

автомобильных дорог в плане и профиле при их инвентаризации и паспортизации – одна из важных производственных задач. При ее решении могут быть использованы различные методы.

Наиболее продуктивным является метод аэрофотосъемки [6], однако он далеко не всегда бывает доступен и не всегда может быть использован в любой дорожной организации для решения производственных задач. Эффективность метода зависит от длины участка дороги, подлежащего паспортизации, и поэтому применять его целесообразно при длине таких участков, по крайней мере, в несколько десятков километров. При этом масштаб аэрофотосъемки должен быть не мельче 1: 10000.

Метод наземной фотограмметрии имеет достаточную информативность, но измерительно-вычислительные работы на снимках, составляющих основное его содержание, являются трудоемкими и поэтому существенно влияют на его эффективность. В современных условиях все больше распространенными становятся методы, основанные на использовании цифровых моделей местности, использовании современных автоматизированных приборов, позволяющих выполнять компьютерную обработку геодезической информации [6]. Но эти методы пока не получили распространение при паспортизации дорог из-за отсутствия соответствующего оборудования, лабораторий и инженерных кадров в дорожных организациях.

Геодезические методы наиболее доступны и распространены на производстве [7]. Они

обеспечивают наиболее точное определение геометрических параметров автомобильных дорог в плане и продольном профиле, и при необходимости их точность может быть повышена за счет применения более точных приборов и совершенной методики измерений. Обработка результатов измерений отличается простотой и не требует какого-либо специального оборудования или специальной подготовки инженерно-технических кадров.

Постановка задания. Целью статьи является краткий обзор методов определения геометрических параметров существующих автомобильных дорог. Особое внимание уделено геодезическим методам измерения и расчета параметров закругления автомобильных дорог.

Изложение основного материала исследования. К параметрам закругления автомобильной дороги относят геометрическую конструкцию закругления, угол поворота, длины тангенсов, радиус и длину круговой кривой, длины переходных кривых, а также общую длину закругления. Перед непосредственным определением радиуса и длины закругления необходимо установить его геометрическую конструкцию, то есть выяснить, из каких кривых оно состоит, длины этих кривых, где расположены начало и конец каждой кривой [5; 8]. Однако специалисты отмечают, что в процессе съемки закруглений в плане определить наличие переходной кривой, начало и конец переходной кривой является сложной задачей, решаемой только с определенной степенью приближения [9].

Во всех случаях, когда представляется технически возможным и экономически целесообразным, радиусы кривых в плане должны быть не менее 3000 м. Если из-за условий местности невозможно выполнить это требование, то наименьшие радиусы кривых следует принимать по нормативным документам исходя из расчетной скорости движения и категории дороги. Переходные кривые рекомендуется предусматривать при радиусах кривых в плане до 2000 м. Длина переходной кривой должна составлять, как правило, не менее 1/4 длины круговой кривой.

Длину кривой закругления можно определить по формуле:

$$K = \frac{R\theta\pi}{180^\circ}, \quad (1)$$

где R – радиус круговой кривой;
 θ – угол поворота;
 π – 3,14.

Для этого необходимо восстановить на местности вершину угла поворота θ , измерить этот

угол и длину тангенса закругления T . По измеренным значениям угла поворота, биссектрисы и тангенса закругления можно установить тип существующего закругления дороги в плане и вычислить его параметры – радиус R , длину переходной кривой L , а также длину всего закругления. Для этого используют формулы расчета параметров закруглений [7; 10]. На практике геодезические измерения при использовании данного метода отличаются значительной трудоемкостью и не всегда возможны из-за условий местности.

Наиболее простой и удовлетворительный по точности метод определения радиуса горизонтальной круговой кривой заключается в следующем. Выбирают три равноудаленные точки A , B , C , тщательно размечают на кромке покрытия. Желательно, чтобы точка B была выбрана вблизи середины кривой и хорды AB , BC различались не более чем на 2–3 м. (рис. 1). Все три точки должны располагаться в пределах круговой кривой, а это значит, что перед началом измерений необходимо определить начало и конец круговой кривой закругления.

В точке B устанавливают теодолит и измеряют угол φ одним полным приемом, а хорды (b – отрезки AB , BC) – с помощью нитяного дальномера. При измерении хорд дальномером необходимо измерять также их угол наклона к горизонтальной плоскости. Если значение вертикального угла превышает 3° , измеренные значения хорд приводят к горизонтальным проекциям.

Из треугольника BOC (рис. 1) находим значение радиуса кривой в плане:

$$R = \frac{b}{2 \sin \frac{\varphi}{2}} \quad R = \frac{b}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}, \quad (2)$$

где R – радиус кривой в плане;

$$b_{cp} = \frac{AB + BC}{2} \text{ – средняя длина хорд.}$$

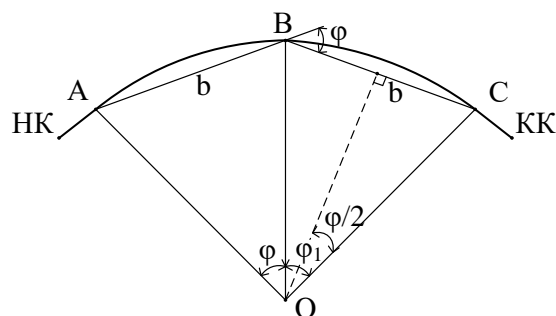


Рис. 1. Схема к определению радиуса и длины кривой

Длину кривой вычисляют по формуле:

$$K = \frac{2R\varphi}{\rho} = \frac{b_{cp}}{\rho \sin \varphi / 2}, \quad (3)$$

где K – длина кривой закругления;

$\rho = 57,3^\circ$ – значение радиана в градусах.

При установлении геометрической конструкции закругления и вычислении его параметров рекомендуется пользоваться техническими нормами, поскольку они определяют пределы возможных значений радиуса круговой кривой и длин переходных кривых в зависимости от категории дороги [2; 11]. Значительные расхождения между техническими нормами и фактическими данными для соответствующей категории дороги могут быть следствием ошибок в измерениях.

Необходимо обратить внимание на эти расхождения и проверить их.

При исследовании геометрической конструкции закругления и определении длин переходных кривых соответствующие геодезические измерения следует проводить в пределах 100–120 метров от начала и конца закругления, так как за пределами этих интервалов переходные кривые не проектируются.

Выводы. В статье проведен анализ основных методов определения геометрических параметров существующих автомобильных дорог в плане и профиле. Рассмотрена последовательность выполнения геодезических измерений и расчетов основных геометрических элементов закруглений в плане с целью обоснования необходимости реконструкции автомобильной дороги.

Список литературы:

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог: учебник для вузов. Москва: Транспорт, 1987. 368 с.
2. Проектування автомобільних доріг: підручник для вузів / О.А. Білятинський, В.Й. Заворицький, В.П. Старовойда, Я.В. Хомяк. Київ: Вища школа, 1997. 435 с.
3. Реконструкция автомобильных дорог: учебное пособие / Л.П. Васильев, Ю.Н. Яковлев, М.С. Коганзон, Л.П. Васильев, А.Я. Тулаев. Москва: МАДИ, 1998, 158 с.
4. Білятинський О.А., Кузьмін В.І. Інженерно-геодезичні роботи при будівництві автомобільних доріг: навчальний посібник. Київ: НТУ, 2001. 192 с.
5. Кузьмін В.І., Демішкан В.Ф. Інженерно-геодезичні роботи при ремонті і реконструкції автомобільних доріг: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2006. 132 с.
6. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія: підручник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 564 с.
7. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 2006, 278 с.
8. Большаков В.Д., Левчук Г.П., Новак В.Е. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. Москва: Недра, 1980. 781 с.
9. Белятинский А.А., Пеньков В.А. Исследование точности производства геодезических работ при реконструкции дорог. *Инженерная геодезия*. Киев: КАДИ, 1981. Вып. 24. С. 59–64.
10. Данилевич Б.Б., Лукьянов В.Ф., Хейфец Б.С. Практикум по инженерной геодезии: учебное пособие для вузов. Москва: Недра, 1987. 334 с.
11. Федотов Г.А. Справочник инженера-дорожника. Москва: Транспорт, 1989. 436 с.

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕТОДІВ

ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАКРУГЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

У статті розглянута послідовність виконання геодезичних вимірювань і розрахунків основних геометричних елементів закруглень у плані з метою обґрунтування необхідності реконструкції автомобільної дороги. Перед безпосереднім визначенням радіуса та довжини закруглення необхідно встановити його геометричну конструкцію. Геодезичні методи найбільш доступні й поширені на виробництві. Вони забезпечують найбільш точне визначення геометричних параметрів автомобільних доріг у плані й поздовжньому профілі.

Ключові слова: автомобільна дорога, паспортизація, реконструкція, геометричні параметри дороги, геодезичні вимірювання, теодоліт, мірна стрічка.

USE OF GEODESIC METHODS FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE ROADS OF THE AUTOMOBILE ROAD

The article examines the sequence of performing geodetic measurements and calculations of the basic geometric elements of curvatures in the plan with the aim of justifying the need for reconstruction of the road. Before the direct determination of the radius and the length of the rounding, it is necessary to establish its geometric construction. Geodetic methods are the most accessible and widely distributed in production. They provide the most accurate definition of the geometric parameters of highways in terms of and longitudinal profile.

Key words: automobile road, passportization, reconstruction, geometric parameters of the road, geodetic changes, theodolite, measuring tape.

Міхно П.Б.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

У статті аналізується процес освоєння порушених земель. Ознаки варіантності, функціональності, стадійності дають змогу розглядати його як окремий життєвий цикл. У життєвому циклі порушеної земельної ділянки виділено проектну, функціональну та відновлювальну стадії. Розроблено моделі життєвого циклу порушених земель, які відображають основні тренди в розвитку показників порушених земель за різних локальних умов. Такі моделі дають можливість оцінювати відносну ефективність використання порушених земель.

Ключові слова: порушені землі, життєвий цикл, ефективність використання.

Постановка проблеми. Освоєння порушених земель має специфічні особливості, зумовлені характером утворення, використання й обов'язковістю відновлення таких земель. Відповідний процес, залежно від дії багатьох факторів, триває від одного до десятків років і супроводжується коригуванням початкових завдань (або постановкою нових) і трансформацією земель.

Ознаки варіантності, функціональності, стадійності дають змогу розглядати технологічний процес використання порушених земель як окремий життєвий цикл, що характеризується необхідністю застосування визначених заходів землеустрою та охорони земель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наслідків експлуатації надр є актуальним завданням у сучасних умовах становлення ринкових земельних відносин в Україні. Наукові дослідження вітчизняних і зарубіжних учених щодо оцінювання стану порушених земель та ефективності рекультивациі [1, с. 63; 2, с. 12; 3, с. 295] відображають як негативні, так і позитивні наслідки порушення земель у процесі їх виробничого освоєння, відпрацювання й відновлення.

Спільною ознакою досліджень життєвих циклів різних систем і проектів [4, с. 18; 5, с. 153] є представлення життєвого циклу у вигляді сукупності послідовних фаз: формування (початкова, проектна), зростання (розроблення), стабільності (реалізації, експлуатації), завершення. Фази складаються із сукупності логічно взаємозв'язаних робіт, завершенням яких досягається певний результат виробничої діяльності [4, с. 19].

У дослідженнях щодо оцінювання нерухомості життєвий цикл зазвичай відображається кривою лінією, яка характеризує відносну ефективність експлуатації досліджуваного об'єкта на різних стадіях розвитку. Кожна порушена

земельна ділянка у своєму розвитку також проходить декілька послідовних етапів: від виникнення передумови порушення й початку гірничодобувних робіт до завершення рекультивациі й передачі відновлених земель землевласнику (землекористувачу).

