

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

Журнал заснований у 1918 році

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

Серія: Технічні науки

Том 29 (68) № 4 2018

Частина 2

**Київ
2018**

Головний редактор:

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 2 від 28.09.2018 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)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ЗМІСТ

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Тарасенко Я.В.

МОДЕЛЮВАННЯ СИНТАКСИЧНИХ СТРУКТУР ДЛЯ АТАКИ
СЕМАНТИЧНИМ СТИСНЕННЯМ НА ЛІНГВІСТИЧНУ СТЕГОСИСТЕМУ.....1

Ткаченко В.В., Уліцька О.О.

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАРИ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЗВУЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТА РІЗНИЦІ ТЕМПЕРАТУР ВОДИ ПЕРШОГО КОНТУРУ..... 6

Томашевский Р.С.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕДУРЫ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ..... 11

Топалов А.М., Кондратенко Ю.П., Козлов О.В.

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДАТЧИКІВ
РІВНЯ БАЛАСТНОГО КОМПЛЕКСУ ПЛАВУЧОГО ДОКУ.....19

Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дозорська О.Ф.

МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ БІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ
ВІДНОВЛЕННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ЛЮДИНИ..... 26

ЕНЕРГЕТИКА

Бойко С.М., Носач І.В., Кірюхіна М.В., Хебда А.С.

ЩОДО ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ
В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ..... 31

Дурас М.В.

ТИПИ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
УКРАЇНИ ТА СПОСОБИ ЇХ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО СПОЖИВАЧІВ..... 36

Кириленко М.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМОІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ..... 41

Комарчук Д.С.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ
ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ.....46

Кулик М.П.

КОМБІНОВАНА ПГТУ ЗМІННОЇ СТРУКТУРИ
ЯК ЕЛЕМЕНТ ШВИДКОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ..... 53

Кучма В.С., Погосов О.Ю.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЩОДО ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ
БОРНОГО ПОГЛИНАЧА НЕЙТРОНІВ У ТЕПЛОНОСІЇ ЯЕУ З ВВЕР-1000.....58

Лаврішев О.О.

ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ У ТВАРИННИЦТВІ
ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОГОГО ЕЛЕКТРОФІЛЬТРУ..... 63

Щербина В.Ю., Швачко Д.Г.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБЕРТОВИХ ТЕПЛОВИХ АГРЕГАТІВ 68

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Косенко А.В., Тарасютін В.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ РУДИ
НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ 73

МЕТАЛУРГІЯ

Зінченко В.Ю., Іванов В.І., Нестеренко Т.М., Чепрасов О.І., Каюков Ю.М.

ПРО УПРАВЛІННЯ СТАДІЙНИМ СПАЛЮВАННЯМ ПАЛИВА В МЕТОДИЧНИХ ПЕЧАХ.....80

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Вікуль С.І., Антіпіна О.О.

ГРЕЙПФРУТОВИЙ СІК ЯК БІОЛОГІЧНО АКТИВНИЙ СКЛАДНИК ФРЕШ-МІКСІВ..... 85

Гомеля Н.Д., Іванова В.П., Іваненко Е.И., Галимова В.М.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРОМЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ
В ПРОЦЕССАХ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ..... 94

Гомеля М.Д., Петриченко А.І., Шаблій Т.О.

ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ АМОНІУ З ВОДИ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ..... 99

Петриченко А.И., Гомеля Н.Д., Радовенчик Я.В.

УДАЛЕНИЕ ФОСФАТОВ ИЗ ВОДЫ МЕТОДОМ
ХИМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ..... 106

Фролова Л.А., Півоваров О.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ СИНТЕЗУ СИНЬОГО АЛЮМОКОБАЛЬТОВОГО ПІГМЕНТУ..... 111

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Дорохович А.М., Горзей О.В.

ВИКОРИСТАННЯ ДИ- І МОНОСАХАРИДІВ
ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ФРУКТОВОЇ НАЧИНКИ ДЛЯ МАФІНІВ..... 115

Маринін А.І., Прохоренко Ж.І., Святненко Р.С., Мартиненко Т.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ЕГО
НА МІКРОФЛОРУ СОКОСТРУЖКОВОЇ СУМІШІ 121

Миколенко С.Ю., Козяр Ю.В.

РОЗРОБЛЕННЯ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПЕЧИВА
НА ОСНОВІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВИДІВ БОРОШНА..... 125

Силка І.М., Кирпіченкова О.М., Карпенко В.О.

СТРАВИ УКРАЇНСЬКОЇ КУХНІ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОГО ХАРЧУВАННЯ..... 131

Сімахіна Г.О.

КОМБІНУВАННЯ СКЛАДУ ЗАМОРОЖЕНИХ ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ СУМІШЕЙ
ЗА ПРИНЦИПАМИ ХАРЧОВОЇ КОМБІНАТОРИКИ 136

ТРАНСПОРТ

Прокудін Г.С., Ремех І.О., Майданик К.О., Редіч Ю.А.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВАНТАЖНОГО МИТНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОЕТАПНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ..... 142

Санницький Н.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ПРИВАТНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ..... 147

Турпак С.М., Васильєва Л.О., Падченко О.О., Лебідь Г.О.
ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ВІДВАНТАЖЕННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ
МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....156

Шелудченко Л.С., Чинчик О.С., Поліщук Д.В.
ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОЗНАКИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ
ТА ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИДОРОЖНЬОЇ ТЕРИТОРІЇ..... 163

БУДІВНИЦТВО

Арсеньєва Н.О.
АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ
НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПІД ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ.....167

Менейлюк А.И., Петровский А.Ф., Борисов А.А., Кирилюк С.В.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
СО ШНЕКОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ.....172

ЕЛЕКТРОНІКА

Кутова О.Ю., Душейко М.Г., Шкель К.О., Тимофєєв В.І.
ШВИДКИЙ АНАЛІЗ СРБ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОСЕНСОРА НА ОСНОВІ ІСПТ.....176

Ямненко Ю.С., Онищенко О.М.
БІОТЕЛЕМЕТРИЧНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ.....181

Яненко М.В.
КЛАСИФІКАЦІЯ РУХІВ ПАЛЬЦЯМИ НА ОСНОВІ
ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ МОЗКОВОЇ АКТИВНОСТІ186

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Tarasenko Ya.V.

SYNTACTIC STRUCTURE SIMULATION FOR SEMANTIC
COMPRESSION-BASED ATTACK ON THE LINGUISTIC STEGOSYSTEM1

Tkachenko V.V., Ulitska O.O.

COMPARISON OF THE METHOD OF MEASURING THE STEAM FLOW USING
A NARROWING DEVICE AND THE DIFFERENCE IN THE WATER TEMPERATURE
OF THE PRIMARY CIRCUIT6

Tomashevskiy R.S.

EVALUATION OF OPPORTUNITY BIOMEPEDOMSOMETRY
FOR MONITORING OF ULTRAFILTRATION PROCEDURE11

Topalov A.M., Kondratenko Y.P., Kozlov O.V.

COMPUTERIZED SYSTEM FOR REMOTE DIAGNOSTICS OF LEVEL SENSORS
IN THE FLOATING DOCK BALLAST COMPLEX.....19

Yavorska Ye.B., Dozorskiy V.G., Dediv L.Ye., Dozorska O.F.

THE METHOD OF BIOSIGNALS PROCESSING
FOR THE TASK OF HUMAN COMMUNICATIVE FUNCTION RESTORING26

POWER ENGINEERING

Boiko S.M., Nosach I.V., Kirukhina M.V., Khebda A.S.

THE PROBLEM OF FORMATION OF SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION
IN THE IRON COMPANY31'

Duras M.V.

TYPES OF UKRAIANAIN AUTONOMOUS ELECTRIC ENERGY SOURCES
AND HOW TO CONNECT THEM TO CONSUMERS36

Kyrylenko M.V.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF PNEUMATICPULSE TECHNOLOGIES41

Komarchuk D.S.

DEVELOPING OF THE ALGORITHM OF USE THE FUZZY NEURAL NETWORK
FOR THE DETERMINATION OF THE ENERGY EFFICIENT MODES
OF THE OPERATION BY ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX
OF INDUCTION HEATING OF DISPERSE MATERIALS46

Kulyk M.P.

COMBINED CYCLE GAS AND STEAM TURBINE UNIT OF A VARIABLE STRUCTURE
AS AN ELEMENT OF QUICK OVERHAUL OF HEAT POWER ENGINEERING OF UKRAINE53

Kuchma V.S., Pohosov O.Yu.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF MEASURING THE CONCENTRATION
OF BORON ABSORBER OF NEUTRONS IN THE COOLANT OF A NUCLEAR
POWER REACTOR FROM THE VVER-1000.....58

Lavryshchev O.O.

REDUCTION OF ENERGY COSTS IN LIVESTOCK PRODUCTION DUE
TO THE USE OF A WET ELECTRIC FILTER.....63

Shcherbyna V.Yu., Shvachko D.G.

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF ROTARY HEAT GENERATORS.....68

RESOURCE DEVELOPMENT

Kosenko A.V., Tarasyutin V.M.

INVESTIGATION OF THE ORE DRAWING ON THE BASIS OF PHYSICAL SIMULATION79

METALLURGY

Zinchenko V.Yu., Ivanov V.I., Nesterenko T.N., Cheprasov A.I., Kayukov Yu.N.

ABOUT THE CONTROL OF STAGED FUEL COMBUSTION IN METHODICAL FURNACES80

CHEMICAL TECHNOLOGY

Vikul S.I., Antipina O.O.

GRAPEFRUIT JUICE AS A BIOLOGICALLY ACTIVE PART OF FRESH-MIXES85

Gomelya N.D., Ivanova V.P., Ivanenko E.I., Galimova V.M.

EFFICIENCY OF USING BAROMEMBRANE METHODS
IN THE PROCESSES OF DEEP WATER TREATMENT FROM IONS OF HEAVY METALS94

Gomelia M.D., Petrychenko A.I., Shabliy T.O.

REMOVAL OF AMMONIUM IONS FROM WATER BY ELECTROLYSIS99

Petrychenko A.I., Gomelya N.D., Radovenchik Ya.V.

REMOVAL OF PHOSPHATES FROM WATER
BY CHEMICAL AND ELECTROLYTIC DEPOSITION106

Frolova L.A., Pivovarov O.A.

STUDYING CONDITIONS OF SYNTHESIS OF BLUE COBALT ALUMINATE PIGMENT111

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Dorohovych A.M., Horzei O.V.

THE USING OF DI- AND MONOSACCHARIDES IN THE PRODUCTION
OF FRUIT FILLING FOR MUFFINS115

Marynin A.I., Prokhorenko Zh.I., Sviatnenko R.S., Martynenko T.A.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ITS MODES
ON THE MICROFLOOR OF SOCOPLASTIC MIXTURE.....121

Mykolenko S.Yu., Koziar Yu.V.

DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE COOKIES MADE WITH NON-TRADITIONAL FLOUR125

Silka I.N., Kyrpichenkova O.N., Karpenko V.A.

UKRAINIAN CUISINE IN THE CONTEXT OF MODERN NUTRITION131

Simakhina G.O.

COMBINING THE INGREDIENTS OF FROZEN FRUIT
AND BERRY MIXTURES ACCORDING TO THE PRINCIPLES OF FOOD COMBINATORICS136

TRANSPORT

Prokudin G.P., Remekh I.O., Maidanik K.O., Redich Y.A.

OPTIMIZATION OF THE FREIGHT CUSTOMS COMPLEX
THROUGH THE USE OF MULTI-STAGE TRANSPORT TASK142

Sannytskyy N.M.

THE RESEARCH OF THE EFFECTIVENESS
OF THE USE OF PRIVATE LOCOMOTIVES ON THE UKRAINIAN RAILWAYS147

Turpak S.M., Vasileva L.O., Padchenko O.O., Lebid H.O.
INVESTIGATION OF THE MICRO-LOGISTIC SYSTEM OF SHIPMENT
OF FINISHED PRODUCTS OF METALLURGICAL ENTERPRISE156

Sheludchenko L.S., Chinchik O.S., Polishchuk D.V.
FUNCTIONAL CHARACTERS OF THE MOTOR VEHICLE FLOW
AND WAYS OF PROVIDING ENVIRONMENTAL SAFETY
OF THE TRANSITIONAL TERRITORY163

CONSTRUCTION

Arsenieva N.O.
ANALYSIS OF THE ASPHALT LAYERS STRESS-STRAIN STATE
OF FLEXIBLE PAVEMENT WHEN HER DESIGNS MODELLING167

Meneyluk O.I., Petrovsky A.F., Borisov A.A., Kirilyuk S.V.
THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR CONDUCTING EXPERIMENTS
WITH SCREW EQUIPMENT172

ELECTRONICS

Kutova O.Y., Dusheiko M.H., Shkel K.O., Timofeyev V.I.
RAPID CRP ANALYSIS USING ISFET BIOSENSOR176

Yamnenko Yu.S., Ony'shhenko O.M.
BIOTELEMETRIC MODULE FOR LOCAL WIRELESS NETWORKS181

Yanenko M.V.
CLASSIFICATION OF FUEL MOVEMENTS BASED
ON PARAMETRIC MODEL OF CARBON ACTIVITY186

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 003.26

Тарасенко Я.В.