Екосистемний підхід до рекультивациі [2, с. 15] передбачає отримання внаслідок відновлення земель екологічних, економічних і соціальних ефектів, які формують загальну ефективність рекультивациі, як комплексу взаємозв'язаних природоохоронних заходів.

Спроба комплексної оцінки процесу порушення земель і його змін з часом здійснена в дослідженні [6, с. 113], у якому територія порушених земель характеризується масштабом безпосередньо порушення, екологічним станом та отриманою сумарною величиною соціально-економічної ефективності використання. Аналізується загальний характер зміни цих показників протягом життєвого циклу порушених земель. Водночас розроблена діаграма відображає лише одну умовну ситуацію із загально негативними наслідками освоєння порушених земель. При цьому не показані інші можливі тренди в розвитку порушених земель.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз різних сценаріїв розвитку порушених земель як прояву нерівнозначного впливу різноманітних екологічних, соціально-економічних та інших детермінованих або непередбачуваних факторів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Специфіка порушених земель визначається особливостями їх утворення. Технологія й обсяги гірничодобувної діяльності, пов'язаної з добуванням і переміщенням на земну поверхню нафти, вугілля, руди та інших корисних копалин, визначають основні характеристики порушеної земель-

ної ділянки як об'єкта нерухомості. Утворення порушених земель неможливе без пошкодження земної поверхні й геологічної будови та заповідання невідповідного збитку попередньому цільовому призначенню, що є унікальною особливістю таких земель. Адже корисність гірничого об'єкта формується в результаті заповідання шкоди земельній ділянці сільськогосподарського призначення та збитків землевласнику, у якого вона відчужується для провадження гірничодобувної діяльності. Тобто наявність родовищ корисних копалин, розробка яких технологічно й економічно виправдана, апріорі визначає пріоритетність промислового освоєння родовищ з обов'язковим негативним наслідком у вигляді порушення земель, у надрах яких ці родовища залягають.

У життєвому циклі порушеної земельної ділянки можна виділити три основні укрупнені стадії: проектну (початкову), функціональну (формування та розвитку) і відновлювальну.

На проектній стадії формуються цілі промислового освоєння родовища корисних копалин, обґрунтовується соціально-економічна доцільність, екологічна допустимість гірничого об'єкта й потреба в земельних ресурсах, оцінюється можливий або очікуваний вплив. Складається техніко-економічне обґрунтування найкращого варіанта використання земельної ділянки, що містить у надрах корисні копалини, серед юридично дозволених, екологічно обґрунтованих, технологічно здійсненних та економічно доцільних. Вибраний варіант використання відображають у технічних умовах проектування будівництва, реконструкції або розширення гірничодобувного підприємства. Також попередньо передбачаються заходи щодо відновлення земель після завершення промислового освоєння. Розробляються проекти будівництва, реконструкції або розширення гірничодобувного підприємства, відведення, рекультивації земель.

Можливе розширення території гірничодобувного підприємства зазвичай викликане вичерпанням у певний момент експлуатаційних можливостей задовольняти потреби користувача. Для гірничодобувного підприємства характерним при цьому є зміна технологічних схем видобування та переробки корисних копалин, а також збільшення території шляхом оренди нових земельних ділянок для розміщення нових відвалів з метою підвищення економічної ефективності експлуатації родовища.

Функціональна стадія зумовлює практично повну зміну попередніх характеристик земельної

ділянки й навколишнього середовища. Відбувається відшкодування витрат та інвестицій.

З часом вичерпуються запаси корисних копалин, поліпшення перестають забезпечувати прибутки, закінчується період промислового освоєння родовища. Життєвий цикл завершується на відновлювальній стадії після впровадження заходів рекультивації, ліквідації або перепрофілювання будівель, споруд, технологічного устаткування й унесення змін у земельно-облікові документи.

На діаграмах (рис. 1–3) життєвого циклу порушених земель (кар'єрів, відвалів і хвостосховищ, утворених унаслідок розробки гірничо-збагачувальним комбінатом родовища корисних копалин відкритим способом) лініями показано можливі зміни ступеня порушення земель і зумовлені цим порушенням зміни їх екологічного стану й соціально-економічної ефективності використання відносно умовно початкових значень досліджуваних показників. Положення відповідних трендів розглянуто протягом певних проміжків часу, обмежених такими моментами, а саме:

– t_0 – розроблення містобудівної та землевпорядної документації щодо відведення земельної ділянки, розбудови промислової та інженерної інфраструктури гірничого об'єкта й майбутнього використання порушених земель (*проектна стадія*);

– t_1 – початок розробки родовища, що супроводжується порушенням земель розкривними роботами; t_2 – тимчасова зупинка добувних робіт; t_3 – початок завершальних гірничих робіт з розробки родовища; t_4 – відпрацювання порушених земель (*функціональна стадія*);

– t_5 – початок робіт із гірничотехнічної рекультивації; t_6 – початок процедури повернення технічно рекультивованих земель землевласнику; t_7 – початок біотехнологічних робіт з відновлення родючості; t_8 – завершення рекультивації (*відновлювальна стадія*).

Діаграма «нульового» варіанта (рис. 1) моделює процес приведення порушених земель після рекультивації в той стан, що передував порушенню земної поверхні й геологічної будови. На час t_0 порушення земель відсутнє; за певного якісного та екологічного стану земель спостерігається деяка соціально-економічна ефективність їх використання. Початкові значення зазначених показників умовно рівні. Після відведення земель для виробничих потреб і до початку експлуатації родовища (t_1) порушення відсутнє, екологічний стан і соціально-економічна ефективність незмінні відносно початкових значень та умовно однакові, що відображено однією спільною прямою лінією.

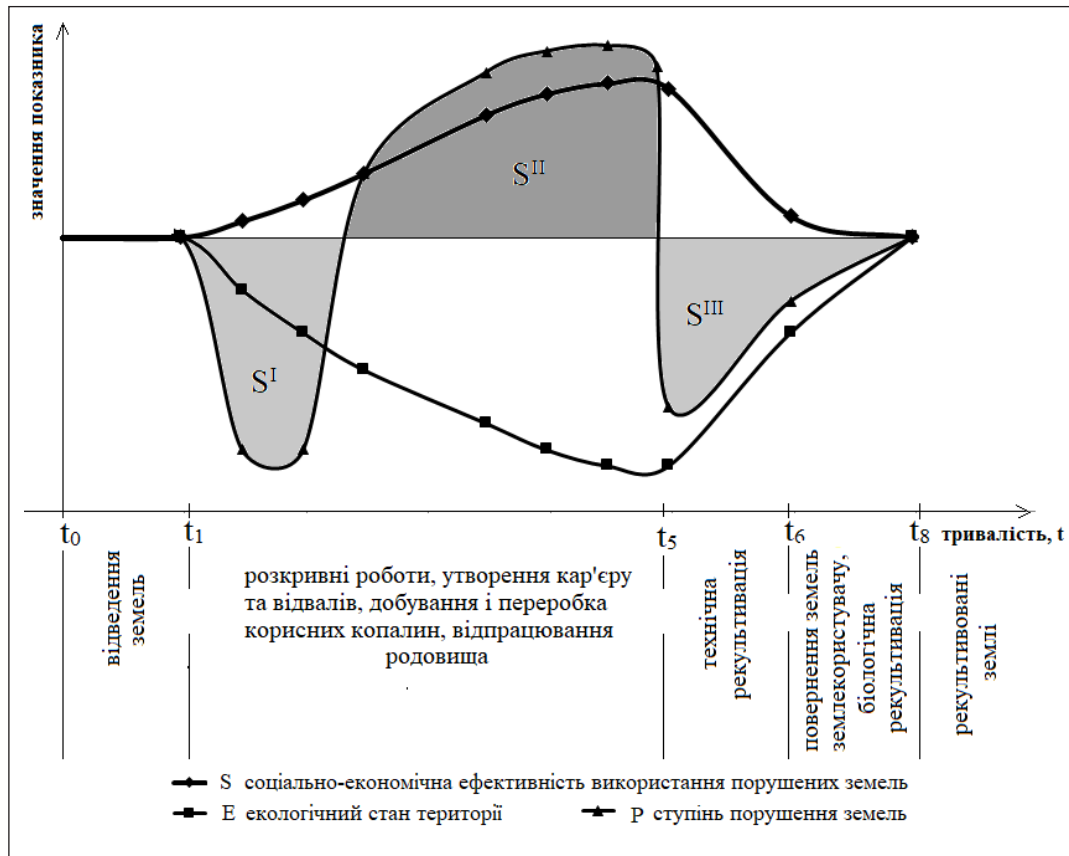


Рис. 1. Модель життєвого циклу порушених земель за «нульовим» варіантом

За проміжок часу від t_1 до t_5 відбувається розвиток виробничої діяльності, зокрема значне розширення території порушених земель, формування відвалів і вироблення корисного простору кар'єру в глибину.

Розкривні роботи характеризуються інтенсивним погіршенням екологічного стану території та практично повною втратою соціально-економічної ефективності використання, що змінюється її стрімким зростанням після початку видобування, переробки й реалізації корисної копалини. Подальша розробка родовища супроводжується прогресивним погіршенням екологічного стану території. Суттєво зростає соціально-економічна ефективність, що зумовлюється розбудовою інженерної інфраструктури, зайнятістю населення на виробництві, а також прибутком від гірничодобувної та переробної діяльності. На функціональній стадії досліджувані показники досягають своїх максимальних значень.

Після завершення промислової експлуатації кар'єру й припинення видобування корисної копалини порушені землі стають відпрацьованими та потребують рекультиватії. Зі згортанням виробничих процесів і повним завершенням

гірничодобувної діяльності спостерігається стрімке зниження соціально-економічної ефективності використання території. Завдяки гірничотехнічній рекультиватії зменшується ступінь порушення, екологічний стан території суттєво покращується за збереження майже незмінної соціально-економічної ефективності її використання. Остаточні характеристики екологічного стану й соціально-економічної ефективності використання відновлених земель установлюються після біологічної рекультиватії, яка завершується в момент t_8 .

Інтегральним відображенням зміни соціально-економічної ефективності використання порушених земель є позначені на рис. 1–3 ділянки S^{II} (позитивні соціально-економічні наслідки від розробки родовища корисних копалин гірничодобувним підприємством), S^I і S^{III} (негативні соціально-економічні наслідки порушення земель).

Аналіз життєвого циклу порушених земель великих гірничодобувних підприємств за варіантом на рис. 1 ($S^{II} = S^I + S^{III}$) свідчить про те, що повністю відновити порушені землі до їх допорушеного стану майже неможливо через глибинні геологічні та гідрологічні зміни самих земель,

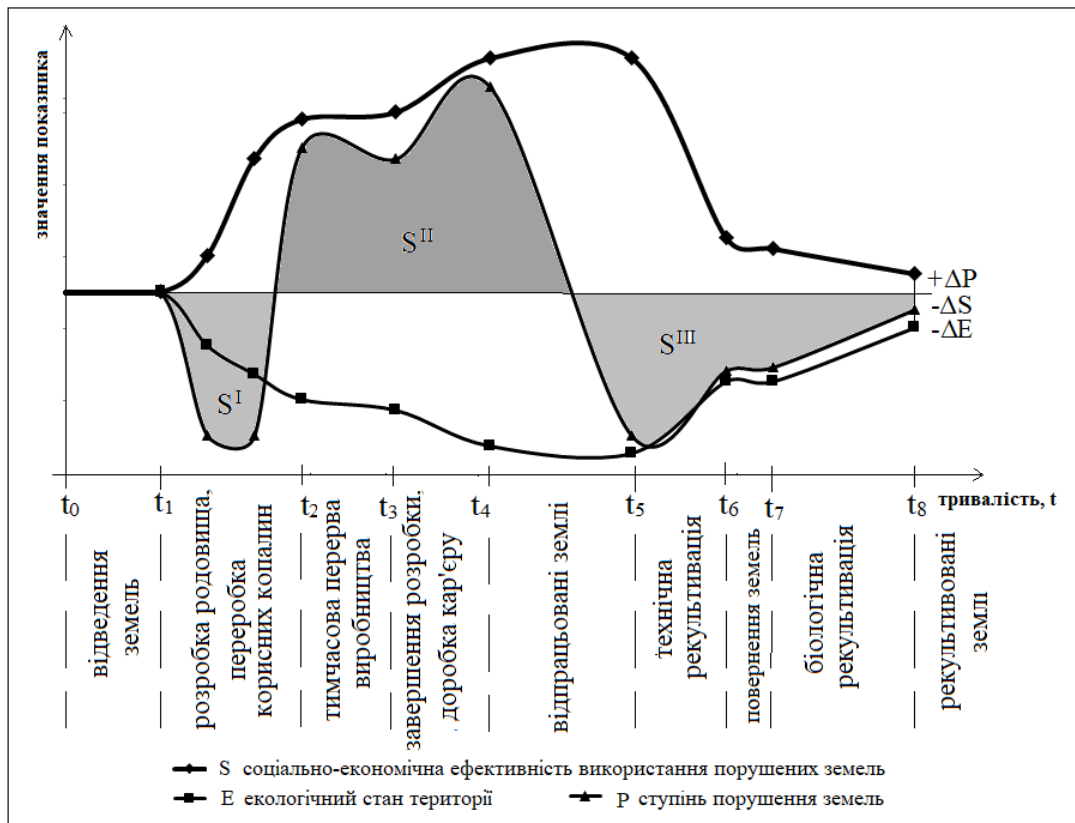


Рис. 2. Модель життєвого циклу порушених земель за «негативним» варіантом

а також зміни економічних умов і соціальної доцільності використання.

За «негативного» варіанта життєвий цикл супроводжується низькою рентабельністю, залишковими проявами порушеності території, гіршим екологічним станом на закінчення життєвого циклу відносно його початку, тимчасово переривається (рис. 2). Перетворення якісних характеристик профілю рекультивованих земель відносно природного стану відведених земель позначено ΔP . Аналогічно зміни екологічного стану земель після завершення рекультивації позначено ΔE , а зміни соціально-економічної ефективності використання – ΔS .

Якщо гірничотехнічна рекультивація зовсім не здійснювалася під час розробки родовищ, то до її початку спостерігається незначне подальше погіршення екологічного стану порушених земель до найменшого значення.

Затримка в часі від t_4 до t_5 (незаплановане збільшення тривалості існування відпрацьованих земель) погіршує їх екологічний стан і додатково знижує соціально-економічну ефективність використання.

Тривалість життєвого циклу за «негативним» варіантом може набагато перевищувати проектну.

За цей час можливі зміни, не передбачені й не враховані в проекті експлуатації родовища корисних копалин і технічних умовах рекультивації. Можуть бути розроблені нові генеральні плани, схеми планування, проекти регіонального розвитку з іншим перспективним цільовим використанням території.

«Позитивний» інтегральний соціально-економічний ефект порушеності забезпечується перевищенням кінцевого значення соціально-економічного ефекту над його початковим значенням (рис. 3) за дотримання співвідношення $S^{II} > (S^I + S^{III})$.

«Позитивний» (бажаний) сценарій передбачає успішну реалізацію проектів будівництва та експлуатації гірничо-збагачувального комбінату, відведення земель і рекультивації за відсутності негативного впливу непередбачуваних факторів екологічного, політичного, економічного характеру, а також необхідності витратити ресурси на розроблення й упровадження додаткової проектної документації (або перероблення вже наявної) та переорієнтацію технологічних схем видобування й переробки корисних копалин. Загалом витрати на рекультивацію повинні підвищувати цінність земельної ділянки порівняно з тим станом, у якому вона знаходилася до відведення для несільськогосподарських потреб [2].

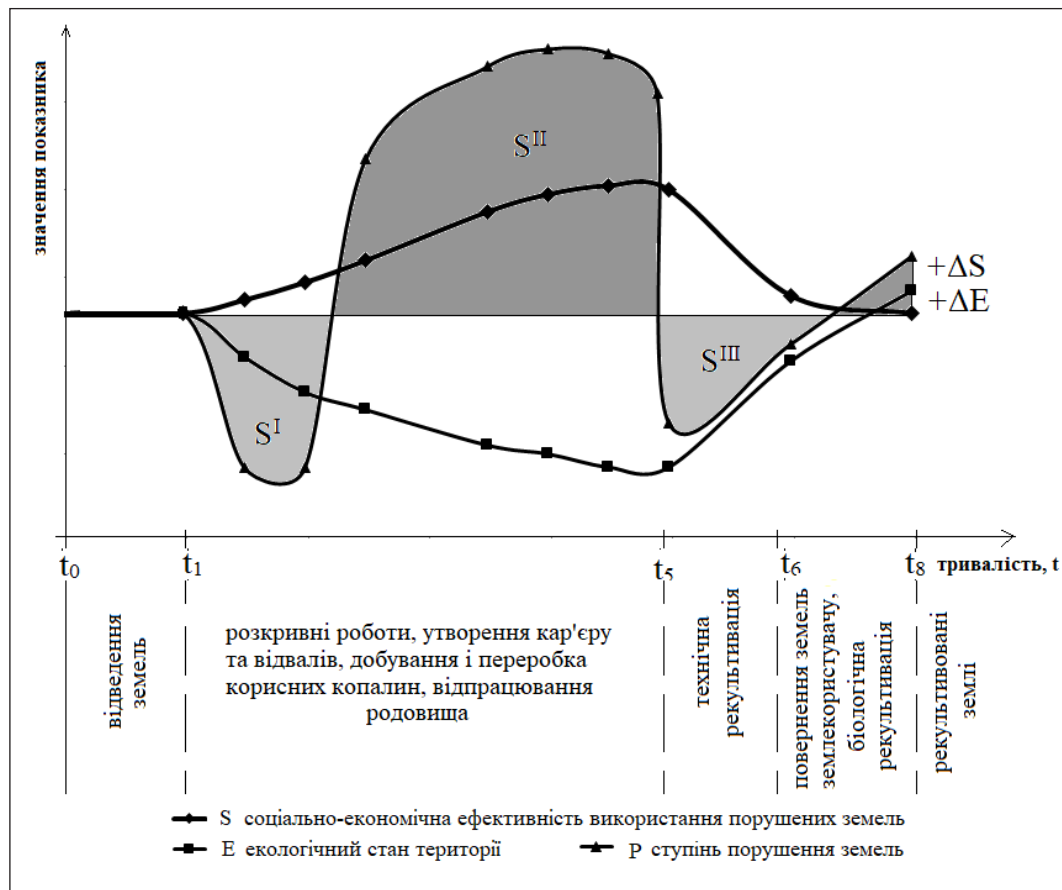


Рис. 3. Модель життєвого циклу порушених земель за «позитивним» варіантом

Соціально-економічна ефективність рекультивациі характеризується підвищенням якості життя населення, отриманням прибутку від використання рекультивованих земель, зменшенням терміну окупності витрат, збільшенням вартості земель і досягається в тому числі внаслідок покращення екологічного стану відновлювальної території.

Для раціонального використання порушених земель передбачені в проектній містобудівній і землевпорядній документації заходи рекультивациі мають бути спрямовані на мінімізацію негативних розходжень ΔE і ΔP (рис. 2) і досягнення позитивного соціально-економічного балансу використання порушених земель ΔS (рис. 3).

Аналіз діаграм життєвого циклу порушених земель дає змогу виокремити ключові питання проблеми планування їх раціонального використання. Значення та знаки характеристик ΔE , ΔP і ΔS безпосередньо залежать від виду угідь, що відводилися для несільськогосподарських потреб, технологічної схеми гірничодобувних і відновлювальних робіт, виду рекультивованих угідь і цільового призначення рекультивациі. Відповідно, вибрані для впровадження вид рекультивованих угідь і напрям рекультивациі мають бути найбільш доцільними й раціональними за відповідних локальних умов [6].

Висновки. За допомогою розроблених моделей життєвого циклу, які відображають процес використання порушених земель або як безумовно вигідний, або як негативний, або як деякий «нульовий» варіант (без помітних змін на час завершення життєвого циклу відносно початкових умов), можна досліджувати й комплексно оцінювати відносну ефективність використання порушених гірничодобувним підприємством земель.

Аналіз таких моделей дає можливість визначати принципи оптимізаціі співвідношення економічних, екологічних і соціальних витрат і прибутків від антропогенної діяльності з видобування, переробки корисних копалин і відновлення порушених земель. Унаслідок відповідного аналізу можна розробляти спеціальні прийоми, заходи управління й технології для покращення процесу освоєння порушених земель на території окремого гірничодобувного підприємства та в гірничодобувній галузі загалом.

Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення управління порушеними землями, зокрема контролю за використанням територій відкритих гірничих розробок на державному, регіональному рівнях і локальному рівні окремого гірничодобувного підприємства.

Список літератури:

1. Будзяк О.С. Деградація та заходи ревіталізації земель України. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2014. № 1–2. С. 57–64.
2. Гавриловская М.А. Оценка эффективности рекультивации нарушенных земель (экосистемный подход): автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (Экономика природопользования)». Екатеринбург, 2007. 28 с.
3. Pavloudakis F., Galetakis M., Roumpos Ch. A spatial decision support system for the optimal environmental reclamation of open-pitcoal mines in Greece. *Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2009. Vol. 23. № 4. P. 291–303.
4. Управління проектами у водному господарстві та природокористування / А.М. Рокочинський, Л.Ф. Кожушко, С.М. Кропивко, Н.Л. Фроленкова. Рівне: НУВГП, 2012. 293 с.
5. Ястребова О.В. Концептуальні підходи до визначення сутності інвестиційного проекту та його життєвого циклу. *Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності*. 2015. Вип. 2 (12). Том 3. С. 150–155.
6. Артамонов В.В., Василенко М.Г., Міхно П.Б. Системна соціально-екологічна оцінка антропогенно порушених земель. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2016. Вип. 83. С. 112–116.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В статье анализируется процесс освоения нарушенных земель. Признаки вариантности, функциональности, стадийности позволяют рассматривать его как отдельный жизненный цикл. В жизненном цикле нарушенного земельного участка выделены проектная, функциональная и восстановительная стадии. Разработаны модели жизненного цикла нарушенных земель, отражающие основные тренды развития показателей нарушенных земель при разных локальных условиях. Такие модели позволяют оценивать относительную эффективность использования нарушенных земель.

Ключевые слова: нарушенные земли, жизненный цикл, эффективность использования.

MODELING THE LIFE CYCLE OF DISTURBED LANDS

The process of developing disturbed lands are analyzed at the article. Signs of variation, functionality, phasing allow to consider it as a separate life cycle. In the life cycle of a disturbed land, the design, functional, and rehabilitation stages are identified. Models of the life cycle of disturbed lands are developed, reflecting the main trends of the development of indicators of disturbed lands under different local conditions. Such models allow us to estimate the relative efficiency of using disturbed lands.

Key words: disturbed lands, life cycle, efficiency of use.