Черкаський державний технологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ СИНТАКСИЧНИХ СТРУКТУР ДЛЯ АТАКИ СЕМАНТИЧНИМ СТИСНЕННЯМ НА ЛІНГВІСТИЧНУ СТЕГОСИСТЕМУ

Формалізується задача отримання вхідних даних для дискурсного аналізу в процесі синтаксичного дослідження для атаки семантичним стисненням на лінгвістичну стегосистему. Конкретизується метод моделювання стеганографічних об'єктів для потреб та задач комп'ютерного лінгвістичного стегоаналізу. Подальшого розвитку набуває підхід синтаксичного аналізу для інформаційно-пошукової системи. Робиться висновок про можливе однотипне застосування моделювання для проведення атаки на будь-яку лінгвістичну стегосистему, що заснована як на морфологічних чи семантичних, так і на методах довільних інтервалів. Доводиться ефективність подібного моделювання у програмному комплексі проведення атаки на лінгвістичну стегосистему за рахунок інтеграції у середовище дискурсного аналізу.

Ключові слова: дискурсний аналіз, атака семантичним стисненням, лінгвістична стегосистема, моделювання стегооб'єктів, комп'ютерний стегоаналіз, синтаксичний аналіз.

Постановка проблеми. Зі зростанням кількості текстової інформації, що передається мережею Інтернет, зростає імовірність несанкціонованого обміну даними та витоку секретної інформації, інакше кажучи, набуває розвитку та поширення текстова стеганографія. Той факт, що найбільш популярний сьогодні напрям вбудовування стегоповідомлення у зображення зі значною надлишковістю [1] сприяє розвитку методів стегоаналізу та проведення атак на стегосистему саме у цьому напрямі. Звідси слідує, що текстовій стеганографії приділено значно менше уваги, тому імовірність вдалого передання стегоповідомлення, використовуючи текст контейнером значно збільшується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В.Г. Грибунін в [2] описує математичну модель стегосистеми взагалі, яку можна застосовувати до конкретних часткових випадків. Що стосується стегоаналізу саме текстової інформації, лінгвістичної стеганографії, то в цьому разі з методами, заснованими на дослідженні імовірнісно-статистичних характеристик [3; 4] чи методами, що базуються на частотному дослідженні [5], не менш важливу групу теж складають методи, пов'язані з математичним моделю-

ванням [6]. П.І. Аношин одним із двох підходів до вирішення проблеми синтаксичного аналізу виділяє імовірнісно-статистичний [7]. Це доводить той факт, що будь-який лінгвістичний аналіз тексту, зокрема синтаксичний (за основу моделі синтаксичної структури можна взяти дерево прийняття рішень, описане в [8]) є сам по собі атакою на текстову стегосистему.

Моделювання досить часто зустрічається в лінгвістиці для формального опису певного лінгвістичного процесу чи явища [9]. Водночас формалізації потребує процес отримання інформації під час синтаксичного стеганографічного дослідження.

Є.В. Разінков у дисертації на тему «Математичне моделювання стеганографічних об'єктів і методи вирахування оптимальних параметрів стегосистем» [10] стверджує, що чим більш чітка модель стегоконтейнерів є у фахівця стеганографа, тим більш стійку стегосистему він може побудувати, проте це твердження правдиве і коли йдеться про зворотну ситуацію, де ефективність стегоатаки пропорційно залежить від якості моделі стегосистеми, наявної у стегоаналітика [10]. У разі автоматизованого стегоаналізу це стосується ефективності побудови

моделі стегосистеми програмою. Тобто система стегоаналізу повинна будувати декілька імовірних стегосистем та порівнювати результати з досліджуваним текстом. Так, можливо визначити метод приховування повідомлення, тобто існуватиме шанс його розшифрування. В іншому випадку повідомлення буде видалено, що змусить зломисника повторити передання, використовуючи інший алгоритм. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розроблення підходів для проведення атаки проти вбудованого повідомлення [2] у текст природної мови за допомогою лінгвістичних засобів та реалізації цих підходів і методів у програмному комплексі проведення атаки на лінгвістичну стегосистему [11]. Для більш ефективного опису методу необхідним є формалізація певних процесів, що є основою для проведення атаки семантичним стисненням.

Подальшого розвитку набуває метод синтаксичного аналізу [8], зокрема адаптується для врахування можливості застосування синтаксичних засобів стеганографії.

Постановка завдання. Метою статті є формалізація задачі отримання вхідних даних для дискурсного аналізу в процесі синтаксичного дослідження для проведення атаки семантичним стисненням на лінгвістичну стегосистему. Крім того, на прикладі моделювання синтаксичних структур необхідно дослідити особливості та переваги такого підходу для атаки на будь-яку іншу лінгвістичну стегосистему в програмному комплексі, що забезпечує протидію широкому спектру загроз, спричинених методами лінгвістичної стеганографії.

Для досягнення мети перед роботою були поставлені такі завдання:

- 1) визначення моделі можливих синтаксичних структур лінгвістичної стегосистеми;
- 2) визначення дій, у разі повного та неповного співпадіння змодельованої стегосистеми та досліджуваної структури;
- 3) дослідження шляху остаточного прийняття рішення про наявність прихованого повідомлення у конструкції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одне з можливих результативних застосувань моделювання стосується атаки на лінгвістичну стегосистему, в якій використано синтаксичні методи стеганографії. Така атака базується на імовірнісно-статистичному дослідженні синтаксичної структури, доведення ефективності якого для задоволення потреби синтаксичного

аналізу в межах задач стеганографії описано в [12]. Практичне використання та застосування цього підходу описано в [8]. Крім того, синтаксична синонімія, що визначається на етапі синтаксичного аналізу, також основана на моделюванні імовірних синтаксичних конструкцій одного і того ж речення. Основною особливістю такого підходу є інтеграція у середовище дискурсного аналізу за рахунок побудови дерева відповідності та спрощення процесу прийняття рішень щодо дій, направлених на видалення повідомлення програмними засобами, які реалізують автоматизовану атаку на лінгвістичну стегосистему [11].

Можна взяти за основу найпростіший випадок використання дерева прийняття рішень (рис. 1) для синтаксичного аналізу, описаного у [8].

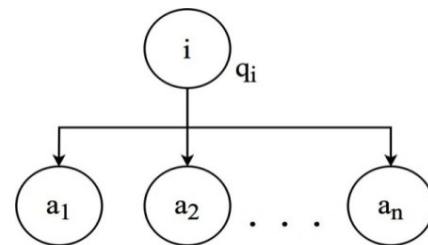


Рис. 1. Найпростіше дерево прийняття рішень

де q_i – деяке питання, на яке відповідає вузол i , a_n можливі відповіді. Адже, що стосується побудови імовірнісного дерева відповідностей під час визначення синтаксичної структури, слід будувати також декілька імовірних дерев, наприклад, у [13], кожне з яких відповідає можливості застосування тих чи інших синтаксичних прийомів стеганографії. Інакше кажучи, проводити моделювання імовірної синтаксичної атаки і порівняння досліджуваного речення з побудованими моделями. Також необхідно врахувати, що генерацію моделі стегосистеми в загальному випадку можна описати формулою (1), що згадується у [2].

$$F : I^* \times K^* \times B^* \rightarrow W^*, \quad (1)$$

де W^* , K^* , I^* , B^* – множини можливих цифрових водяних знаків, ключів, контейнерів та стегоповідомлень відповідно. Тоді побудова дерева відповідностей з урахуванням властивостей стеганографії можна зобразити використовуючи декілька послідовних дерев відповідності, кожне з яких моделює можливу синтаксичну структуру під час використання тих чи інших методів стеганографії. Разом дерева відповідності (рис. 2) утворюють систему, що допомагає визначити імовірність використання синтаксичних методів стеганографії.

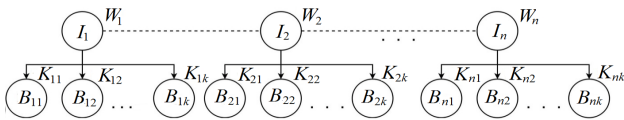


Рис. 2. Древа відповідностей при моделюванні можливих стегосистем

W_n – множина n можливих стегосистем у досліджуваному реченні; n – кількість можливих синтаксичних структур; k – кількість можливих гілок в кожному з n дерев; B_{nk} – стегоповідомлення, приховане у відповідному члені речення; K_{nk} – імовірний ключ для приховування повідомлення B_{nk} ; – I_n контейнер, відповідний вузлу у реченні. У такому разі моделююча стегосистему функція буде мати вигляд (2).

$$F_n : I_n \times K_{nk} \times B_{nk} \rightarrow W_n \quad (2)$$

Отже, кожне досліджуване речення, для якого будується дерево відповідності порівнюється з моделлю можливої стегосистеми, що описується функцією і у разі, коли порядок слів у реченні, його структура повністю відповідає змодельованій стегосистемі, побудованій із використанням структурних елементів цього речення, робиться висновок про можливість приховування повідомлення у ньому. Коли синтаксична структура досліджуваного речення співпадає зі змодельованим лише частково, виникає необхідність виділення найменш імовірних місць приховування стегоповідомлення. Цього можна досягти під час дослідження від зворотного, тобто порівняти усі змодельовані стегосистеми між собою і, знайшовши спільне, визначити вірогідну модель стегосистеми (рис. 3).

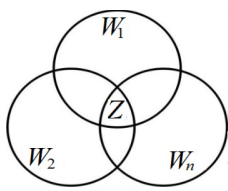


Рис. 3. Визначення вірогідної моделі стегосистеми

Остаточне рішення приймається за допомогою використання кругів Ейлера, де W_1, W_2, \dots, W_n – моделі стегосистеми, за кожен з яких відповідає свій круг. Моделі відрізняються застосуванням синтаксичним методом стеганографії та місцем, де можливо приховати повідомлення. Z – область збігу змодельованих стегосистем. У такому разі можна зробити висновок, що спільні незмінні елементи для усіх стегомоделей є тими елементами, які можуть бути модифіковані засобами стеганографії з найменшою імовірністю, оскільки використання іншого методу чи моделі стего-

системи означатиме зміну засобів приховування повідомлення, тому зміну лексичних одиниць і (або) синтаксичної структури окремих речень чи семантичної структури усього тексту.

Z визначається за формулою (3) перетином n змодельованих множин, кожна з яких є можливою синтаксичною стегосистемою.

$$Z = W_1 \cap W_2 \cap \dots \cap W_n \quad (3)$$

Виявлення не лише факту наявності стегоповідомлення, а і методу та точного місця його приховування дає змогу не тільки його видаляти, але і змінювати чи розшифровувати, знайшовши ключ. Моделювання не може стовідсотково гарантувати виявлення повідомлення. Наприклад, у роботі [6] зазначається точність стегоаналізу, що дорівнює 92%. Таким чином, можна стверджувати про наявність помилок як першого, так і другого роду. Проте в комплексі з іншими засобами стегоаналізу, що підвищують цю точність, ефективність проведення атаки зростає.

Очевидно, процес моделювання може негативно відобразитись на комп'ютерній системі, яка реалізує автоматизований стегоаналіз у вигляді збільшення часу оброблення інформації. Проте ефективність будь-якої атаки компенсує ці негативні прояви та відкриває широкий спектр можливих застосувань моделювання стегооб'єктів для атаки на будь-яку лінгвістичну стегосистему.

Висновки. У роботі формалізовано задачу отримання вхідних даних для дискурсного аналізу в процесі синтаксичного дослідження для проведення атаки семантичним стисненням на лінгвістичну стегосистему.

Під час роботи визначено модель можливих синтаксичних структур лінгвістичної стегосистеми, що є деревами відповідностей, змодельованими на основі потенційних структур досліджуваного речення, у яких можливе приховування стегоповідомлення тим чи іншим методом синтаксичної стеганографії.

У разі повного співпадіння досліджуваного та змодельованого речення робиться висновок про високу імовірність використання параметрів, що застосовувались під час моделювання цього речення, у разі часткового збігу, точність стегоаналізу підвищується за рахунок застосування кругів Ейлера, на основі чого приймається остаточне рішення про наявність стегоповідомлення у реченні.

Крім того, на прикладі моделювання синтаксичних структур досліджено можливість використання такого підходу за умов атаки на будь-яку іншу лінгвістичну стегосистему для застосування

у програмному комплексі, що забезпечує протидію широкому спектру загроз, спричинених методами лінгвістичної стеганографії. Виявлено, що запропонований у статті підхід найкраще інтегрується у середовище дискурсного аналізу за рахунок побудови дерева відповідності та спрощує процес прийняття рішень щодо дій, направлених на видалення повідомлення комп'ютерними системами, які реалізують автоматизовану атаку на лінгвістичну стегосистему.