УДК 528.4:332.3

Нестеренко С.Г.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Радзінська Ю.Б.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Шаульський Д.В.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

МЕХАНІЗМИ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ УКРАЇНИ РЕГІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У роботі досліджено питання розвитку та підвищення рівня використання земель України у процесі складання та планування землепорядної документації щодо розподілу земель. Проведено аналіз сучасного стану правового та методичного забезпечення процесів дослідження територіального фонду земель України та порівняння його використання в різних галузевих площинах. Проаналізовано та зіставлено підходи до регулювання земельних відносин на різних адміністративних рівнях. Проведено аналіз сучасного стану правового та методичного забезпечення процесів розвитку територіального фонду земель України.

Ключові слова: земельні ресурси, використання земель, землеустрій, категорії земель, землекористування, регулювання земельного фонду.

Постановка проблеми. Україна володіє надзвичайно потужним земельно-ресурсним потенціалом, але рівень і ефективність його використання значно нижчий, ніж у середньому по Європі. У зв'язку з цим створення раціональної системи землекористування, заснованої на ефективному державному регулюванні земельного фонду України, є однією з основних задач держави та місцевих органів самоврядування у вирішенні проблем у сфері земельних ресурсів і раціонального природокористування.

Постановка завдання. Метою статті є вдосконалення наукових основ раціонального використання земель України. Для виконання мети в статті поставлені такі завдання: проаналізувати сучасний стан і особливості використання земель України; дослідити методи та технологічні аспекти правового регулювання використання земель різних категорій; обґрунтувати можливі напрями раціонального використання земельного фонду України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Земельний фонд України охоплює всі землі в межах її території, незалежно від цільового використання, видів господарювання і форм власності. Склад і цільове призначення земель України визначені в Земельному кодексі України. Особливий правовий режим мають всі категорії земель. За основним цільовим призначенням землі Укра-

їни поділяються на такі категорії [1–3]: сільськогосподарського призначення; житлової та громадської забудови; природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення; оздоровчого призначення; рекреаційного призначення; історико-культурного призначення; лісового фонду; водного фонду; промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони та іншого призначення.

Важливе значення мають землі, що надаються для потреб сільського господарства. Їх головна частина складається з угідь, в число яких входять рілля, пасовища, сади, сінокоси. Землі населених пунктів мають правовий режим, за якого відбувається розвиток бази для комунального, культурно-побутового та житлового будівництва, що сприяє розвитку сфери обслуговування.

До складу категорії земель промисловості, транспорту, зв'язку, оборони входять території в користуванні промислових виробництв, підприємств різних видів транспорту; землі, надані для діяльності та розміщення військових частин, та ін. Нині до цієї категорії також належать землі, призначені для функціонування космічної інфраструктури нашої держави.

Велике рекреаційне та природоохоронне значення мають землі природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного й історико-культурного призначення. В останні роки спостерігається тен-

денція збільшення площ земель цієї категорії, що є позитивним фактором у визначенні екологічної та оздоровчої ролі цих територій.

Слід зазначити, що під впливом просторових, екологічних, економічних, функціонально-планувальних та інших факторів структура земельного фонду постійно змінюється.

Виклад основного матеріалу дослідження. Всі методи державного регулювання земельних ресурсів діляться на такі групи: економічні, адміністративні, організаційні та виховні. До загальних методів належать адміністративні й економічні, які безпосередньо спрямовані на земельні відносини та реалізуються з урахуванням усіх умов державного управління [4, с. 24–28; 5, с. 25–30].

За сучасних умов найбільш ефективними є економічні методи, використання яких створює умови, що стимулюють користувачів і землевласників вести свою діяльність у потрібному напрямку, задовольняє особисті і суспільні інтереси. Процедура вибору методів управління здійснюється в рамках наукових принципів регулювання земельних відносин, зумовлених правовими нормами, з урахуванням характеру регульованих відносин; важливості питання, що потребує врегулювання; специфіки об'єктів і компетенції суб'єктів діяльності, які підлягають регулюванню.

На основі інтеграції економічних та адміністративних методів запропоновано систему управління земельними ресурсами та відносинами, пов'язаними з їх використанням, котра включає:

- метод обов'язкових приписів, що зумовлює беззаперечне виконання управлінських рішень;
- метод рекомендацій – облік місцевих умов і особливостей під час прийняття управлінських рішень;
- метод санкціонування – прийняття управлінського рішення відповідним державним органом, юридична сила якого настає тільки після процедури його затвердження компетентним органом;
- метод дозволів, що має на меті повне самоврядування відповідних державних органів, яке не потребує подальшого затвердження прийнятими рішеннями.

У роботах [5, с. 25–30; 6, с. 216–221] визначено, що з допомогою нових методів управління земельними ресурсами, заснованими на раціональному природокористуванні й охороні земельних ресурсів, держава може створювати необхідні умови для задоволення інтересів усіх суб'єктів землекористування.

Сьогодні державне управління земельними ресурсами здійснюється законодавчими і виконав-

чими органами влади, які регулюють земельні відносини. Робота цих органів влади полягає в прогнозуванні і плануванні використання земельних ресурсів, а також у встановленні норм і порядку землекористування.

Державне регулювання використання земельних ресурсів є системою взаємопов'язаних економічних, екологічних, технічних, господарсько-правових заходів, спрямованих на упорядкування земельних відносин та організацію раціонального використання земельних ресурсів і їх охорону.

Згідно зі ст. 162 Земельного кодексу України охорона земель – це система правових, організаційних, економічних та інших заходів, спрямована на раціональне використання земель, запобігання необґрунтованому вилученню земель сільськогосподарського призначення, захист від шкідливого антропогенного впливу, відтворення і підвищення родючості ґрунтів, підвищення продуктивності земель лісового фонду, забезпечення особливого режиму використання земель природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного та історико-культурного призначення.

Охорона земельних ресурсів передбачає такі заходи:

- збереження і відновлення корисних властивостей ґрунтів;
- зменшення деструктивного антропогенного впливу і зростання конструктивного впливу на земельні та природні ресурси;
- сприяння раціональному використанню земельних ресурсів;
- збереження природно-заповідних і рекреаційних територій;
- запобігання екологічним проблемам і своєчасна ліквідація їх наслідків.

Основними заходами, спрямованими на охорону земель, є будівництво протиерозійних споруд, проведення меліоративних робіт, створення захисних насаджень на землі, впровадження у виробництво нової техніки і технологій, підвищення якісних характеристик низькопродуктивних земельних угідь. Слід зазначити, що ефективність цих заходів безпосередньо пов'язана з процесом раціоналізації використання земельних ресурсів, яка передбачає впровадження обґрунтованих еколого-правових норм, застосування ресурсозберігаючих технологій, планування господарської діяльності й еколого-економічне обґрунтування розміщення виробництв, встановлення очисних споруд. Крім того, раціональне використання земельних ресурсів має відповідати їх цільовому призначенню і забезпечувати

рентабельність виробництва, що сприятиме розвитку галузей, для яких земля є основним засобом виробництва.

До основних напрямів раціонального використання землі належать:

- правильна організація виробництва та його раціональне розміщення;
 - оптимальний розподіл земельних ресурсів між галузями національної економіки;
 - розробка і впровадження нової системи землеробства, спрямованої на збереження і поліпшення природних властивостей земельних угідь;
 - спеціалізація виробництва;
 - удосконалення нормативно-правової бази;
 - введення жорсткої системи штрафних санкцій;
 - чітке планування обсягу державних закупівель, ведення ефективної цінової політики;
 - своєчасне проведення господарського землеустрою;
 - встановлення чітких вимог щодо точності та своєчасності подання земельнокадастрових даних;
 - моніторинг діяльності органів охорони земель;
 - впровадження системи мотивації раціонального землекористування на різних рівнях;
 - розвиток екологічно безпечного виробництва.
- Сучасна система раціонального використання земельних ресурсів має бути спрямована на такі послідовні дії:
- збереження та відтворення земельно-ресурсного потенціалу;
 - запровадження ефективних технологій землекористування;
 - оптимізацію використання сільськогосподарських угідь;

- створення ефективного ринку землі;
- формування державної та регіональної системи управління та моніторингу використання земельних ресурсів;

- врегулювання відносин власності на землю;
- консолідацію земель сільськогосподарського призначення та ін.

Висновки. Таким чином, ці стратегічні напрями підвищення ефективності використання земель можуть бути здійснені за умови врахування регіональних особливостей кожної окремої території, технічних, економічних і правових умов господарювання. Реалізація зазначених стратегічних напрямів є основою успішного розвитку раціонального використання земельно-ресурсного потенціалу регіонів, що допоможе покращити добробут населення та зміцнити земельний стан країни.

У роботі вирішені такі завдання:

- проаналізовано сучасний стан і особливості використання земель України;
- досліджені методи та технологічні аспекти правового регулювання використання земель різних категорій;
- обґрунтовані можливі напрями раціонального використання земельного фонду України.

Успішне виконання заходів, передбачених цією статтею, значно поліпшить стан земельних ресурсів України та надасть можливість їх розвитку і зростання інвестиційних потоків.

Основні результати, отримані в розробці цієї статті, полягають у реалізації елементів дослідження ефективності використання земель України. Таким чином, поставлені цілі в статті досягнуті.

Список літератури:

1. 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*. 2016. Т. 86. № 4. 323 с.
2. Мамонов К.А. Застосування геоінформаційних систем у процесі землеустрою міст України. *Комунальне господарство міст / Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова*. Харків. 2016. Вип. 130. 116 с.
3. Третяк Н.А. Окремі аспекти механізмів управління капіталізацією земельних ресурсів. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2014. № 1–2. С. 11–21.
4. Нестеренко С.Г. Дослідження земельного адміністрування та геоінформаційного забезпечення міського будівництва України. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2017. № 1/4 (33). С. 24–28.
5. Радзінська Ю.Б. Теоретичні підходи щодо визначення інвестиційної привабливості земель міст. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2017. Вип. 137. С. 25–30.
6. Радзінська Ю.Б. Теоретичні підходи щодо оцінки інвестиційної привабливості земель міст. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*: зб. наук. праць. Луцьк, 2017. Вип. 8. С. 216–221.

МЕХАНИЗМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ УКРАИНЫ РЕГИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В работе исследованы вопросы развития и повышения уровня использования земель Украины при составлении и планировании землеустроительной документации по распределению земель. Проведен анализ современного состояния правового и методического обеспечения процессов исследования территориального фонда земель Украины и сравнение его использования в различных отраслевых плоскостях. Проанализированы и сопоставлены подходы к регулированию земельных отношений на разных административных уровнях. Проведен анализ современного состояния правового и методического обеспечения процессов развития территориального фонда земель Украины.

Ключевые слова: земельные ресурсы, использование земель, землеустройство, категории земель, землепользование, регулирование земельного фонда.

MECHANISMS OF RATIONAL DISTRIBUTION AND USE OF LANDS OF UKRAINE OF REGIONAL PURPOSE

The paper examines the issues of development and increase of the level of land use in Ukraine when compiling and planning land management documentation regarding land allocation. The analysis of the current state of legal and methodological support for the study of the territorial fund of lands of Ukraine and comparison of its use in various sectoral planes is carried out. The approaches to the regulation of land relations at different administrative levels are analyzed and compared. The analysis of the current state of legal and methodological support of the development of the territorial fund of lands of Ukraine was carried out.

Key words: land resources, land use, land management, land category, land use, land fund regulation.

УДК 311:504.4

Рацлав В.В.

Донбаська державна машинобудівна академія

МОНІТОРІНГ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОБЛЕМ ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ДОНБАСУ

Здійснено статистичний аналіз проблем екологічного і економічного використання водних ресурсів Донбасу з метою поліпшення екологічної ситуації в Донбасі, що сприятиме прийняттю екологічних та економічних зважених оперативних і стратегічних рішень, спрямованих на поліпшення екологічної ситуації в Україні.

Ключові слова: водні ресурси, водопостачання, водокористування, стічні води, водоресурс, антропогенне навантаження, водоресурсний потенціал країни, геоінформаційні системи.

Постановка проблеми. Вода відноситься до важливішого чинника еколого-економічного та соціального показника розвитку регіону та країни в цілому. Згідно з Водним кодексом України під водними ресурсами розуміємо всі обсяги поверхневих, підземних і морських вод відповідної території [1; 3]. Від якості та кількості забезпечення водними ресурсами залежать масштаби розвитку та розміщення сільськогосподарських та виробничих об'єктів, діяльність яких залежить від використання води – водовикористання.

За оцінкою експертів, Україна є однією з найменш забезпечених у Європі країн за запасами місцевих водних ресурсів: 1 тис. куб. м на 1 жителя. Для порівняння, в Австрії та Німеччині – 2,5 тис., у Франції – 3,5 тис., у Великобританії – 5 тис. куб. м. Неприятлива обстановка, що склалася в галузі водовикористання та водопостачання, пов'язана із цілим комплексом питань, що мають місце на всіх стадіях водогосподарської діяльності: забору води з природних водних джерел, втрати води під час транспортування, а також упровадження заходів щодо запобігання шкідливої дії поверхневих і підземних вод, захисту водних ресурсів тощо. За таких умов особливого значення набуває проблема екологічного та економічного використання водних ресурсів. Питання державного управління водними ресурсами, на жаль, розглядаються фрагментарно, неповністю, здебільшого в контексті екологічних й економічних проблем та у відриві від теоретичних засад сучасного державного управління.

Аналіз останніх досліджень, в яких започатковано вирішення проблеми. Проблеми ефективного державного управління водними ресурсами, природокористуванням та охороною природного середовища досліджувались у наукових працях М. Хвесика, В. Голяна, Б. Дани-

лишина, С. Дорогунцова, І. Драгана, Т. Іванової, В. Сташука, А. Яцика, О. Яроцької, Т. Клауссена та інших.

Мета статті – виявлення теоретичних методологічних положень щодо державного управління водними ресурсами регіону. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю наукового пошуку напрямків і механізмів удосконалення водокористування в межах окремо взятого Донбаського регіону з метою покращення ефективності використання водних джерел і захисту їх від надмірного антропогенного навантаження через визначення основних завдань, підходів, принципів, які необхідно враховувати на практиці під час обґрунтування ефективних механізмів державного управління водними ресурсами.

Мета державного управління водними ресурсами пов'язана із забезпеченням економічного та екологічного збалансованого розвитку водоресурсного потенціалу країни, яка сформульована в положенні про «Мету в загальнодержавній цільовій програмі розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року», де записано, що державна водна політика полягає в задоволенні потреби населення та галузей економіки у водних ресурсах, збереженні й відтворенні водних ресурсів, упровадженні системи інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом [2; 3].

Виклад основного матеріалу. Екологічні та економічні проблеми водних ресурсів Донбасу накопичувалися не одне століття, але в останні роки негативні явища можуть призвести до неправних наслідків. Небезпечний рівень забруднення водних ресурсів Донецької та Луганської областей пов'язаний із великим об'ємом стічних вод, об'єм яких – біля 2 млрд. куб. м, що щорічно

скидаються в річки регіону. Особливо гострою проблемою водних запасів є забруднення підземних водоносних горизонтів викидами вугільного виробництва, яке відбувається від закриття та затоплення шахт, що не працюють. Унаслідок цього відбувається виснаження поверхового водотоку, гідравлічно пов'язаного з водоносним горизонтом. Отже, відбувається забруднення та зневоднення всієї території Донбасу. Шахтні води, забруднені домішками гірської породи, не відкачуються на поверхню, де вони акумулювалися би у водоймищах, відстоювалися та ставали більш прозорими, це призводило б до меншого забруднення. В останні часи за вмістом значної частки мінералізації та іонів тяжких металів такі води непридатні для питного та технічного водопостачання. Для попередження масштабної катастрофи необхідно ввести екологічний, економічний, політичний та інші принципи регулювання для охорони та відтворення водних запасів. Обнадійливим є природоохоронний проект, розроблений державним управлінням охорони довкілля в Донецькій області на 2013–2020 роки. Мета проекту – забезпечити екологічну безпеку, звівши до мінімуму негативні явища людини на навколишнє середовище. Заплановано спонсорувальні заходи цього проекту з екологічних фондів навколишнього середовища, державного бюджету та коштів підприємств.

Принципом економічного регулювання під час використання води є відтворення та охорона водних ресурсів, що передбачає плату за водокористування, ураховуючи економічну оцінку збитку забруднення водних об'єктів. Важливе місце в житті держави та суспільства посідають водні запаси регіонів, тому забезпечення питною водою в необхідному обсязі та оцінка забруднення водних об'єктів є найважливішим пріоритетним завданням сучасності. Останні роки на Донбасі характеризуються антропогенними катаклізмами та великими навантаженнями на водні об'єкти. Найбільш це доводиться на Сіверський Донець. Сіверський Донець – головна водна артерія сходу України, що забезпечує потреби у воді населення агропромислового комплексу Харківської, Донецької та Луганської областей. За запасами водних ресурсів басейн Сіверського Дінця є маловодним регіоном, де забезпеченість потреби у воді утричі менша, ніж у середньому в Україні. Водночас це один із найбільш навантажених серед основних річкових басейнів держави. Саме тому першочергове значення має відповідальне водокористування, охорона й відтворення водних ресурсів

басейну Дінця та Донбаського регіону. Для цього необхідна повна статистична інформація про стан водних ресурсів. Водний кодекс передбачає державний облік водокористування поверхневих і підземних вод. Облік та аналіз стану водних ресурсів здійснюється через подання водокористувачами до державних органів водного господарства звітів про водокористування за встановленою формою. Водокористуванням і водовідведенням займається статистика водних ресурсів, яка є частиною екологічної статистики. Об'єктами статистики є:

- 1) водокористувачі водних джерел;
- 2) використання води підземних горизонтів;
- 3) зворотні (стічні) води.

Така статистична інформація, за даними Сіверсько-Донецького басейного управління водних ресурсів, подана в таблицях 1, 2 та 3).

Ще гірші справи в південній частині Донецької області, куди воду постачають по каналу Сіверський-Донець-Донбас. Свіжа вода з каналу використовується підприємствами металургійної та вугільної промисловості, енергетики та комунального господарства. Серед міст Донецької області найбільшу кількість забруднювальних речовин у водні об'єкти вносять підприємства міст Маріуполя, Донецька, Макіївки, Горлівки та Єнакієвого. Основна частина забруднень доводиться на річки Приазов'я, де скидання забруднень складає понад 20 відсотків. Використання значних обсягів водних ресурсів на виробничі потреби, неякісне очищення каналізаційних стоків та сільськогосподарські відходи – це все заподіює не виправну шкоду водним ресурсам Донбасу. Наслідки забруднення води надзвичайно шкідливі для людини, тоді як головним чинником забруднення є людино-антропогенний чинник. За тим, як забруднюються річки, найбільше виділяються річки Кальміус, Казенний Торець, Самара, Солона, Бик та Вовча. Попри зменшення об'ємів водоспоживання, в останні роки (порівняно з 1990 р. – удвічі) інтенсивність використання водних ресурсів у Донецькій області залишається найбільшою в Україні. На жаль, суспільство недооцінює негативні наслідки змін якості та кількості показників водних ресурсів.

Майже 30% об'єму нефільтрованих стічних вод, які кожен рік потрапляють у водоймища країни, належать Донецькій області. У зв'язку із цим область посідає перше місце в країні за скиданням нефільтрованих стокових вод. На відповідальне водокористування, охорону й відтворення водних ресурсів басейну та регіоні передбачено 60 заходів

Таблиця 1

Основні показники забору й використання водних ресурсів басейнів річок Сіверський Донець, Приазов'я та Дніпро в межах Донецької області, млн. м³

Показники	Донецька область							
	2010	2011	2012	2013	2014*	2015	2016	2017
Забрано води з природних водних об'єктів, зокрема й:	2110	2142	2093	1979	1697	1548	1501	1458
Морської	883,7	908,4	810,1	714,6	598,4	560,5	554,2	561,2
Прісної	1226	1234	1283	1265	1098	988	946,3	896,4
– із поверхневих джерел	839,8	856,9	905,2	899,9	1434,6	857,2	808,5	793,0
– із підземних джерел	386,6	376,7	377,9	364,8	262,0	130,8	137,8	103,4
Зокрема, й шахтно-кар'єрних	339,2	329,8	333,7	323,4	225,3	99,4	104,3	71,53
Забір до каналу Сіверський-Донець–Донбас	526,2	507,9	534,1	518,1	429,48	507,0	485,5	466,0
Використано прісної та морської води, всього: зокрема, й на потреби	1467	1479	1445	1354	1135,4	935,8	926,3	912,4
Господарсько-питні	230,7	229,4	221	215,8	158,1	110,1	104,4	100,0
Виробничі	1164	1197	293,9	1002	865,3	808,2	804,2	796,4
Зрошення	16,25	13,08	12,63	11,34	4,492	5,378	5,383	4,739
С/г водопостачання	7,492	7,411	6,101	5,748	3,798	2,070	2,413	2,211
Ставково-рибне господарство	36,18	20,00	90,91	106,5	91,9	144,8	158,4	158,7
Інші потреби	12,78	12,00	-	12,61	11,81	10,04	9,98	8,98
Втрати під час транспортування	310,2	296,9	317,7	308,4	260,3	235,1	221,6	224,9

Таблиця 2

Основні показники скиду зворотних вод до поверхневих водних об'єктів басейнів річок Сіверський Донець, Приазов'я та Дніпро в межах Донецької області, млн. м³

Показники, млн. м ³	Донецька область							
	2010	2011	2012	2013	2014*	2015	2016	2017
Скинуто в поверхневі водні об'єкти, зокрема й:	1503	1526	1414	1310	913,8	843,4	821,4	801,0
Забруднених:	549,9	554,2	557,7	506,7	295,8	263,7	180,2	199,4
без очистки	16,64	12,46	11,53	10,79	6,052	8,292	4,051	0,300
Недостатньо очищених	533,3	541,7	546,2	495,9	289,7	255,4	176,1	199,1
Нормативно чистих без очистки	752,1	761,1	663,7	585,6	518,3	480,5	444,9	444,9
Нормативно очищених на очисних спорудах	200,6	210,9	192,8	218,1	99,7	99,3	104,2	95,18
Шахтно-кар'єрних без використання**							92,1	61,52
За категоріями води:								
Стічних	1188	1215	1098	993,5	795,5	739,3	724,3	738,9
Шахтно-кар'єрних	307,1	306,2	311,1	311,2	114,8	101,0	92,1	61,52
Колекторно-дренажних	8,764	7,907	7,986	8,548	6,261	5,602	5,439	1,260
Потужність очисних споруд	1513	1656	1539	1566	1527	790,6	790,6	688,0

Таблиця 3

Динаміка скидів забруднювальних речовин у Донецькій області, тис. т

Показники	Донецька область							
	2010	2011	2012	2013	2014*	2015	2016	2017
маса скиду	533	521	542	534	278	246	136	145

*із 2014 р. кількість підприємств, що звітуються, та, відповідно об'єми забору та скиду зменшилися у зв'язку із соціально-політичною ситуацією, яка склалася на території Донецької та Луганської областей;

**з 2016 р. у зв'язку з прийняттям нового «Порядку ведення державного обліку водокористування» (затвердженого наказом Мінприроди від 16.03.2015 № 78) у скидах шахтно-кар'єрних вод, що не використовуються, забруднювальні речовини не відображені, відповідно до цього категорію якості вод, що скидаються, не визначено.