Отримані результати дають можливість практично застосовувати метод моделювання стега-

нографічних об'єктів та імовірнісний синтаксичний аналізатор для потреб комп'ютерного лінгвістичного стегоаналізу тексту, модифікованого засобами синтаксичної стеганографії, а також підтверджують можливе ефективне застосування для проведення атаки на стегосистему, основу на морфологічних, семантичних методах чи методах довільних інтервалів та протидії їм у програмному комплексі проведення атаки на лінгвістичну стегосистему шляхом видалення будь-якого стегоповідомлення, наявного у тексті.

Список літератури:

1. Ахмаметьєва Г.В., Мурова В.В. Удосконалення стегоаналітичного методу виявлення вкладень додаткової інформації в цифрових зображеннях, заснованого на аналізі послідовних тріад кольірних триплетів. Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2017. Том 7. № 3. С. 187–194.
2. Грибунин В.Г., Оков І.Н., Туринцев І.В. Цифровая стеганография. Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. 263 с.
3. A Statistical Algorithm for Linguistic Steganography Detection Based on Distribution of Words / Z. Chen, L. Huang, Z. Yu [et al.] // Availability, Reliability and Security: proceedings of III international conference (Barcelona, Spain, 4–7 March 2008). Berlin, 2008. P. 558–563.
4. Linguistic Steganography Detection Using Statistical Characteristics of Correlations between Words / Z. Chen, L. Huang, Zh. Yu [et al.] // Information Hiding: revised selected papers of X international workshop, IH 2008 (Santa Barbara, USA, 19–21 May 2008). Berlin, 2009. Vol. 5284. P. 224–235.
5. Chen Z., Huang L., Yang W. Detection of substitution-based linguistic steganography by relative frequency analysis. Digital investigation. 2011. № 8 (1). P. 68–77.
6. Linguistic Steganography Detection Based on Perplexity / P. Meng, L. Huang, Z. Chen [et al.] // Proceedings of International Conference on MultiMedia and Information Technology (Three Gorges, China, 30–31 December 2008). Berlin, 2008. P. 217–220.
7. Аношин П.И. Автоматический анализ текстов. Синтаксический и семантический анализ. Евразийский научный журнал. 2017. № 6. С. 211–213.
8. Андреев А.М., Березкин Д.В., Брик А.В., Кантонистов Ю.А. Вероятностный синтаксический анализатор для информационно-поисковой системы. Компьютерная хроника. 1999. № 1. С. 37–85.
9. Поветкина Ю.В. Моделирование как метод лингвистического исследования. Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2012. № 6 (17). С. 132–136.
10. Разинков Е.В. Математическое моделирование стеганографических объектов и методы вычисления оптимальных параметров стегосистем: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18. Казань, 2012. 17 с.
11. Тарасенко Я.В. Программний комплекс проведення атаки на лінгвістичну стегосистему. Безпека інформації. 2018. № 24 (1). С. 56–61.
12. Федотова-Півень І.М., Тарасенко Я.В. Шляхи задоволення потреб сучасної кібербезпеки в рамках протидії методам комп'ютерної лінгвістичної стеганографії. Безпека інформації. 2017. № 23(3). С. 190–196.
13. Bird S., Klein E., Loper E. Natural Language Processing with Python: Analyzing Text with the Natural language Toolkit. Sebastopol: O'Reilly Media, 2009. 504 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ АТАКИ СЕМАНТИЧЕСКИМ СЖАТИЕМ НА ЛИНГВИСТИЧЕСКУЮ СТЕГОСИСТЕМУ

Формализується задача отримання входних даних для дискурсного аналізу в процесі синтаксического дослідження для атаки семантичним сжатием на лінгвістическую стегосистему и конкретизируется метод моделювання стеганографіеских об'єктів для нужд и задач комп'ютерного лінгвістического стегоаналіза. Дальнейшее развитие получает подход синтаксического аналізу для інформаційно-поисковой системы. Делается вывод о возможном однотипном применении моделювання для проведения атаки на любую лінгвістическую стегосистему, основанную как на морфологических или семантических так и на методах произвольных интервалов. Доказывается эффективность подобного моделювання в программном комплексе проведения атаки на лінгвістическую стегосистему за счет интеграции в среду дискурсного аналізу.

Ключевые слова: дискурсний аналіз, атака семантическим сжатием, лінгвістическая стегосистема, моделювання стегооб'єктів, комп'ютерний стегоаналіз, синтаксический аналіз.

**SYNTACTIC STRUCTURE SIMULATION FOR SEMANTIC
COMPRESSION-BASED ATTACK ON THE LINGUISTIC STEGOSYSTEM**

The work is associated with the formalization of the input data obtaining task for discursive analysis in the process of syntactic research for carrying out an attack by semantic compression on a linguistic stegosystem and specification of the steganographic objects simulation method for the needs and tasks of computer linguistic steganalysis. The further development of the syntactic analysis approach for the information retrieval system is carried out. It is made a conclusion that a simulation may be used for the same kind of attack on any linguistic stegosystem that is based either on morphological or semantic methods or on random interval methods. The effectiveness of such an application in the program complex for attacking the linguistic stegosystem due to integration into the environment of discourse analysis is proved.

Key words: *discursive analysis, attack by semantic compression, linguistic stegosystem, modeling of stegoobjects, computer steganalysis, syntactic analysis.*

УДК 681.51

Ткаченко В.В.

Одеський національний політехнічний університет

Уліцька О.О.

Одеський національний політехнічний університет

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗВУЖУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТА РІЗНИЦІ ТЕМПЕРАТУР ВОДИ ПЕРШОГО КОНТУРУ

Під час експлуатації парогенераторів працюючих спільно з ядерними реакторами ВВЕР-1000 атомних електростанцій, виникає проблема удосконалення технологій та розроблення нових методів, які б упровадились на АЕС. Під час ППР завжди провадиться наладка та перевірка вимірюючих приладів. Таким чином, актуальною стає питання вдосконалення технологій. Зроблено порівняння методів вимірювання витрати пари на виході з парогенератору.

Ключові слова: парогенератор, ВВЕР-1000, рівень, витрата, пара, АЕС.

Постановка завдання. Ефективне управління парогенераторами (далі – ПГ) АЕС із ВВЕР у нормальних і аварійних режимах значною мірою забезпечує динамічну стійкість системи регулювання як окремого котлоагрегату, так і всього енергоблоку. Найважливіший параметр, від якого залежить виконання цих функцій, рівень води в ПГ, який повинен підтримуватися на певному нормованому значенні. У горизонтальному ПГ забезпечується більша площа дзеркала випаровування, полегшує сепарацію вологи з пари, природна циркуляція робочого тіла підвищує надійність установки, хоча і призводить до деякого збільшення розмірів ПГ.

Метою статті є порівняння вимірювання витрати пари класичним методом за допомогою звужуючого пристрою (сопла) та опосередковане вимірювання витрати за інформацією різниці температур води першого контуру при вході та виході в парогенератор ПГВ – 1000.

Вступ. Управління ділянкою живлення ПГ АЕС із ВВЕР, що складається з чотирьох парогенераторів із регулюючими живильними клапанами (далі – РПК) перед кожним ПГ натепер здійснюється двома автоматичними системами регулювання: рівня води і продуктивності поживних турбонасосів (далі – ПТН). Робота цих систем взаємопов'язана через об'єкт управління, проте налаштовуються вони індивідуально незалежно один від одного. При глибоких внутрішніх і зовнішніх збурень ці системи регулювання не можуть забезпечити підтримку технологічних параметрів у межах нормальної ек-

сплуатації, що призводить до розвантаження або зупинки енергоблоку й економічних втрат [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моделювання реактора типу ВВЕР-1000 є дуже актуальним питанням. Багато статей присвячено дослідженням моделювання поведінки твела реактора в різних режимах навантаження [2], удосконалення автоматизованої системи управління потужністю енергоблоку АЕС для експлуатації в маневрених режимах добового циклу [3], моделювання енергоблоку з ВВЕР-1000 як об'єкт управління потужністю [4], моделювання тепломасообмінних процесів у парогенераторі ПГВ -1000 [5]. Однак недослідженим залишалося питання модернізації вимірювання параметрів у парогенераторі.

Опис об'єкта дослідження. Водоводяний реактор складається з двох непересічних контурів. Першим контуром і є реактор, в якому завантажено ядерне паливо. Крім того, в цей же контур включається парогенератор і насоси, які дозволяють перекачувати воду, що знаходиться під тиском.

У першому контурі водоводяного реактора вода розігрівається до 320 С, рідкий стан води підтримується за рахунок тиску в 16 МПа.

Вода, нагріта за рахунок реакції поділу ядер атомів, рухається по трубах до парогенератору. Там вона, перетворюючись на пару, і підігріває колектор із водою другого контуру. Завдяки такій технології радіоактивна вода не потрапляє в другий контур.

Нагріта паром першого контуру вода, потрапляє в парогенератор 2 контуру, де її темпера-

тура дорівнює 280°C, а тиск 6,4 МПа. В такому стані пар продовжує рухатися по трубах другого контуру і досягає турбіни, під час розкручування якої утворюється електричний струм [6].

Регулювання живлення в кожному з парогенераторів зводиться до підтримки матеріального балансу між відводом пари, продувкою і подачею живильної води. Параметром, що характеризує матеріальний баланс, є рівень води в ПГ.

Розглянемо принципову схему АСР і вибір закону регулювання

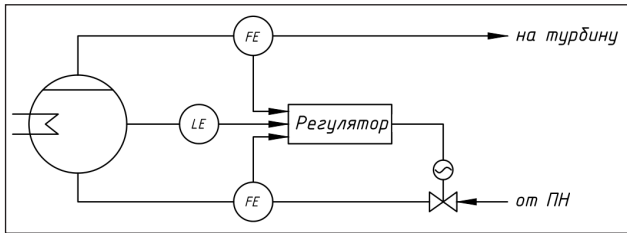


Рис. 1. Принципова схема 3-х імпульсної АСР

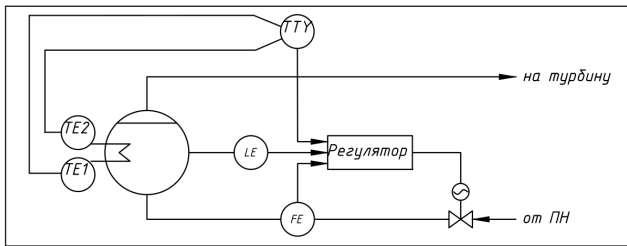


Рис. 2. Модернізована схема 3-х імпульсної АСР

Під час формування керуючого впливу на вхід регулятора подається сигнал за трьома каналами: канал витрати пари, канал витрати живильної води та канал по рівня води другого контуру в парогенераторі. На рисунку 2 переставлена аналогічна схема, але сигнал з витрати пари отримуємо за допомогою розрахунку різниці температур води першого контуру на вході та виході з парогенератора. Далі для регулювання рівня застосовується регулятор з ПІ-закон регулювання з уведенням у регулятор безінерційного зворотного зв'язку з витрати живильної води, що забезпечує ПІ-закон регулювання, з коректором з витрати пари.

Оскільки застосування пропорційно-інтегрального (далі – ПІ) закону регулювання для астатичного об'єкта з явищем «набухання» не забезпечує необхідної якості регулювання (тривалі слабо затухаючі коливання рівня при ступінчастому вхідному збурення). Інтегральний (І) закон також дає погану стійкість системи. Пропорційний (далі – П) закон не допустимий через статичну помилку регулювання. Тому для регулювання рівня в ПГ застосовують комбіновану АСР.

Розрахуємо налаштування 3-х імпульсної АСР рівня. Для вимірювання витрати пари і води були обрані витратоміри з межами вимірювання 0 – 555 кг / с (0 – 2000 т / год) і вихідним сигналом 4–20 мА. Отже, коефіцієнт передачі витратомірів складає $K_D=K_G = 16.8 / 408 = 0,0411 \text{ мА}\cdot\text{с}/\text{кг}$. (4.1-б)

Рівень у ПГ вимірюється датчиком перепаду тиску типу «Сафір М» 2161 за малим рівнеміром з межею вимірювання 0-1000 мм, використовуючи двокамерну вирівнювальну посудину. Отже, коефіцієнт передання рівнеміра становить: $K_L=8.3 \text{ мА}/\text{м}$.