на суму 525 млн. грн. На жаль, значний потенціал управлінських, виробничих, наукових і проектних підрозділів діє розрізнено, цінна інформація багато в чому не враховується й не узагальнюється, не доводиться до відома й використання зацікавленими організаціями та підприємствами, що не сприяє ефективному розв'язанню питань охорони й раціонального використання водних ресурсів. Тому, щоб спробувати розв'язати цю проблему, треба провести екологічну діагностику, яка дозволить зробити укладення про стан середовища. Головне на цей час – створити реальний науковий інструментарій, який дозволить провести діагностику досліджуваного об'єкта, виявити причини погіршення екологічного стану та знайти шляхи їх розв'язання.

Економічні проблеми водних ресурсів свідчать про те, що необхідно розв'язати безліч питань комплексного використання водних ресурсів: упровадження оптимальних норм витрати води, впровадження прогресивних технологічних процесів виробництва та прогресивних систем очищення стічних вод, опріснення мінералізованих вод, відтворення запасів прісних підземних вод, витягання корисних компонентів зі стічних вод і низку інших питань ефективного використання водних ресурсів. У зв'язку з екологічною ситуацією, що склалася в області та в цілому в Україні, пріоритетними напрямками з поліпшення стану водних ресурсів Донецької області є:

1) зменшення негативних наслідків під час закриття шахт, а також фільтрації шкідливих речовин у шахтах, що діють;

2) будівництво нових, розширення та реконструкція діючих систем господарчо-побутової каналізації (Білозерську, Бахмуті, Добропіллі, Дружківці, Макіївці, Маріуполі тощо);

3) демінералізація шахтних вод;

4) будівництво систем зливової каналізації з очищенням поверхневого стоку з території міст і виробничих промислових майданчиків, постачання виробничих стічних вод;

5) розчищення малих річок і водойм області;

6) упорядкування водозахисних зоні прибережних захисних смуг.

Із метою охорони й раціонального використання водних ресурсів у довгостроковій перспективі було прийнято Програму науково-технічного розвитку Донецької області на період до 2020 р., в якій передбачено:

1) здійснити оцінку сучасного стану прогнозних ресурсів й експлуатаційних запасів підземних питних вод Донецької області з виявленням джерел забруднення;

2) здійснити розробку принципової схеми водопостачання Донецької області підземними водами та створити конкретні схеми водопостачання окремих міст і районів;

3) здійснити розробку й забезпечити виконання регіональних цільових програм проти дії підтоплення територій;

4) здійснити будівництво й реконструкцію наявних очисних споруд промислових, господарчо-побутових стоків і каналізаційних ліній;

5) забезпечити впровадження у виробництво передових світових маловодних і безводних технологій, систем повторного використання стічних вод;

6) здійснити перехід на замкнуті системи водопостачання технологічних процесів;

7) забезпечити розробку і впровадження новітніх технологій із розширення використання мінералізованих підземних і шахтних вод на технологічні потреби;

8) вдосконалити технологічні процеси на виробництві;

9) здійснити розробку дієвих заходів із недопущення аварійних ситуацій.

Із метою впровадження цих принципів необхідно: внести зміни до законодавчих актів та впровадити використання геоінформаційних систем басейнів річок з уведенням кадастрової інформації щодо поверхневих вод, підземних вод, водокористування та результатів моніторингу стану навколишнього природного середовища; розробити нормативно-правову та методичну базу сталого функціонування водогосподарських систем та відповідної інфраструктури в басейнах річок. Розв'язати проблему оптимального управління водогосподарським комплексом можливо через системну реалізацію державної політики в галузі водного господарства, використання ресурсів держави та регіонів із метою забезпечення інноваційно-інвестиційного розвитку водного господарства, що уможливить підвищення ефективності державного управління водними ресурсами на регіональному рівні [4; 8]. Ураховуючи вищевикладене, реалізацію заходів пропонують впровадити через:

– удосконалення нормативно-правової бази щодо забезпечення інноваційного та інвестиційного розвитку водного господарства на регіональному рівні;

– впровадження ефективного, обґрунтованого та збалансованого механізму використання, охорони та відтворення водних ресурсів, забезпечення сталого розвитку регіональної системи моніторингу довкілля, зокрема й водних ресурсів;

– підвищення технологічного рівня водокористування, впровадження маловодних та безводних

технологій, розроблення більш раціональних нормативів водокористування, будівництва, реконструкції та модернізації систем водопостачання та водовідведення;

– вдосконалення стандартів і нормативів щодо використання водних ресурсів та лімітів забору води й скидання забруднювальних речовин у водні об'єкти та прямого водообліку й технології розподілу води на водогосподарських системах;

– розроблення регіональних програм розвитку водного господарства та регіональних схем комплексного протипаводкового захисту;

– реалізації водо- та енергозберігальних технологій, які забезпечать підвищення функціонування водогосподарського комплексу.

Висновки. Виконання запропонованих заходів уможливить:

– задовольнити потребу населення та галузей економіки в якісних водних ресурсах;

– зменшити обсяг споживання та відведення води;

– забезпечити ефективний захист територій та населення від шкідливої дії вод;

– удосконалити галузеву структуру водокористування, насамперед, у комунальному господарстві, хімічній промисловості;

– знизити рівень водоемності промислового виробництва;

– підвищити ефективність та забезпечити екологічну безпеку водокористування;

– зменшити залежність вирощування сільськогосподарських культур від несприятливих погодних умов.

Із метою поліпшення екологічної ситуації на Донбасі необхідно вжити науково обґрунтовані заходи, які повинні завершуватись їх реалізацією на практиці. На цьому етапі дуже важливим буде їх обговорення на басейнових і міжвідомчих радах із залученням обласних і районних державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування, територіальних органів міністерств та відомств, водокористувачів, наукових закладів та громадських організацій. Така практична взаємодія дасть змогу ще на етапі планування усунути низку непорозумінь методичного й прикладного характеру.

Список літератури:

1. Про природні ресурси й екологію: зб. Законів України за стан. На 1 квіт. 205 р. Х.: ІГВІНІ, 2005. 496 с.
2. ЗАКОН УКРАЇНИ. Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2013. № 17. Ст. 146.
3. Атаманчук Г.В. Теория государственного управления: курс лекций. М.: Омега-Л, 2005. 584 с.
4. Водна рамкова директива 2000/60/ЄС: основні терміни та їх визначення. К.: Державний департамент з питань адаптації законодавства Міністерства юстиції України, 2006. 244 с.
5. Водний Кодекс України. *ВВР України*. 1995. № 213/95. Ст. 189.
6. Вострікова Н.В. Аналіз стану законодавчої бази щодо інтегрованого управління водними ресурсами в Україні. *Державне будівництво*. 2014. № 1. С. 45–50.
7. Данилко В. Данилко С. Статистичний аналіз використання та охорони водних ресурсів в Україні. *Економіка природокористування і охорони довкілля*. 2011. № 2011. С. 80–86.

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДОНБАССА

Осуществлен статистический анализ проблем экологического и экономического использования водных ресурсов Донбасса с целью улучшения экологической ситуации в Донбассе, что будет способствовать принятию экологических и экономических взвешенных оперативных и стратегических решений, направленных на улучшение экологической ситуации в Украине.

Ключевые слова: водные ресурсы, водоснабжение, водопользование, сточные воды, водоресурсы, антропогенная нагрузка, водоресурсный потенциал страны, геоинформационные системы.

USING MONITORING ECOLOGICAL AND ECONOMICAL PROBLEMS OF USING AND PROTECTING WATER RESOURCES OF DONBASS

The statistic analysis of the problem of ecological and economical usage of water resources of Donbass with the aim of improving the ecological situation in Donbass, was carried out; it will contribute to the adoption of ecological and economical well-considered efficient and strategic decisions directed at the improvement of ecological situation in Ukraine.

Key words: water resources, water supply, water utilization, sewage, anthropogenic loading, water-resourceful potential of the country, geo-information systems.

Русіна Н.Г.

Відокремлений структурний підрозділ
«Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»

Люльчик В.О.

Відокремлений структурний підрозділ
«Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ

У статті досліджується сучасне програмне забезпечення геодезичних розрахунків у землеустрої. Комп'ютерні програми та комплекси оцінюються з погляду можливості їх практичної реалізації в галузі землеустрою, а також з урахуванням доступності, зрозумілості та додаткових функцій.

Ключові слова: геодезичні роботи у землеустрої, ГІС-технології, автоматизоване проектування, програмний комплекс AutoCAD, CREDO, програма «Геопроект», Digital, «Інвент-Град», «ПАНО-РАМА», «Засічка 3-0», програмні комплекси з вирішення геодезичних задач.

Постановка проблеми. Важливою складовою частиною землеустрою є топографо-геодезичні роботи, основним завданням яких є забезпечення топографічною основою у вигляді карт і планів землевпорядних дій [5]: утворення нових, а також впорядкування наявних проектів землеустрою з усуненням незручностей у розташуванні земель; уточнення та зміни меж землекористувань на основі схем районного розпланування; внутрішньогосподарської організації території агроформувань із введенням економічно обґрунтованих сівозмін і влаштування всіх інших сільськогосподарських угідь, а також розробки заходів для боротьби з ерозією ґрунтів; виявлення нових земель для сільського господарства та іншого використання; відведення і вилучення земельних ділянок; встановлення і зміни меж міст та інших населених пунктів; проведення ґрунтових, геоботанічних та інших обстежень і вишукувань; проектування, розпланування і забудови сільських населених пунктів; ведення державного земельного кадастру.

Геодезичні роботи у землеустрої включають [4]:

1. Побудову геодезичного знімального обґрунтування – у вигляді ходів триангуляції, трилатерації та полігонометрії; нівелірних зйомок; засічок.

2. Різні види зйомок: аерофототопографічні (які поділяють на контурні, стереотопографічні та комбіновані), фототеодоліт, мензульні, теодолітні, нівелірні, тахеометричні та кадастрові зйомки.

3. Картографічне оновлення – проводять за результатами аерофотозйомок із прив'язкою їх до геодезичного обґрунтування.

4. Внесення поправок до планів і карт – нанесення нових об'єктів і контурів або видалення зниклих об'єктів і контурів із наявних карт і планів, виконують за допомогою топографічних зйомок місцевості.

5. Створення й оформлення карт і планів за результатами виконавчих знімачів.

6. Визначення площ земельних угідь зі складанням експлікації (виконується за результатами вимірних ліній і кутів у природі із застосуванням спеціальних формул).

7. Попереднє та технічне проектування об'єктів.

8. Підготовка до перенесення проекту в природу (включає підготовку даних).

9. Винесення проекту на місцевість.

10. Проведення виконавчих зйомок (для побудованих об'єктів чи об'єктів на стадії будівництва з метою контролю).

Кожна зі вказаних дій вимагає автоматизованої системи обробки інформації, яка включає наявність програмного комплексу з обробки матеріалів польових вимірювань, засобів автоматизованого введення даних і графічної інформації, програми для обробки графіки й автоматизованого креслення, пристроїв виведення графічної і текстової інформації [1].

Саме застосування та широке впровадження новітніх геодезичних програм і ГІС-технологій забезпечує більшу точність і якість землевпорядних робіт, а також підвищує якість землевпорядної документації та планово-картографічного матеріалу, що дозволяє більш ефективно керувати земельними ресурсами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питаннями інформаційного забезпечення та застосування ГІС у землеустрої займалися як зарубіжні, так і вітчизняні вчені, а саме: І. Акіф'єв, А. Голубцов, С. Кваша, Ю. Лупенко, М. Білинська, А. Каменський, Г. Кірейцев, В. Сопко, Я. Ейдельман, В. Федотова, Н. Майкова, Є. Капралов, О. Кошкарев, О. Світличний, С. Плотницький, В. Тікунов, Ю. Баранов, А. Берлянт, В. Авер'янов, Г. Атаманчук, Л. Гордієнко, В. Афанасьєв, С. Булакевич та ін.

Сучасні публікації науковців Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» присвячені найбільш популярним програмним продуктам із використанням геоінформаційних систем (далі – ГІС), які забезпечують вирішення різноманітних завдань у землеустрої. Вчені описують основні функції, характеристики, можливості та принципи роботи з програмними засобами, наводять порівняльний аналіз програмних засобів і пропонують найбільш доступні та інтуїтивно зрозумілі програмно-технічні засоби, які найкраще підходять для вирішення конкретних завдань у землеустрої, таких як нанесення ділянки на карту, конвертація даних у різні формати, складання земельпорядної документації та ін. [11].

У дослідженнях В. Люльчика, О. Качановського та С. Булакевича наведено методи досліджень сільськогосподарських угідь із використанням даних дистанційного зондування Землі з космосу, а саме: розроблено й апробовано технологію ідентифікації сільськогосподарських угідь, зайнятих посівами озимої пшениці, з використанням матеріалів дистанційного зондування (спутникової системи Sentinel-2); розроблено та застосовано нейронну мережу для розрахунків біомаси сільськогосподарських культур на всіх стадіях вегетації і прогнозування врожайності; обґрунтовано можливість застосування знімків середньої роздільної здатності відкритих даних для підвищення якості моніторингу сільськогосподарських угідь на рівні адміністративного району (або сільськогосподарського підприємства) [8].

Питанням використання ГІС-технологій у земельпорядному проектуванні присвячена наукова робота П. Біди, у якій дослідник визначає основні функції ГІС (автоматизованого картографування, просторового аналізу й управління даними), складники підсистеми ГІС (збір, підготовку і введення даних; збереження, відновлення і керування даними; обробку, моделювання й аналіз даних; контроль, візуалізацію і виведення даних) та їх основні завдання [3].

Однак питання аналізу геодезичних програм у землеустрої ще не стало предметом широкого обговорення в науковій і методичній літературі.

Постановка завдання. Аналіз наявних комп'ютерних геодезичних систем і програм, які можуть бути використані із застосуванням ГІС у проведенні геодезичних робіт, землеустрою та земельного кадастру в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Землевпорядні роботи із часом стають дедалі складнішим і відповідальнішим видом професійної діяльності. Крім того, земельпорядні роботи можна віднести до задач геоінформаційного (просторового) аналізу, оскільки їх виконання потребує врахування впливу факторів, що мають кількісні характеристики, просторову прив'язку та просторові відношення.

Сьогодні геодезичні програми – це група програм, за допомогою яких вирішуються різні завдання галузі інженерної геодезії та землеустрою. Існують геодезичні програми, що об'єднують у собі декілька функцій, необхідних для реалізації того чи іншого завдання, а є і вузько спрямовані.

Найпопулярнішими програми для автоматизованого проектування є САД програми (табл. 1), призначені для автоматизації обробки даних інструментальної геодезичної зйомки місцевості й інженерного проектування в житловому, промисловому і транспортному будівництві [6; 9].

Необхідно зазначити, що у вирішенні земельпорядних програм широко застосовується програмний комплекс CREDO (виробництва компанії Кредо-Діалог, м. Мінськ). Багатофункціональний комплекс програмних продуктів CREDO забезпечує автоматизовану обробку інженерних досліджень, підготовку даних для різноманітних геоінформаційних систем, створення й інженерне використання цифрових моделей місцевості, автоматизоване проектування автомобільних шляхів і генеральних планів об'єктів промислового і цивільного будівництва. Програмний комплекс CREDO складається з кількох великих автономних систем і ряду додаткових завдань, поєднаних в одну технологічну лінію обробки інформації. Кожна з систем комплексу дає змогу автоматизувати обробку інформації в різних галузях (інженерно-геодезичні, інженерно-геологічні розвідування, проектування та ін.), а також доповнити своїми даними єдиний інформаційний простір (моделі рельєфу, ситуації, геологічного будівництва) і проектні рішення створюваного об'єкта. До комплексу CREDO входять різні системи та

Характеристика CAD програм

Назва програми	Елементи характеристики
AutoCAD	Найпопулярніша програма для автоматизованого проектування. Пропонує можливість роботи у режимах 2D і 3D. Існує кілька версій програми, спрямованих на розвиток конкретних галузей. Надає повну сумісність із форматом .dwg, який є основним форматом файлів CAD. Має відкриту архітектуру, працює в операційних системах Windows і MacOS.
Civil 3D	Розширення автокад (надбудова) з поліпшеними можливостями для проектування автодоріг, мереж каналізації, водопроводу.
MicroSurvey CAD	Повнофункціональна САПР для обробки даних інженерно-геодезичних вишукувань і проектування площинних і лінійно-протяжних об'єктів.
ProgeCAD	Доступна за можливостями і потужне CAD ПО, яке підтримує формат DWG, сумісне з Windows 7, вбудованою системою тривимірного моделювання, можливістю обробки растрових зображень, імпортування растрових зображень у векторне.
ArchiCAD	Програма для архітектурного проектування.
BricsCAD	Програма для проектування CAD забезпечує високу сумісність із форматом .dwg. Працює в операційних системах Windows і Linux, доступна російськомовна версія.
GstarCAD	Програма дозволяє працювати в режимах 2D і 3D; доступні галузеві накладки, єдина програма, крім AutoCAD та Дизайн+, яка пропонує меню у вигляді стрічки, працює в операційній системі Windows, доступна у російській мовній версії.
NanoCAD	Працює в режимах 2D і 3D, має всі необхідні інструменти та функції для швидкої й ефективної роботи з файлами .dwg, з якими програма не має проблем і характеризується високою сумісністю. В останній російськомовній версії програми можна працювати в операційних системах Windows.
ДИЗАЙН+	Це програмне забезпечення обладнане всіма необхідними функціями для проектування. У ній можна працювати в режимах 2D і 3D, має меню у вигляді стрічки. Забезпечує високу сумісність із базовим форматом CAD, тобто .dwg. Доступна російськомовна версія, призначена для роботи в операційній системі Windows.

додаткові задачі (Credo_Dat, ТРАНСПОРТ 1.0, ЗЕМПЛАН 3.1, НІВЕЛІР 1.0, CREDO_LIN, CREDO_TER, CREDO_GEO, CREDO_GEO КОЛОНКА 2.0, CREDO_GEO ЛАБОРАТОРІЯ 2.1, CAD_CREDO). Взаємодія різних систем програмного комплексу CREDO під час обробки матеріалів розвідувань, проектування забезпечує наскрізну технологію обробки інформації, яка не тільки з успіхом впроваджується в одній організації, а й забезпечує обмін електронними даними між організаціями, підвищуючи продуктивність праці і якість вихідних матеріалів [2].

Враховуючи особливості землевпорядного виробництва на території України, були розроблені вітчизняні сучасні комплекси «Digitals», «Геопроект», «Інвент-Град», ГІС «Карта» та ін. Програма «Digitals» (Виробник: НПП «Геосистема») призначена для створення / оновлення топографічних і спеціальних карт, видання карт міського кадастру і землеустрою, рішення інженерних і прикладних завдань. Має можливість взаємодії з іншими програмними продуктами: Microsoft Word / Excel. Поєднує можливості створення цифрових карт для ГІС і підготовку топографічних карт до видання; містить шари, що налаштовуються, атрибути об'єктів, умовні знаки і

систему шаблонів. Доповнена модулями стереообробки. У новій версії пакету є можливість запису файлів у новому форматі кадастрового файлу In-5. Для складення цього файлу запроваджено шаблон XMLNormal.dmf [11, с. 172].

Програма «Геопроект» (Компанія «Укргеопроект») розроблена для обробки геодезичних вимірів, формування електронних карт місцевості, адміністрування і моніторингу електронних карт, обліку просторової і атрибутивної інформації про об'єкти, виводу на друк картографічної та різноманітної звітної інформації. До основних можливостей віднесено: створення цифрових векторних планів і карт, розрахунок основних видів ходів теодолітів, трансформацію координат пунктів і об'єктів, інтерполяцію горизонталей, імпорт даних із широкого спектра форматів зовнішніх даних, а також з електронних тахеометрів, потужний генератор звітів із вбудованою мовою програмування, набір шаблонів, що гнучко налаштовуються, роботу з обмінними файлами кадастрових даних у форматі IN4, можливість розширення програми з використанням API-функції, створення модулів будь-якою мовою програмування і підключення їх за допомогою бібліотек DLL та ін. [11, с. 173].

Програма «Інвент-Град» (Компанія СНПП «ИТЕС») призначена для обробки результатів польових топографо-геодезичних і кадастрових робіт, які виконуються під час інвентаризації земель. Система також може бути використана як кадастрова система населеного пункту або адміністративного району. Вона забезпечує користувачеві максимальну продуктивність, дозволяючи швидко і якісно вирішувати поставлені задачі. Її графічний інтерфейс, повністю відповідний прийнятим стандартам, забезпечує інтуїтивне розуміння системи і допомагає швидко освоїти її основні функції. Всі компоненти проекту представлені в єдиній інтегрованій базі даних, а введення і редагування даних виконується в електронних таблицях, форма яких максимально наближена до традиційних форм і може налаштовуватися на введення певної інформації [11, с. 174].

Проект КБ «ПАНОРАМА» – це набір геоінформаційних технологій, що включає в себе професійну ГІС «Карта», професійний векторизатор електронних карт «Панорама-Редактор», додаток ГІС «Сервер», призначений для забезпечення віддаленого доступу до картографічних даних, універсальний засіб розробки геопорталів різного призначення «GIS WebServer», інструментальні засоби розробки ГІС додатків для різних платформ GIS ToolKit, муніципальну ГІС «Земля і Нерухомість», систему обліку об'єктів нерухомості «ГІС «Нерухомість», систему для автоматизації управління сільськогосподарським підприємством у галузі рослинництва ГІС «Панорама АГРО», конвертори для обміну даними з іншими ГІС (DXF/DBF, MIF/MID, Shape, GML, S57/S52, MP, IN4/XML та ін.), а також спеціалізовані додатки (Internet, сільське господарство, диспетчерські системи, зв'язок, навігацію, екологічний моніторинг та ін.) [11, с. 175].

Важливою частиною геодезичних програм є група програмних комплексів із вирішення геодезичних задач [6]:

– Топоматик Robug – програма для обробки геодезичних вимірювань. Основні функції: читання даних із приладів (Sokkia, Topcon, Leica, Nikon), зрівняння теодолітних ходів, побудова цифрової моделі рельєфу, підрахунок обсягів між поверхнями, розрахунок тахеометрії, нівелювання.