2) передатна функція умовного об'єкта за регулюючим каналом «витрата пари G_{III} – рівень L»

$$W(s) = \frac{K_{об}}{T_{об} \cdot s + 1}$$

$$K_{об} = \frac{\Delta t}{\Delta G_{III}} = \frac{31}{21200} = 0.00146$$

$$\Delta t = t_{вх} - t_{вих} = 320 - 389 = 31^\circ\text{C}$$

$$\Delta G_{III} = 21200 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$W(s) = \frac{0.00146}{s + 1}$$

3) передатна функція умовного об'єкта по регулюючому каналу «витрата живильної води G_{IV} – рівень L».

$$W(s) = \frac{B_1}{s} e^{-\tau s} = \frac{37 \cdot 10^{-6}}{s} e^{-20s}$$

4) по формулі А.П. Копеловича знаходимо коефіцієнт передання K_P^* , кг/(мА·с) умовного ПІ-регулятора, для аперіодичного процесу;

$$K_P^* = \frac{0.4}{K^* \tau} = \frac{0.4}{1.85 \cdot 10^{-4} \cdot 20} = 108 \frac{\text{кг}}{\text{мА}\cdot\text{с}}$$

5) необхідний коефіцієнт передання дифманометрів – витратомірів:

$$K_G^{TP} = K_D^{TP} = \frac{1}{K_P^*} = \frac{1}{108} = 9.26 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мА}\cdot\text{с}}$$

6) уставки ручок «чутливість» регулятора з витрати пари і живильної води:

$$\alpha_G = \frac{K_G^{TP}}{K_G} = \frac{9.26 \cdot 10^{-3}}{0.01125} = 0.82$$

$$\alpha_D = \frac{K_D^{TP}}{K_D} = \frac{9.26 \cdot 10^{-3}}{0.01125} = 0.82$$

7) налаштування ПІ-регулятора контуру стабілізації витрати живильної води знаходимо для об'єкта:

$$W_{вн}(s) = K_{po} \cdot \frac{1}{T_{TP}s + 1} \cdot K_G = 1.037 \cdot \frac{1}{10s + 1} \cdot 0.0411 = \frac{0.42}{10s + 1}$$

$$K_p = 9.58 \frac{\text{кг}}{\text{мА}\cdot\text{с}}$$

$$T_i = 1,5 \text{ с.}$$

Промодельюємо порівняння АСР рівня в парогенераторі класичного методу та модернізованого

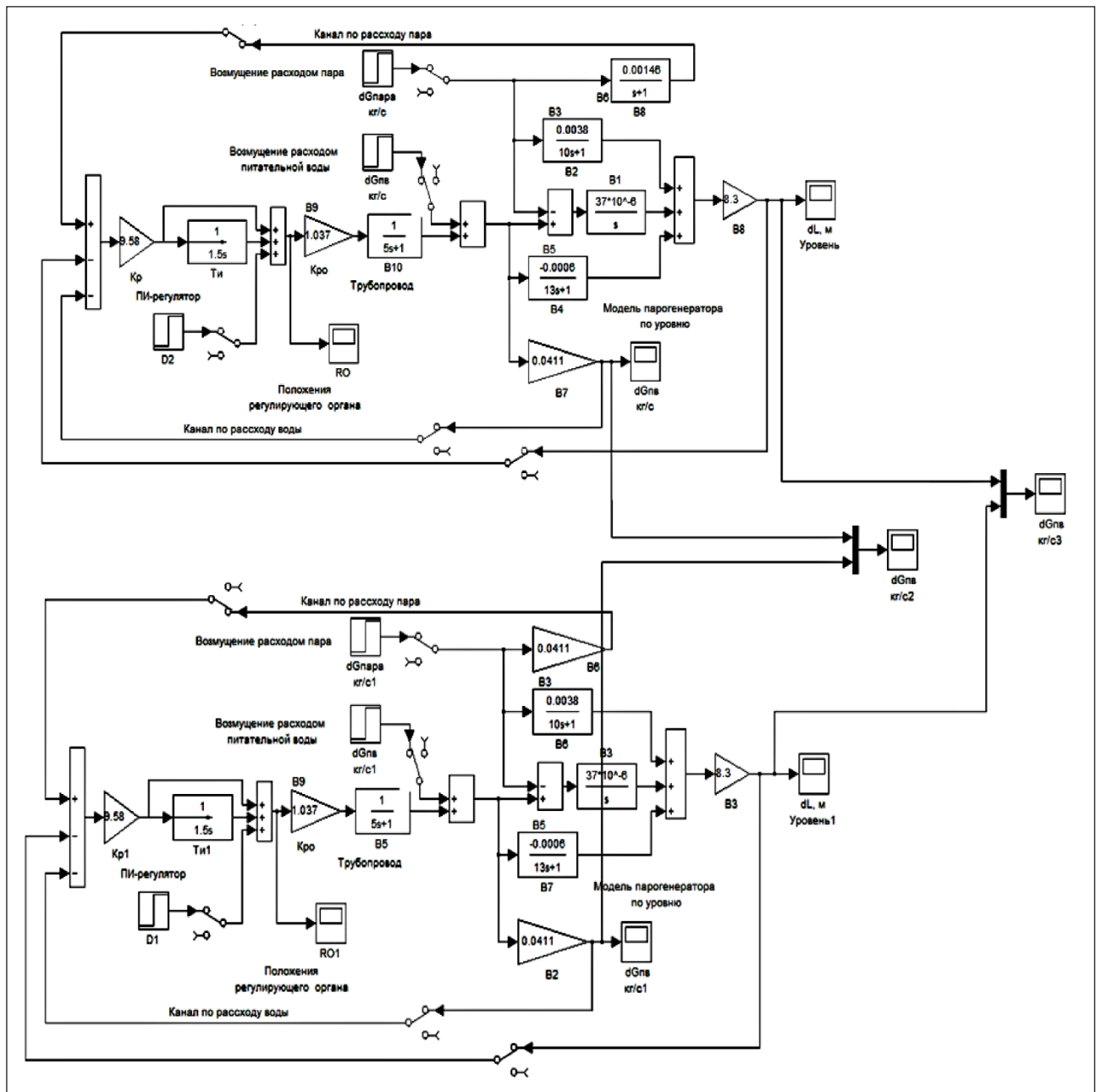


Рис. 3. Структурна схема моделі АСР рівня в парогенераторі для вихідної і реальної структури

На рисунку 3 представлена схема порівняння моделювання двох структур АСР рівня в ПГ. У нижній частині рисунку зображена 3-х імпульсна АСР із сигналами з рівня в ПГ, витратами живильної води і пари. На основі аналізу реальних промислових АСР рівня було вище показано, що замість сигналу з витрати пари можна використати сигнал із різниці температур на вході і виході води першого контуру в ПГ.

Для порівняння структурна схема такої АСР зображена у верхній частині рисунку 3.

На вхід моделі ПГ подається збурення з витрати пари або з витрати живильної води. Відхилення рівня фіксується на показуючому приладі.

Під час моделювання біла досліджена робота АСР рівня при поданні завдання з витрати пари від ПГ рисунок 4. Величина збурення складає 10% від номінального.

Як видно з рисунка 4, динамічні відхилення рівня не перевищує 0,025 м, що задовольняє умови експлуатації. Криві перехідних процесів регулювання по обох варіантах АСР практично збігаються.

На рисунку 5 представлено результати моделювання роботи АСР рівня при 10% збуренні за витратою води. Криві перехідних процесів по обох варіантах АСР мають параметри динамічних

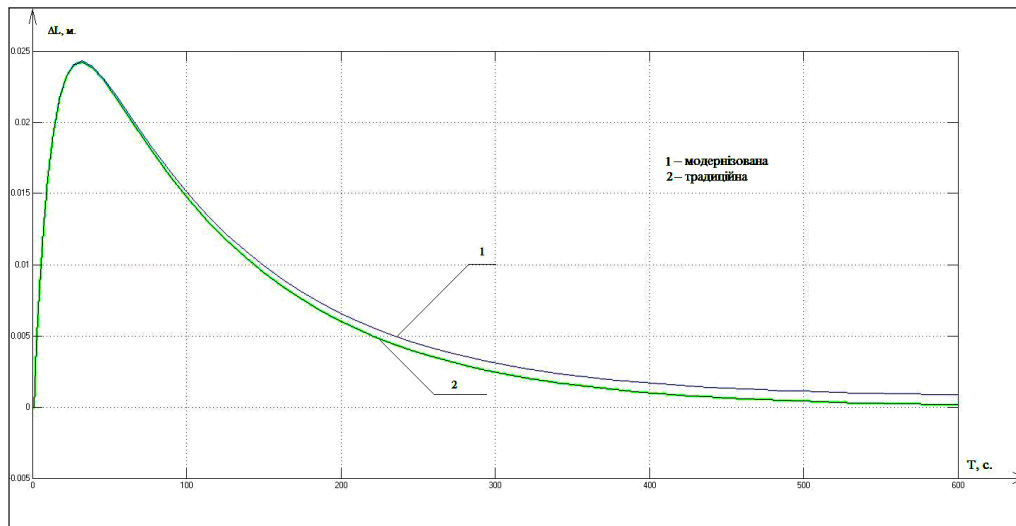


Рис. 4. Перехідний процес рівня при збуренні по каналу пари

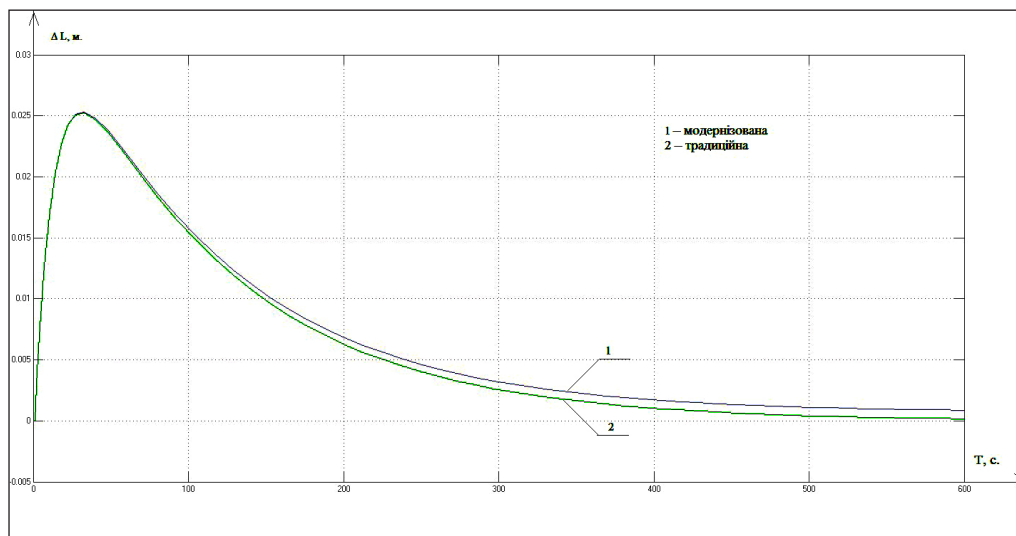


Рис. 5. Перехідний процес рівня під час збурення по каналу живильної води

відхилень до 0,027м, час регулювання 600с, що задовольняє вимоги при експлуатації.

Висновки. Таким чином, можна зробити висновок, що для зменшення впливу на параметри пари від

ПГ, інформацію про витрату пари за допомогою звужуючого пристрою (сопла) можна замінити на інформації з різниці температур води першого контуру, що призводить до зменшення експлуатаційних витрат.

Список літератури:

1. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса: Астропринт. 2001. С. 212–231.
2. Сузуки, М. Моделирование поведения твэла легководного реактора в различных режимах нагружения / Мотоэ Сузуки; автор. пер. с англ. С.Н. Пельх. Одесса: Астропринт, 2010. С. 211–248.
3. Цисельська Т.А. Удосконалення автоматизованої системи керування потужністю енергоблока АЕС для експлуатації у маневрених режимах добового циклу : Автореферат дис. канд. техн. наук Одеса ОНПУ, 2012. С. 18–24.
4. Maksimov M.V., Beglov K.V., Tsiselskaya T.A. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control. Proceedings of the Odessa polytechnic university. Odessa, 2012. № 1(38). P. 99–106.
5. Maksimov M.V., Pelykh S.N., Maslov O.V., Baskakov V.E. Model of cladding failure estimation for a cycling nuclear unit. Nuclear Engineering and Design. 2009. Vol. 239, № 12. P. 3021–3026.
6. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций – Москва: Энергоатомиздат 1987. С. 152-164.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ПАРА ПРИ ПОМОЩИ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА И РАЗНИЦЫ ТЕМПЕРАТУР ВОДЫ ПЕРВОГО КОНТУРА

Во время эксплуатации парогенераторов работающих совместно с ядерными реакторами ВВЭР-1000 атомных электростанций, возникает проблема совершенствования технологий и разработка новых методов, которые внедряются на АЭС. Во время ППР всегда производится наладка и поверка измерительных устройств. Таким образом, актуальной становится вопрос совершенствования технологий. Сделано сравнение методов измерения расхода пара на выходе из парогенератора.

Ключевые слова: Парогенератор, ВВЭР-1000, уровень, расход пара, АЭС.

COMPARISON OF THE METHOD OF MEASURING THE STEAM FLOW USING A NARROWING DEVICE AND THE DIFFERENCE IN THE WATER TEMPERATURE OF THE PRIMARY CIRCUIT

During the operation of steam generators working in conjunction with VVER-1000 nuclear power reactors of nuclear power plants, there arises the problem of improving technologies and developing new methods that are being introduced at nuclear power plants. During the PPR, adjustment and calibration of measuring devices is always performed. Thus, the issue of technology improvement becomes topical. A comparison of the methods of measuring the consumption of steam at the outlet of the steam generator is made.

Key words: steam generator, VVER-1000, level, flow, steam, AES.

Томашевский Р.С.

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕДУРЫ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ

В работе проведено исследование, направленное на разработку и апробацию модифицированного метода ковариационного анализа БИМ-сигнала для решения задач информационной поддержки процедуры ультрафильтрации в режиме реального времени. Модификация данного метода основана на использовании данных измерений биоимпеданса на различных частотах (как многократных измерений в одних временных координатах). Целью исследования являлось получение дополнительной информации, в первую очередь об относительной скорости измерения жидкостных объемов сосудистого русла и межклеточной жидкости. В статье приведено математическое обоснование модификации классического метода ковариационного анализа, приведена таблица ковариационного разложения, предложена модель данного разложения с учетом влияния фактора на тренды сигнала. Также предложены две методики предварительной подготовки данных для использования нового метода, которые позволяют исследовать локальных участок процедуры (сканирование) или учитывать всю предыдущую историю с момента начала процедуры (накопление). В работе проведена апробация разработанного метода на экспериментальных данных, полученных при проведении процедур ультрафильтрации 7 пациентов, которая показала эффективность данного метода контроля в 79% случаев с достоверностью 0,95. Также в работе проведена оценка эффективности на основании данных эксперимента, разработанного метода относительно классического ковариационного анализа. Оценка эффективности показала увеличение количества информации эксперимента, с использованием нового метода, в 2,68 раза и в 2,07 раза, при использовании методик сканирования или накопления соответственно.

Ключевые слова: программный гемодиализ, ультрафильтрация, биоимпедансометрия, ковариационный анализ, регрессия, критериальная статистика, контрольная информация.

Постановка проблемы. Проблема объективного контроля состояния пациента во время процедуры программного гемодиализа, включая процедуру ультрафильтрации (далее – УФ), сегодня стоит очень остро [1–4]. Развитие аппаратной части модулей поддержания или полной замены функции почек достигло уровня и технической возможности реализации индивидуального профиля пациента, с учетом особенностей его функциональных особенностей, медикаментозной нагрузки и сопутствующих заболеваний [5]. Все это возможно только лишь при наличии достоверной информации в реальном времени о состоянии пациента и его водном балансе.

Анализ литературных источников показал большую перспективность использования метода биоимпедансометрии (далее – БИМ) для мониторинга состояния гидратации пациента и распределении жидкости в организме по различным секторам [6–7]. Однако статистически свойства БИМ-сигнала и особенности проведения процедуры УФ не позволяют использовать стандартные методы обработки сигналов и принятия решений о переходе организма пациента в то или иное

состояние гидратации (фазу процедуры). В работе предлагается разработка и использование модифицированного ковариационного анализа [8–10], который учитывает множественные измерения (на разной частоте) для одного момента времени регрессионной прямой.

Постановка задачи. Цель работы – разработка и оценка эффективности модифицированного ковариационного анализа БИМ-сигнала для задач мониторинга состояния пациента при проведении процедуры ультрафильтрации.

Анализ литературных источников и последних исследований. Процесс движения жидкостей между сосудистым и интерстициальным секторами, во время процедуры УФ, может быть описан уравнением Старлинга-Ландиса, которое имеет вид [2; 7]

$$Q = K_f S_s [\beta (COP_K - COP_T) - (P_K - P_T)], \quad (1)$$

где Q – объем жидкости, проходящей через капиллярную сетку в единицу времени;

K_f – проницаемость капиллярной сетки для воды;

S – площадь капиллярной поверхности;
 P_K/P_T – капиллярное / тканевое гидростатическое давление;
 COP_K / COP_T – коллоидно-осмотическое давление в капилляре / ткани;
 β – коэффициент отражения белков от мембраны.

Всю процедуру УФ можно условно разделить на три характерных участка (фазы):

I фаза – снижение объема сосудистого русла, запуск механизма компенсации из внеклеточной жидкости; ($P_K < P_T$; $\beta(COP_K - COP_T) > (P_K - P_T)$).

II фаза – удаления внеклеточной жидкости организма без снижения уровня сосудистого русла ($P_K > P_T$; $\beta(COP_K - COP_T) > (P_K - P_T)$).

III фаза – остановка транспортировки между сосудистым и интерстициальным руслом, удаление жидкости производится только из сосудов. Переход организма в критическом состоянии ($P_K > P_T$; $\beta(COP_K - COP_T) < (P_K - P_T)$).

Основным «рабочим» режимом процедуры УФ является фаза II, в которой отбор жидкости ведется из интерстициального сектора через сосудистое русло при полном заполнении последнего. Для эффективного проведения процедуры УФ ее необходимо остановить при переходе со II на III участок. Дальнейшее продление процедуры приводит к резкому снижению основных витальных признаков и представляет серьезную угрозу жизни пациента [2].

В работах было предложено осуществлять процедуру УФ с контролем состояния биологического объекта (пациента) с помощью измерения и анализа БИМ-сигнала [7; 9; 11; 12].

Статистические модели односторонней классификации широко используют в моделях дисперсионного анализа, которые являются основой тестирования на значимость результатов факторного эксперимента. Наиболее сложной моделью является многофакторная ковариационная модель, учитывающая линейную динамику изменений среднего значения временных последовательностей результатов измерений (временных рядов [12; 13]). Фактически такая статистическая модель осуществляет дисперсионный анализ последовательностей линейных регрессий со случайными коэффициентами [10]. Такую модель имеет смысл использовать, если на поведение измеряемой величины X влияет время, что позволяет рассматривать эту величину как двумерную, которая имеет две измеряемые характеристики:

- значения x (реализация) величины X ;
- момент времени t его измерения.

Подобная двумерность величины X превращает ее в нестационарный, по математическому ожиданию, случайный процесс $X(t)$.

Тогда соответствующая модель имеет вид

$$Y_{ii} = \alpha_i + \beta_i x_{ii} + z_{ii} \quad (i = 1, \dots, k; \quad i = 1, \dots, n_i) \quad (2)$$

Таким образом, одно линейное уравнение регрессии ($Y = \alpha + \beta X$) представляет все группы. Это линейная гипотеза $H_0 : (\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_k; \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k)$ порядка $2(k-1)$. Заметим, что в случае линейной модели (2) значения известны коэффициентами.

$H_0^{(1)}$: линии регрессии параллельны, то есть $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k$;

$H_0^{(2)}$: групповые средние лежат на прямой, то есть точки $(\bar{x}_i, \alpha_i + \beta_i \bar{x}_i)$ лежат на прямой;

$H_0^{(3)}$: угловой коэффициент этой прямой равен β_c , то есть совпадает с β_1, \dots, β_k .

При этом полная сумма квадратов S может быть представлена пятью членами дисперсионного разложения вида [13].

$$S = S_0 + S_{WG} + S_G + S_W + S_R \quad (3)$$

Модификация модели ковариационного анализа. Совершенствование (модификация) ковариационной модели возможно, если использовать систему многократных наблюдений (измерений) значений случайной величины Y , зависит от фактора времени X . Особенность такой модели – это возможность трехмерного представления величины Y и двумерной величины X , представленных в соответствии реализациями y_{ij} и x_{ii} , где t – номер частной регрессии (группы), i – номер внутригруппового измерения, j – номер многократного внутригруппового измерения.

Рассмотрим модифицированную Ковариационный модель двумерных наблюдений при односторонней классификации, когда для любого из фиксированных значений аргумента x_{ti} имеют место n_{ti} многократных наблюдений Y_{ij} случайной функции Y

$$Y_{ij} = a_i + b x_{ti} + e_{ij} \quad (4)$$

где $t = \overline{1, r}$; $i = \overline{1, c_i}$; $j = \overline{1, n_{ti}}$; r – число последовательных частных регрессий,

c_i – число внутригрупповых независимых многократных измерений для t -той регрессии.

Ковариационная модель (4) позволяет увеличить число членов нового модифицированного ковариационного разложения на единицу

$$S = S_0^M + S_{WG}^M + S_G^M + S_W^M + S_R^M + S_e \quad (5)$$

При неизменности вероятностной модели объекта исследования (при равенстве математических ожиданий среднего квадрата полных

Таблиця 1

Результаты модифицированного ковариационного разложения

Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критериальная F-статистика
$S_0^M = W_0 B_0^2$	1	$\bar{S}_0 = S_0^M$	$F_0 = \frac{\bar{S}}{S_e}$
$S_{WG}^M = \frac{W_c W_m}{W_0} (B_c - B_m)^2$	1	$\bar{S}_{WG} = S_{WG}^M$	$F_{WG} = \frac{\bar{S}_{WG}}{S_e}$
$S_G^M = \sum_{t=1}^r V_t [\bar{Y}_t - \bar{Y} - B_m (\bar{X}_t - \bar{X})]^2$	r-2	$\bar{S}_G = \frac{S_G^M}{r-2}$	$F_G = \frac{\bar{S}_G}{S_e}$
$S_W^M = \sum_{t=1}^r W_t (B_t - B_c)^2$	r-1	$\bar{S}_W = \frac{S_W^M}{r-1}$	$F_W = \frac{\bar{S}_W}{S_e}$
$S_R^M = \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} n_{ii} [\bar{Y}_{it} - \bar{Y}_t - B_t (x_{ii} - \bar{X}_t)]^2$	$\sum_{t=1}^r c_t - 2r = r(c-2)$	$\bar{S}_R = \frac{S_R^M}{r(c-2)}$	$F_R = \frac{\bar{S}_R}{S_e}$
$S_e = \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} \sum_{j=1}^{n_{ij}} (Y_{ij} - \bar{Y}_{it})^2$	$N - \sum_{t=1}^r c_t = rc(n-1)$	$\bar{S}_e = \frac{S_e}{rc(n-1)}$	-
$S = \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} \sum_{j=1}^{n_{ij}} (Y_{ij} - \bar{Y})^2$	N-1	$\bar{S} = \frac{S}{N-1}$	-

сумм S_i (S^M) средний квадрат \bar{S}_R остаточной суммы SR будет больше среднего квадрата \bar{S}_e остаточной суммы S_e

$$\bar{S}_e < \bar{S}_R \quad (6)$$

Неравенство (3.8) указывает на более высокую чувствительность (меньшую остаточную дисперсию) модифицированного ковариационного разложения (5).

В таблице 1 приведены результаты модифицированного ковариационного разложения и, соответствующие им, нормативные критериальные F-статистики (учитывая, параллельно, варианты равенства внутри групповых, $C_i=C$, и многократных, $n_{ii}=n$, измерений; $t = \overline{1, r}$; $i = \overline{1, c}$). В этом случае

$$N = rcn. \quad (7)$$

Таблица 3.6 позволяет уточнить ковариационную модель (3.6) в виде модели отклонения результата измерения общего среднего

$$Y_{ij} - \bar{Y} = B_0(x_{ij} - \bar{X}) + (B_c - B_m)(\bar{X}_t - \bar{X}) + \phi_t + (B_t - B_c)(\bar{X}_t - \bar{X}) + S_{it} + e_{ij} \quad (8)$$

Последовательность слагаемых в правой части уравнения (8) – это последовательность независимых случайных отклонений, соответствующих последовательности членов разложения (4). Математическое ожидание всех отклонений урав-

нение (8) равно нулю. Остаточная дисперсия σ_e^2 последовательного отклонения e_{ij} – постоянная, характеризующая статистическую неопределенность модифицированной модели (5). Уместно предположить, исходя из неравенства (6),

$$\sigma_e^2 < \sigma_R^2. \quad (9)$$

Из таблицы 1 следует, что при планировании ковариационного эксперимента, требования к минимальным объемам групповых (с) многократных (п) измерений определяется неравенствами

$$\begin{cases} c \geq 3; \\ n \geq 2. \end{cases} \quad (10)$$

Минимальное число (г) остаточных регрессий $r \geq 3$ [13].

Представление результатов измерения БИМ сигналов в течение всей процедуры УФ продолжительностью T в виде последовательности k частных регрессий (групп) с продолжительностью ΔT позволяет применить две методики подготовки первичных данных:

1) сканирование – локализация временного участка исследуемого процесса; группирование результатов последовательных измерений с ограничением на количество групп (минимальное количество 3); последовательный сдвиг временного участка с отбросом первой группы и

включением новой (last-in-first-out). Общее количество измерений при мониторинге постоянно. Продолжительность окна наблюдения не менее $3\Delta T$.

2) накопление – локализация временного участка исследуемого процесса; группирование результатов последовательных измерений с ограничением на количество групп; последовательное увеличение временного интервала и количества групп. Общее количество измерений при мониторинге монотонно возрастает от $3\Delta T$ до T .

Оценка достоверности модифицированного ковариационного анализа для задач контроля уровня гидратации пациента при процедуре ультрафильтрации. Для исследования возможностей разработанного метода модифицированного ковариационного анализа в Харьковском областном клиническом центре урологии и нефрологии им. В.И. Шاپовала были проведены экспериментальные исследования характеристик БИМ-сигнала в течение процедур гемодиализа.