– MicroSurveyFieldGenius – ефективний програмний пакет для збору даних інженерно-геодезичних вишукувань. Особливості: створення ліній без коду; підтримка «живої графіки» й інтуїтивно зрозумілий інтерфейс; ефективне виконання завдань; інструменти розрахунків: доступ до RPN-

калькулятора з будь-якого редагованого поля; підтримка численних функцій – дорожніх робіт, робіт із поверхнями, розбивки укосів, імпорту / експорту DXF і LandXML, а також підтримки роботизованих тахеометрів і GPS-приймачів.

– K-MINE – це сучасна комп'ютерна розробка, що дозволяє вирішувати завдання геопросторового аналізу даних різної складності. Забезпечує ефективність і точність у роботі за рахунок простоти використання, потужної тривимірної графіки і можливості автоматизувати трудомісткі процеси гірничого виробництва.

– Groma – призначена для геодезичних обчислень. З її допомогою можна вирішити всі геодезичні завдання. Більш того, вона дає можливість створювати просту графіку, дигіталізувати растрові дані й обробляти дані у форматах всіх застосовуваних журналів окремо і групами. Програма містить розрахункові задачі: полярний метод, ортогональний метод, груповий полярний метод, обернену засічку, обернену кутову засічку, багаторазову обернену кутову засічку, лінійну засічку, перетин прямих, всі типи полігонометричних ходів, висотні ходи, трансформацію координат, розрахунок площ, дирекційних кутів і довжин, розрахунок висот станцій, розрахунок кубатури та ін. [7].

Варто відзначити авторську програму українського розробника «Засічка 3.0». Програмний комплекс «Засічка 3.0» є інноваційним проектом у галузі інженерної геодезії. Розробка дозволяє автоматизувати обрахунок складних геодезичних задач, що значно скоротить виробничий час з обробітку матеріалів польових геодезичних робіт і підвищить якість землевпорядного виробництва [10, с. 6].

Комплекс «Засічка 3.0» містить 23 засоби вирішення задач інженерної геодезії: пряму кутову засічку (однократну, багатократну); обернену кутову засічку (однократну, багатократну); лінійну засічку; створену засічку; задачу Ганзена; полярну засічку (відстані вимірюються по рулетці); полярну засічку (відстані вимірюються по рейці); обернену геодезичну задачу; пряму геодезичну задачу; визначення параметрів перерахунку координат в іншу систему; перерахунок координат в іншу систему; координати пересічення двох прямих; відстань від точок до прямої по лінії перпендикуляру; визначення координат точок перпендикулярами від створної лінії; вираховання параметрів ланцюжка точок за їхніми координатами; центральну систему; обрахунок трикутника за трьома відомими елементами; геодезичний чотирикутник; вирахов-

вання площі замкнутої фігури за координатами кутів; вирахування замкнутого та розімкнутого теодолітних ходів; вирахування висячого теодолітного ходу; опрацювання журналу кругових прийомів; арифметичні операції з кутами. Окрім того, «Засічка 3.0» володіє таким функціоналом: роботою з векторною графікою, роботою з файлами проекту, експортом задач проекту в Digital, AutoCAD, Microsoft Word, Microsoft Excel, формуванням звітів, вимірюванням відстаней, відображенням довжин і кутів [10].

Також існує ряд програм «Геодезичний калькулятор». Прикладом такого виду програм є «Геодезичний калькулятор» у форматі Excel, створений для вирішення повсякденних завдань інженерної геодезії. Використання такого виду програми вимагає від геодезиста елементарних знань про

Excel. Книга включає в себе лист із поясненнями, до багатьох осередків додається примітка. «Геодезичний калькулятор» передбачає обчислення 22 основних геодезичних задач [6].

Геодезичний калькулятор 2.0 призначений для перетворення та трансформування координат точок між системами координат СК-42, СК-63, УСК-2000 і похідних від них місцевих систем координат у межах території України.

Висновки. Проаналізовані програмні геодезичні засоби ГІС дають можливість швидко й ефективно вирішувати землевпорядні завдання, аналізувати поточний стан задокументованого землекористування, виявляти раніше допущені недоліки та помилки, формувати масиви відомостей про земельні ділянки та права на ділянки певних землекористувачів.

Список літератури:

1. Балакірський В.Б., Захаров С.В., Литвиненко Ю.О., Куришко Р.В. Використання геодезичного обладнання та ГІС-технологій для формування геопросторових даних. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2014. Вип. 11. № 1140. С. 9–13.
2. Белятинський А.О., Утеченко Т.О., Резнік О.М. Комплекс Credo – сучасні технології для розробки проектів транспортних споруд і автошляхів. URL: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/viewFile/5089/5347>.
3. Біда П.І. Використання ГІС-технологій у землевпорядному проектуванні. *Український журнал прикладної економіки*. 2017. Т. 2. № 2. С. 120–128.
4. Геодезичні роботи при землеустрої. URL: https://geotop.com.ua/geodeziuhni-robotu-pru-zemleustroi_ua.php.
5. Геодезичні роботи в землевпорядкуванні: навч. посіб. / укл. М.П. Ранський. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2011. 92 с.
6. Геодезические программы. URL: <https://geostart.ru/geopo.htm>.
7. Groma – геодезическая программа для среды MS Windows. URL: <https://www.groma.cz/ru/showpage.php?id=groma.htm>.
8. Люльчик В.О., Качановський О.І., Булакевич С.В. Застосування геоінформаційних систем у сучасному землеустрої. *Український журнал прикладної економіки*. 2017. Т. 2. № 2. С. 129–137.
9. Програми проектування: AutoCAD і огляд альтернативного програмного забезпечення. URL: <http://navro.org/prohramy-proektuvannya-autocad-i-ohlyad-alternatyvnoho-programnoho-zabezpechennya>.
10. Русіна Н.Г., Лагоднюк Р.А. Програмний комплекс задач інженерної геодезії «Засічка 3.0». Lambert Academic Publishing, 2018. 50 с.
11. Толчевська О.Є., Коняєв Ю.Г. ГІС Технології в землеустрої *Екологічна безпека та природокористування*. 2014. Вип. 14. С. 168–179.

ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ

В статье исследуется современное программное обеспечение геодезических расчетов в землеустройстве. Компьютерные программы и комплексы оцениваются с точки зрения возможности их практической реализации в области землеустройства, а также с учетом доступности, понятности и дополнительных функций.

Ключевые слова: геодезические работы при землеустройстве, ГИС-технологии, автоматизированное проектирование, программный комплекс AutoCAD, CREDO, программа «Геопроект», Digital, «Инвент-Град», «ПАНОРАМА», «Засечка 3-0», программные комплексы по решению геодезических задач.

SOFTWARE OF GEODESY CALCULATIONS IN THE LAND MANAGEMENT

The scientific article is modern software of geodetic calculations in land management. Computer programs and complexes are evaluated in terms of their practical implementation in the field of land management, as well as in terms of accessibility, comprehensiveness and additional functions.

Key words: geodetic works in land management, GIS technology, automated design, software complex AutoCAD, CREDO, Geoproject, Digital, Invent Grad, Panorama, Zasichka 3-0 software, software solutions for geodetic solutions tasks.

Відомості про авторів

- Азаров С.І.** – доктор технічних наук Інституту ядерних досліджень НАН України;
- Андрощук С.П.** – студент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Бєляєв В.К.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження Національного університету біоресурсів і природокористування України;
- Валєвська Л.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;
- Вікуль С.І.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії та експертизи Одеської національної академії харчових технологій;
- Володченко Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент Національного університету харчових технологій;
- Гайдай А.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Галь А.Ф.** – кандидат технічних наук, професор, доцент кафедри морської логістики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Грешнов А.Ю.** – доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Гром А.О.** – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;
- Денисюк І.В.** – студент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Дурас М.В.** – аспірант Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», викладач Житомирського агротехнічного коледжу;
- Евланов В.М.** – науковий співробітник Державного підприємства «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки»;
- Єпіфанова А.С.** – аспірант кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
- Єфімова В.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Жгаллі Шариф** – аспірант кафедри «Металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій» Одеської державної академії будівництва та архітектури;
- Золотарьова О.В.** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;
- Іванченко А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;
- Інкін О.В.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;
- Казарезов А.Я.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри морської логістики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Калмазан В.Б.** – студент-магістр кафедри Експертизи харчових продуктів Національного університету харчових технологій;
- Камінська С.В.** – асистент кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій;
- Коваленко Л.О.** – кандидат технічних наук Харківського національного автомобільно-дорожного університету;

- Крива М.С.** – викладач Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Крюковська О.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності Дніпровського державного технічного університету;
- Кулагін Д.О.** – кандидат технічних наук, професор Запорізького національного технічного університету;
- Кутковецька Т.О.** – кандидат економічних наук, старший викладач Уманського національного університету садівництва;
- Лабжинська М.Ю.** – аспірант кафедри технології зберігання і переробки зерна Національного університету харчових технологій;
- Лавріщев О.О.** – аспірант Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», викладач Житомирського агротехнічного коледжу;
- Люльчик В.О.** – кандидат сільськогосподарських наук, викладач ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;
- Максимов С.Б.** – аспірант кафедри інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;
- Маркіна Л.М.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Техногенної та цивільної безпеки» Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
- Мельничук В.В.** – викладач Житомирського агротехнічного коледжу;
- Метеньканич М.М.** – студент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
- Міхно П.Б.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;
- Нападовська М.С.** – магістр кафедри технології ресторанного та оздоровчого харчування Одеської національної академії харчових технологій;
- Науменко Р.Ю.** – магістрант кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій;
- Нестеренко С.Г.** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;
- Овсянникова Л.К.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;
- Павлов Г.О.** – інженер – конструктор АТ «МОТОР СІЧ»;
- Панєнко О.М.** – асистент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Пилипенко Т.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Пойманов А.Д.** – студент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
- Поліщук М.В.** – студент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Пушка О.С.** – кандидат технічних наук, доцент Уманського національного університету садівництва;
- Радзінська Ю.Б.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;
- Рацлав В.В.** – кандидат технічних наук доцент, докторант Донбаської державної машинобудівної академії;
- Романовська О.Р.** – старший викладач кафедри гуманітарних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

Русіна Н.Г. – кандидат педагогічних наук, викладач ВСП «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;

Сидоренко М.А. – науковий співробітник Інституту газу НАН України;

Сімахіна Г.О. – професор, завідувач кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій;

Сімейко К.В. – кандидат технічних наук, докторант Інституту газу НАН України;

Соколовська О.Г. – кандидат технічних наук, асистент кафедри технології зберігання зерна Одеської національної академії харчових технологій;

Стоянов В.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій» Одеської державної академії будівництва та архітектури;

Судакова Д.О. – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету;

Тележенко Л.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології ресторанного та оздоровчого харчування Одеської національної академії харчових технологій;

Тірон-Воробйова Н.Б. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри загальнонаукових дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»;

Турінова І.В. – студент Чернігівського національного технологічного університету;

Челябієва В.М. – кандидат технічних наук, доцент Чернігівського національного технологічного університету;

Чичулін В.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка;

Чичуліна К.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри економіки підприємства та управління персоналом Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка;

Чорна А.І. – кандидат технічних наук, асистент кафедри експертизи харчових продуктів Національного університету харчових технологій;

Чумаченько Ю.Д. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології переробки зерна Одеської національної академії харчових технологій;

Шаульський Д.В. – аспірант кафедри Земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Шевчук В.В. – кандидат технічних наук, старший викладач Уманського національного університету садівництва;

Школьнікова Т.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Штефан В.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Науковий журнал

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

Серія: Технічні науки

Том 30 (69) № 1 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

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 14,87. Ум.-друк. арк. 19,76. Зам. № 0219/35

Підписано до друку 12.02.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.