Целью эксперимента была проверка эффективности разработанного метода для определения уровня нормогидратации пациента в ходе процедуры УФ и проверки соответствия установленной скорости УФ реальным функциональным возможностям пациента (транспортная функция между сосудистым руслом и межклеточным сектором).

В ходе эксперимента было проведено исследование процедуры ультрафильтрации для 7 различных пациентов. В ходе каждого исследования проводились замеры значений БИМ пациента на трех различных частотах (20, 100 и 500 кГц) с дискретностью в 1 минуту каждый. В ходе исследований с некоторой периодичностью также проводились инвазивные замеры уровня гематокрита классическим методом. Данный параметр был использован как контрольный показатель состояния гидратации сосудистого русла и объективный маркер перехода организма в III фазу УФ (сопровождающуюся переходом пациента в критический уровень).

Согласно таблице 1 и поставленным целям эксперимента в качестве информативных параметров были выбраны три критериальные статистики F_0 , F_G и F_R . Информативный параметр F_0 показывает глобальную динамику изменения БИМ сигнала, а изменения общей воды организма. Информативный параметр F_G показывает локальное изменение проводимости, может индцировать переход между фазами процедуры УФ. Информативный параметр F_R показывает изменение трендов низко- и высокочастотной составляющих импеданса

относительно друг друга, а, следовательно, может индцировать изменение объема сосудистого русла относительно межклеточного сектора.

Для каждого из пациентов был проведен ковариационный анализ по двум методикам подготовки первичных данных (накопление и сканирование). Основные характеристики процедуры УФ для каждого пациента определялись с помощью профиля динамики уровня гематокрита, пример приведен на рисунке 1. Профиль позволяет определить ориентировочные переходы между фазами процедуры УФ и соответствие скорости УФ транспортной функции между сосудистым руслом и межклеточным сектором.

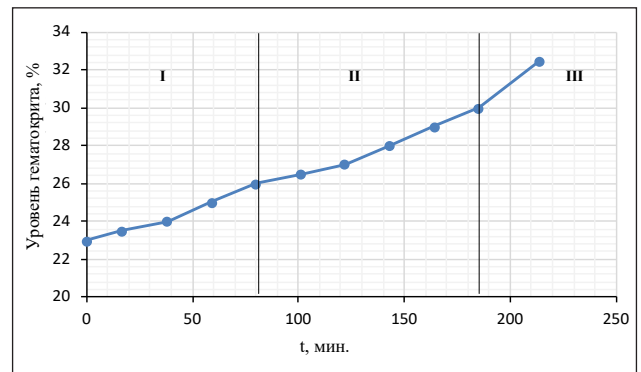


Рис. 1. Профиль динамики уровня гематокрита в течение процедуры УФ

Из профиля динамики гематокрита (см. рис. 1) видно, что пациент в ходе процедуры УФ достиг уровня нормогидратации (dry weight), о чем свидетельствует переход из фазы II в фазу III ориентировочно на 180-й минуте процедуры. Небольшой наклон кривой уровня гематокрита во второй фазе, начало которой ориентировочно 70–90 минута, (приблизительно $0,02\%/мин$) указывает на незначительное превышение скорости процедуры УФ относительно необходимой.

Далее были рассчитаны F-статистики для каждой из групп данных и их критические уровни. Количество данных в каждой выборке (последовательной регрессии) определялось исходя из интервалов между двумя последовательными замерами уровня гематокрита ΔT .

Пример динамики изменения F-статистик приведена в таблице 2 для методики сканирования (критический уровень указан там же). Расчет критического уровня выполнялся исходя из значения степеней свобод для каждой серии измерений соответственно [13].

Из приведенной таблицы можно сделать следующие выводы: начало второй фазы 80-120 мин, начало третьей фазы 170–180 мин, разница

Таблица 2

Результаты модифицированного ковариационного анализа данных БИМ по методике сканирования

Наименование показателя	Степени свободы	Критическое значение ($\alpha=0,05$)	Динамика показателя во время процедуры
F_0	$n_1 = 1$ $n_2 = 51$	$F_{KP} = 4$	
F_G	$n_1 = 1$ $n_2 = 51$	$F_{KP} = 4$	
F_R	$n_1 = 17$ $n_2 = 51$	$F_{KP} = 2,5$	

Таблица 3

Результаты эксперимента

Методика определения	Переход I-II фаза	Переход II - III фаза	Отношение скоростей УФ и транспорта «Сосуды-ВКЖ» (II фаза)
Гематокрит (контрольный)	70-100	170-200	0,02 %/мин
Сканирование (P = 0,95)	80-100	170-180	незначительное
Накопление (P = 0,95)	100-120 мин	Не выражено	незначительное

Таблица 4

Сводные результаты серии экспериментов по контролю процедуры УФ

Пациент	1	2	3	4	5	6	7
Переход I-II							
Сканирование	1	1	1	1	1	1	1
Накопление	1	0	1	1	1	1	0
Переход II-III							
Сканирование	1	1	0	1	0	1	0
Накопление	0	1	0	1	1	1	1
Соотношение скоростей во II фазе процедуры							
Сканирование	1	1	1	0	1	1	1
Накопление	1	1	1	0	1	1	1

скоростей УФ и транспорта «Сосуды-ВКЖ» статистически не значима.

Результаты эксперимента по каждому из пациентов были сведены в соответствующие таблицы 3.

Обсуждение результатов.

Сводные результаты по семи пациентам приведены в таблице 4, в которой совпадения результатов теста с контрольным параметром отмечены (1) а несовпадения – (0).

В общем случае можно сделать следующие рекомендации по использованию представленных информативных параметров (статистик F_ϕ , F_G , F_R) для контроля и статистического управления процедурой УФ.

Статистика F_ϕ указывает на глобальное отсутствие/наличие динамики в контролируемом параметре минимум в трех последовательных группах (сканирование) или с учетом всей предыдущей истории наблюдений (накопление). Рост этого параметра, при анализе БИМ-сигнала, указывает на значительное изменение проводимости, количества и состава электролита в теле пациента.

Статистика F_G указывает на локальные изменения тренда в пределах интервала от двух последующих групп при любой методике подготовки данных. Рост этого параметра, при анализе БИМ-сигнала, показывает значимое изменение фазы процедуры УФ или резкое изменение скорости УФ.

Статистика F_R указывает на значимые расхождения в трендах двух и более сигналов на одинаковых интервалах времени. Рост этого параметра, при анализе БИМ-сигнала показывает значимые трендовые расхождения в низкочастотной и высокочастотной составляющими БИМ-сигнала, оценивает степень и динамику (скорость) изменения соотношения объемов различных жидкостных секторов. В случае процедуры гемодиализа изменению подвержены только два сектора – внеклеточная жидкость и сосудистое русло. Значит рост параметра F_R может указывать как на превышение скорости УФ во II фазе так и на переход организма пациента на критический уровень (III фаза).

Оценка количества информации разработанного метода. Отличие от классики. Для оценки эффективности разработанного метода, кроме показателей достоверности получаемых показателей, необходимо оценить количество дополнительной информации, получаемой при использовании модифицированного ковариационного анализа. Для этого необходимо воспользоваться моделью, разработанными в [14]. Также

воспользуемся Таблицей 1 ковариационного разложения. Рассчитаем количество информации, полученной в результате эксперимента.

Исходные данные:

- количество групп $K = 3$;
- количество измерений в каждой группе $n = 17$;
- количество множественных измерений в каждый момент времени $c = 3$;
- количество расчетных интервалов на периоде T проведения процедуры (количество значений информативного показателя) $G = 8$.

Итого количество измерений:

- для классического ковариационного анализа $N_1 = K * n = 51$
- для модифицированного ковариационного анализа $N_2 = K * n * c = 153$.

Оценим вклад каждого из параметров F_ϕ , F_G , F_R для классического и модифицированного ковариационных анализов, обозначая их индексами 1 и 2 соответственно. Учитывая свойство аддитивности информации, полное количество информации, полученной в ходе эксперимента можно определить как:

$$I_{(1)} = \sum_0^{j=Q} (I_{0(1)} + I_{G(1)}); \tag{11}$$

$$I_{(2)} = \sum_0^{j=Q} (I_{0(2)} + I_{G(2)} + I_R), \tag{12}$$

где I_ϕ , I_G , I_R – содержание контрольной информации каждой из соответствующих статистик на одном расчетном интервале. Согласно модели, разработанной в [14], она может быть рассчитана по выражению

$$I = \frac{1}{2} \log \left\{ 1 + \frac{\left(\frac{v_1 + v_2 - 2}{v_1} \right) + (1 + \lambda)^2 + \left(\frac{v_2 - 2}{v_1} \right) (1 + 2\lambda)}{(v_2 - 4) \alpha (1 - \alpha) \left[F_{v_1, v_2, \alpha} \left(\frac{v_2 - 2}{v_2} \right) - 1 \right]} \right\}, \tag{13}$$

где параметр нецентральности λ_X для каждой статистики F_X определяется как

$$\lambda_X = \sqrt{S_X}, \tag{14}$$

где S_X – сумма квадратов ковариационного разложения для каждой из критериальным статистик. Выражения для определения этих сумм приведены в таблице 1.

С учетом данных эксперимента и выражений (11-14) были определены количества контрольной информации для методов ковариационного анализа результатов мониторинга БИМ-сигнала при проведении процедуры УФ (см. табл. 5).

Проведем подобный анализ для того же эксперимента, но только для методики предварительной обработки данных – накопление. Результаты такого анализа приведены в Таблице 6.

Таблица 5

Количество контрольной информации ковариационных анализов результатов мониторинга БИМ-сигнала при проведении процедуры УФ (Сканирование)

Метод ковариационного анализа	I_{ϕ} нит	I_G нит	I_{R^*} нит	I нит
Классический	2,018	1,016	–	3,034
Модифицированный	1,486	0,528	6,117	8,131

Таблица 6

Количество контрольной информации ковариационных анализов результатов мониторинга БИМ-сигнала при проведении процедуры УФ (Накопление)

Метод ковариационного анализа	I_{ϕ} нит	I_G нит	I_{R^*} нит	I нит
Классический	1,788	1,205	–	2,993
Модифицированный	1,656	0,383	4,147	6,186

Выводы. Серия проведенных экспериментов убедительно показывает эффективность разработанного метода модифицированного ковариационного анализа и в 79 % случаев из 42 было принято статистически значимое решение, которое совпало с решением контрольного теста.

Результаты количественного анализа информационной значимости, приведенные в Таблице 5, показывают, что использование метода модифицированного ковариационного анализа БИМ-сигнала при проведении процедуры УФ (Сканирование) позволило увеличить общее количество информации эксперимента на 5,097 (нит) или в 2,68 раза.

Результаты количественного анализа информационной значимости, приведенные в таблице 6, показывают, что использование метода модифицированного ковариационного анализа БИМ-сигнала при проведении процедуры УФ (Накопление) позволило увеличить общее количество информации эксперимента на 3,193 (нит) или в 2,07 раза.

Список литературы:

1. Sandra Castellano, Inés Palomares, Manuel Molina and et al. Clinical, analytical and bioimpedance characteristics of persistently overhydrated haemodialysis patients. *Nefrologia*. 2014. № 34 (6). P. 716–723.
2. Даугирдас Джон Т. Блейк Питер Дж., Тодд С. Руководство по диализу. Инг; пер. с англ. А.Ю. Денисова, В.Ю. Шилю. Москва: Центр Диализа. 2003. Третье издание. 744с.
3. Стецюк Е.А. Основы гемодиализа. Москва: Издательский дом ГЭОТАР-МЕД, 2001. 392 с
4. Ronco C., Dinna N.Cruz. Hemodialysis: from basic research to clinical trials. Karger Medical & Scientific Publishers. 2008. P. 277.
5. Kovesdy C.P., Lott E.H., Lu J.L., Malakauskas S.M, Ma JZ, Molnar MZ, et al. Hyponatremia, hypernatremia, and mortality in patients with chronic kidney disease with and without congestive heart failure. *Circulation*. 2012. № 125. P. 677–684.
6. Sandra Castellano, Inés Palomares, Manuel Molina and et al. Clinical, analytical and bioimpedance characteristics of persistently overhydrated haemodialysis patients. *Nefrologia*. 2014. № 34 (6). P. 716–723
7. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. Москва: «Наука», 2009. 392 с.
8. Paul Strode, Ann Brokaw. Using BioInteractive Resources to Teach. *Mathematics and Statistics in Biology*. October, 2015. 39 p.
9. Ткачук Б.В., Томашевский Р.С., Сокол Е.И., Лесовой В.Н. Уточнение электрической схемы организма для биоимпедансометрии при ультрафильтрации эквивалентной. *Вестник национального технического университета «ХПИ»*. 2015. № 46 (1155). С. 56–62.
10. Hopkins W.G., Marshall S.W., Batterham A.M., Hanin J. *Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science*. Jan 2009, 41 (1). P. 3–13.
11. Mosiychuk V.S., Timosenko G.V., Sharpan O.B., Tkachuk B.V., Tomashevskiy R.S. Bioimpedance Monitoring of Dialysis Patients During Ultrafiltration. *Conference Proceedings, IEEE Elnano*. April 19-21, 2016. Kyiv. Ukrainian. P. 236–239.
12. Lindsay R.M., Schneditz D. Online monitoring and feedback-control. Replacement of renal function by dialysis, 5th edition. Kluwer. 2004. P. 555–584.
13. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента. Пер. с англ. Москва: Мир, 1981. 520 с.
14. Томашевский Р.С. Информационный анализ моделей планирования медико-биологического эксперимента при контроле дискретных изменений уровней влияющего фактора. *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. Харьков: НТУ «ХПИ». 2017. No 53 (1274). С. 45–52. doi:10.20998/2413-4295.2017.53.07.

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ І ПЛАНУВАННЯ БІМ-АНАЛІЗУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ КРОВОВТРАТИ

У роботі проведено дослідження, спрямоване на розроблення та апробацію модифікованого методу коваріаційного аналізу БІМ-сигналу для вирішення завдань інформаційної підтримки процедури ультрафільтрації в режимі реального часу. Модифікація цього методу заснована на використанні цих вимірів біоімпедансу на різних частотах як багаторазових вимірювань в одних часових координатах. Метою дослідження було одержання додаткової інформації, насамперед про відносну швидкість вимірювання рідинних обсягів судинного русла і міжклітинної рідини. У статті наведено математичне обґрунтування модифікації класичного методу коваріаційного аналізу, наведено таблицю коваріаційного розкладання, запропоновано модель цього розкладання з урахуванням впливу фактора на тренди сигналу. Також запропоновано дві методики попередньої підготовки даних для використання нового методу, які дозволяють досліджувати локальну ділянку процедури (сканування) або враховувати всю попередню історію з моменту початку процедури (накопичення). У роботі проведено апробацію розробленого методу на експериментальних даних, отриманих під час проведення процедур ультрафільтрації 7 пацієнтів, яка показала ефективність цього методу контролю в 79% випадків із вірогідністю 0,95. Також у роботі дано оцінку ефективності на підставі даних експерименту, розробленого методу щодо класичного коваріаційного аналізу. Оцінка ефективності показала збільшення кількості інформації експерименту з використанням нового методу в 2,68 рази і в 2,07 рази під час використання методик сканування або накопичення відповідно.

Ключові слова: програмний гемодіаліз, ультрафільтрація, біоімпедансометрія, коваріаційний аналіз, регресія, критеріальна статистика, контрольна інформація.

EVALUATION OF OPPORTUNITY BIOMEPEDOMSOMETRY FOR MONITORING OF ULTRAFILTRATION PROCEDURE

The research aimed at developing and approbation of the modified method of covariance analysis of the BIM signal for solving the problems of information support of the ultrafiltration procedure in real time mode is carried out. The modification of this method is based on the use of bioimpedance measurements at different frequencies as multiple measurements in one time coordinates. The aim of the study was to obtain additional information, primarily on the relative rate of measurement of fluid volumes of the vascular bed and intercellular fluid. In the article the mathematical substantiation of the modification of the classical covariance analysis method is given, the table of covariance decomposition is given, the model of this decomposition is proposed taking into account the influence of the factor on the signal trends. Two methods of preliminary data preparation for using the new method are also proposed, which allow to investigate the local part of the procedure (scan) or to take into account the entire previous history from the moment of the procedure start (accumulation). Approximation of the developed method on the experimental data obtained during the ultrafiltration procedures of 7 patients was carried out, which showed the effectiveness of this method of control in 79% of cases with a confidence of 0.95. Also in the work, an evaluation of the effectiveness, based on the experimental data, of the developed method on the classical covariance analysis was carried out. Efficiency evaluation showed an increase in the amount of information in the experiment, using the new method, 2.68 times and 2.07 times, using scanning or accumulation techniques, respectively.

Key words: program hemodialysis, ultrafiltration, bioimpedanceometry, covariance analysis, regression, criterial statistics, control information.

УДК 004.415.52

Топалов А.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кондратенко Ю.П.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Козлов О.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДАТЧИКІВ РІВНЯ БАЛАСТНОГО КОМПЛЕКСУ ПЛАВУЧОГО ДОКУ

У роботі представлено розробку спеціалізованої комп'ютеризованої системи для дистанційної діагностики датчиків рівня баластного комплексу плавучого доку. Система має ієрархічну структуру, в якій оброблення інформації децентралізовано, а програмно-апаратні засоби віддалені один від одного. Авторами запропоновано метод перевірки справності гідростатичних датчиків рівня, що загалом підвищує надійність функціонування плавучого доку. У розробленій комп'ютеризованій системі передбачено накопичення діагностичної інформації мікропроцесорними пристроями. Загальні результати роботи системи віддаленої діагностики, зокрема технічні стани датчиків, відображаються графічно в реальному часі за допомогою хмарного сервісу.

Ключові слова: діагностика, хмарний сервіс, вимірювання рівня рідини, датчик, комп'ютеризована система.

Постановка проблеми. Комплексна автоматизація плавучого доку та наявність великої кількості датчиків пов'язані з необхідністю зниження ймовірності порушення нормального режиму роботи комп'ютеризованої системи моніторингу та управління плавучого доку в різних експлуатаційних режимах. Ефективним способом підвищення надійності такої комп'ютеризованої системи є періодичне або безперервне здійснення діагностичних процедур найбільш важливих елементів системи, зокрема датчиків для визначення рівня води у відповідних баластних танках. Отже, загальна проблема забезпечення ефективного функціонування плавучого доку, виникає в галузі точних і надійних вимірювань, тому разом із автоматизацією плавучого доку суттєву увагу приділяють вирішенню завдань вибору та технічної діагностики датчиків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вимірювання і розрахунку параметрів плавучого доку певною мірою розглянуто в низці наукових праць [1–6]. Причому системи вимірювання і контролю параметрів плавучих доків розробляють із використанням датчиків, що ґрунтуються на різних принципах дії. У роботах [2; 3] для визначення параметрів рівня рідини плавучого доку застосовують датчики, що використо-

вують метод імпульсної рефлектометрії й мають єдине електронне та конструктивне виконання. Недоліком такого рішення є значні масо-габаритні показники та наявність спеціалізованих труб, що мають здатність накопичувати забруднення. Крім того, для вимірювання рівня рідини в баластних танках знайшли своє застосування датчики рівня радарного типу [4]. Використання таких датчиків дозволяє проводити вимірювання рівня з високою точністю (до 1 мм). Проте цей спосіб має високу вартість обслуговування систем автоматичного контролю рівня. Також застосовують датчики мембранного типу [5; 6], у яких прогин мембран під тиском стовпа води перетворюється в опір електричного ланцюга. Такі датчики мають недоліки, пов'язані з чутливістю до низьких температур, що може спричинити порушення точності вимірювання.

Для керування технологічними процесами плавучих доків (залежно від типів датчиків вимірювання параметрів) сьогодні застосовуються різноманітні спеціалізовані комп'ютеризовані системи промислового призначення. Застосування сучасних комп'ютеризованих систем дозволяє: (а) ефективно збирати й обробляти інформацію стосовно технологічного процесу, (б) забезпечувати інтерфейс з оператором, (в) накопичу-

вати базу даних і (г) здійснювати автоматичне управління виконавчими механізмами. Важливою характеристикою таких систем є можливість контролю надійності виконання технологічного процесу, попередження аварійних ситуацій. У разі спрощеної технічної діагностики можна обмежитися стандартними можливостями поширених промислових комп'ютеризованих систем моніторингу й управління. До стандартних можливостей діагностичної перевірки належать роботи з подіями та аналоговими і дискретними тривогами [6–8]. Для здійснення більш складної технічної діагностики необхідні додаткові програмно-апаратні засоби та спеціалізоване діагностичне обладнання.

Завдання оброблення оперативної інформації на віддалених робочих місцях (у плавучих доках) й управління технологічними процесами за допомогою Інтернету та бездротових технологій вимагає суттєвого розширення функцій існуючих комп'ютеризованих систем управління та моніторингу. Майже всі провідні компанії-розробники систем автоматизації переходять на концепцію Industry 4.0. та активно розвивають продукцію в галузі промислового Інтернету речей [9; 10]. Приміром, компанія SIEMENS розробила пакет WebNavigator для системи WinCC SCADA [10]. Іншим прикладом є компанія Adastra, яка розробила веб-сервер Trace mode data center для системи SCADA Trace mode 6 [10]. Усі ці рішення забезпечують доступ до проекту для віддалених клієнтів. Тонка технологія клієнта дозволяє переглядати та змінювати операційну та архівну інформацію з будь-якого віддаленого робочого місця через будь-який Web-переглядач. Для завдань технічного діагностування активно використовуються промислові рішення, що полягають у використанні відеосерверів (наприклад, фірм SIVICON SIMENS) або універсальних веб-серверів (наприклад, веб-студії INDUSTOFT) [10].

Постановка завдання. Проблема проектування ефективних високоточних комп'ютеризованих систем контролю параметрів плавучого доку із застосуванням сучасного діагностичного обладнання залишається відкритою й актуальною. Використання нових типів датчиків та сучасних принципів побудови розподілених систем контролю дозволить вирішити цю проблему і створити універсальну вискоелективну комп'ютеризовану систему дистанційної діагностики. Метою дослідження є розроблення структури та елементного забезпечення спеціалізованої комп'ютеризованої системи для технічної діагностики, моніторингу

та управління плавучим доком, здатної здійснювати процеси збору, обробки та передачі інформації в реальному часі.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Баластна система плавучого доку відіграє найголовнішу роль у процесі докування суден. Розрахунок заповнення та спорожнення баластних танків потрібно проводити в заданий час. Причому рівні води в баластних танках у різні інтервали часу можуть відрізнятися від заданих значень.

Розглянемо більш детально баластний комплекс (рис. 1.1, а) та один баластний танк (далі – БТ) плавучого доку (рис 1.1, б). Цей баластний комплекс складається з 18 баластних танків, у яких рівень рідини L визначається за допомогою гідростатичного способу вимірювання [11–13]. Один баластний танк оснащений: гідростатичним датчиком рівня (далі – ГДР), поєднаним із датчиком температури (далі – ДТ), які розташовуються в центрі дна баластного танку, та дискретним датчиком рівня (далі – ДДР) і заслінкою (З), що розташовуються на стінці баластного танку, причому ДДР знаходиться в центрі бокової стінки.

Діагностика полягає в контролі стану ГДР із метою виявлення і попередження його відмов. Технічний стан ГДР характеризується факторами, до яких належить вплив кліматичних умов, старіння з часом, операції регулювання механічних та електронних компонентів, налаштування під час обслуговування або ремонту, заміну несправних елементів тощо.

Здійснюється діагностика за допомогою діагностичних засобів контролю, які можуть бути вбудованими і зовнішніми. Вбудовані засоби дозволяють здійснювати безперервний контроль відповідних параметрів. За допомогою зовнішніх засобів здійснюється періодичний контроль [14–18]. Для реалізації запропонованого способу технічного діагностування у наведеному БТ (рис. 1.1, б), ДДР устатковується вище ГДР на певну фіксовану висоту і застосовується підхід, в котрому стан ГДР перевіряється в дискретні проміжки часу шляхом порівняння поточного рівня рідини L із діагностичним рівнем L_d .

Отже, ГДР, що є приладом для вимірювання тиску, і ДТ використовуються для отримання інформації про поточний рівень L і температуру води T в баластному танку. Для контролю діагностичного значення рівня L_d необхідний ДДР, що може бути виконаний у вигляді поплавкового датчика.

Відповідно до гідростатичного способу вимірювання, за умов нульового значення кутів крену

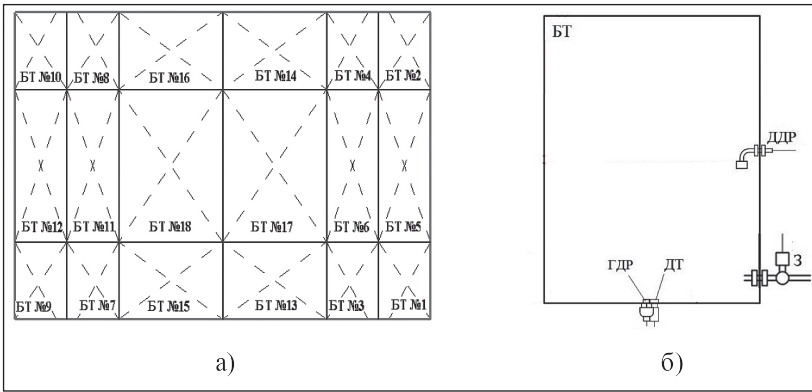


Рис. 1.1. Баластний комплекс плавучого доку:
а) схема розташування баластних танків, б) окремий баластний танк та його оснащення датчиками і заслінкою

та диференту плавучого дока, реальне значення рівня рідини в баластному танку L визначається за формулою [13]:

$$L = \frac{P_p}{\rho_p g}, \quad (1)$$

де P_p – значення гідростатичного тиску рідини, що вимірюється за допомогою ГДР; ρ_p – густина робочої рідини; g – прискорення вільного падіння.

Значення густини рідини ρ_p залежить від таких факторів, як температура, тиск, склад, фізичні та хімічні характеристики. Найбільше на величину густини рідини ρ_p впливає значення температури рідини $t_p, ^\circ\text{C}$, а тому ДТ відіграє важливу роль у визначенні поточного значення густини рідини ρ_p (згідно з відповідними довідковими таблицями).

Рівень рідини в баластному танку за умов одночасного врахування незначного крену і диференту (1, 2 градуси) плавучого доку необхідно обчислювати за наступною формулою для ГДР [13]:

$$L = \frac{P_{\gamma\psi}}{\rho_p g} \cdot \frac{1}{\cos \gamma \cdot \cos \psi}, \quad (2)$$

де $P_{\gamma\psi}$ – значення гідростатичного тиску рідини, виміряного за допомогою ГДР при кутах крену γ і диференту ψ плавучого доку.

У свою чергу, діагностичний рівень L_d рідини, що залежить від сигналу ДДР, в баластному танку під час врахування незначного крену (1-2 градуси) плавучого доку необхідно обчислювати за такою формулою [13]:

$$L_d = L_{\text{ДДР}} - \tan \gamma \cdot \frac{S}{2}, \quad (3)$$

де $L_{\text{ДДР}}$ – відстань (висота), на якій встановлено ДДР, γ – кут крену, S – ширина баластного танку.

Оскільки діагностичний рівень L_d можна вимірювати лише за відсутності крену γ і диференту ψ або у разі наявності незначного крену γ плавучого доку, то діагностику ГДР слід виконувати в таких же умовах.

Розглянемо функціональну схему системи автоматичного контролю рівня рідини в одному з баластних танків із діагностуванням ГДР (рис. 1.2). Діагностування ГДР в інших баластних танках виконується аналогічним чином. На рисунку 1.2 прийнято такі позначення: СТД – система технічної діагностики; ГДР – гідростатичний датчик рівня; К – кренометр; Д – диферентометр; ДТ – датчик температури; ОБ1 – обчислювальний блок, що служить для визначення добутку величин, відповідних крену γ , диференту ψ ,

густини рідини ρ_p та гравітаційного прискорення g ; ОБ2 – обчислювальний блок, що визначає діагностичний рівень рідини L_d залежно від значень кутів крену γ і диференту ψ ; БД – блок ділення; ЕП – елемент порівняння; БА31, БА32 – блоки обчислення абсолютного значення; ДДР – дискретний датчик фіксованого рівня; ДБ – диференціальний блок; КК – керований ключ; ПЕ – пороговий елемент; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПІД – інтерфейс передачі даних; ПЛК/ОК – програмований логічний контролер або однопалатний комп’ютер; Р – роутер; МБЗ – модем безпроводного зв’язку; ПК – персональний комп’ютер; МК – мобільний комп’ютер; ХС – хмарний сервіс.

Суть запропонованого методу контролю рівня рідини в баластному танку з технічною діагностикою ГДР полягає в такому.

ГДР вимірює поточне значення гідростатичного тиску рідини (Па), а ДТ вимірює поточне значення температури рідини ($^\circ\text{C}$). Після цього згідно з рівнянням (2), використовуючи ОБ1 та БД, визначається рівень рідини L (м). У свою чергу, згідно з рівнянням (3), використовуючи ОБ2 та К, визначається діагностичний рівень L_d (м). Завдяки блоку В розраховується різниця ΔL між діагностичним значенням рівня L_d та значенням рівня L . На виході блоку БА31 визначається абсолютна величина ΔL_A отриманої різниці ΔL , яка відповідає похибці вимірювання ГДР відносно значення діагностичного рівня L_d .

Основна стадія діагностування ГДР настає за умов спрацювання ДДР під час наповнення чи спустошення баластного танку. Під час заповнення баластного танку рівень рідини збільшується і досягає певного значення (на рівні, де встановлено ДДР), електричні контакти ДДР замикаються і ДБ формує додатній імпульсний електричний сигнал.

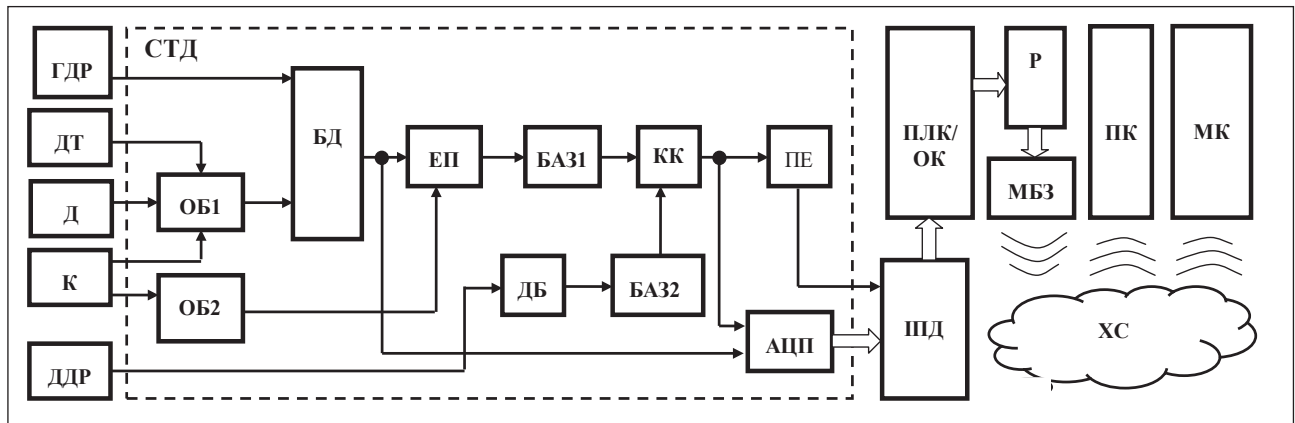


Рис. 1.2. Функціональна схема комп'ютеризованої системи автоматичного контролю рівня рідини в баластному танку з діагностуванням ГДР

У свою чергу, якщо поточне значення рівня рідини L в баластному танку знижується і перетинає ДДР, то його контакти розмикаються і ДБ формує від'ємний імпульсний електричний сигнал. В обох випадках (під час заповнення чи спустошення баластного танку) після диференціації сигнал проходить БАЗ2 і приймає абсолютне значення, яке спричиняє короткочасне замикання КК для виведення (відображення) цифрового сигналу помилки вимірювання E , оцифрованого сигналу поточного рівня рідини L та похибки вимірювання ΔL_A через ШД до ПЛК чи ОК. Причому сигнал помилки вимірювання E може приймати декілька значень (логічний нуль або логічна одиниця), що залежить від максимально допустимого значення похибки вимірювання рівня рідини ΔL_{max} , згідно з такою умовою:

$$E = \begin{cases} 0, & \text{для } \Delta L_A > \Delta L_{max} \\ 1, & \text{для } \Delta L_A \leq \Delta L_{max} \end{cases} \quad (4)$$

Отже, $E = 0$ указує на несправність ГДР під час спрацьовування ДДР, а ситуація, коли $E = 1$ під час спрацьовування ДДР, відповідає справності ГДР та його функціонуванню із заданою точністю ($\Delta L_A \leq \Delta L_{max}$).

Загальна діагностична інформація обробляється ПЛК чи ОК, поточне значення L і ΔL_A записується в базу даних вимірювань, яка потім може бути використана для визначення діагностичних параметрів та корекції значень рівня рідини в баластному танку, а сигнал помилки вимірювання E передається через Інтернет-мережу до хмарної служби, до якої є спеціальний доступ із ПК та МК операторів. Крім того, Інтернет на плавучому доці забезпечується модемом МБЗ за допомогою глобальної бездротової мобільної технології 4G (швидкість передачі даних до 1 Гбіт/с) і поширюється за допомогою роутера Р.

Моделювання процесів технічної діагностики представлено на рис. 1.3 для випадку справного і несправного ГДР. Рівень рідини L у баластному танку знаходиться в трьох станах, відокремлених за часом: процес підвищення рівня; постійний рівень рідини ($L = 3$ м); процес зниження рівня.

Процес діагностування відбувається під час спрацювання дискретного датчика рівня (10 хв та 60 хв на рис. 1.3.). Зміна сигналу F від 0 В до 5 В та падіння сигналу F від 5 В до 0 В утворюють певні додатні та від'ємні значення диференційованих сигналів, які в подальшому приймають абсолютне значення D_A . Коли D_A більше нуля, похибка вимірювання ΔL_A порівнюється з максимальним значенням ΔL_{max} . У випадку $\Delta L_A \leq \Delta L_{max}$ (рис. 1.3, а) сигнал помилки E залишається одиницею ($E = 1$), а якщо $\Delta L_A > \Delta L_{max}$ (рис. 1.3, б), то сигнал помилки E на 60 хвилині набуває нульового рівня ($E = 0$).

Для надання результатів технічної діагностики ГДР плаваючого дока спеціалістам на береговому контрольному посту доцільно застосувати концепцію Інтернет речей з сучасними хмарними технологіями [19–21].

Для цих завдань обрано хмарний сервіс ThingSpeak, який є відкритою платформою для проектів Інтернет-речей із прикладним програмним інтерфейсом API. ThingSpeak дозволяє створювати програмний додаток для моніторингу датчиків у режимі реального часу.

Робота з даними технічної діагностики в каналах ThingSpeak здійснюється за допомогою періодичних запитів POST і GET із зазначенням ключа API та значення для відповідного поля каналу. Причому канали підтримують формати XML, JSON та CSV.

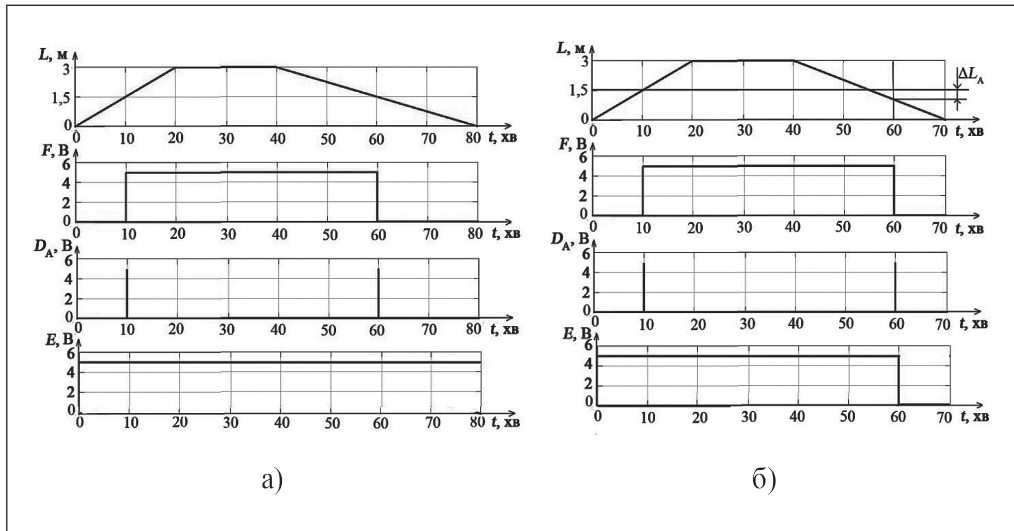


Рис. 1.3. Результати моделювання процесів діагностування ГДР: а) у разі справного датчика; б) у разі несправного датчика

Крім того, завантаження даних у канали може бути реалізоване за допомогою URL-адреси. Наприклад, якщо ключ є API-XXXXXXXXXXXXXXXXXX, URL-адреса для оновлення полів 1 та 2 з значеннями 1 і 0 має такий вигляд:

«[Http://api.thingspeak.com/update?key=ABC1234L6789STIV&field1=1&field2=0](http://api.thingspeak.com/update?key=ABC1234L6789STIV&field1=1&field2=0)».

Кожен використаний канал введення даних зберігається разом із датою та міткою часу, а також підписаним унікальним ідентифікатором запису (entry_id). Тобто збережені дані можна отримати за часом або за ідентифікатором.

Таким чином, у службі ThingSpeak один канал використовується для передання та зберігання даних технічної діагностики ГДР. Стан експлуатації ГДР представлено в сервісі ThingSpeak (рис. 1.4). Червоною лінією показано роботу ГДР, який, як показано на екрані під час його роботи, переходив у непрацюючий стан, рівень лінії змінювався (1 → 0).

У реальних ситуаціях існує потреба в значно більших обсягах передання даних діагностики ГДР. Стандартна ліцензія ThingSpeak може використовуватися для діагностики плавучого доку. За допомогою стандартної ліцензії можна оновлювати дані з датчиків рівня один раз на секунду, але в цілому ця версія дозволяє обробляти та зберігати 33 мільйони повідомлень протягом одного року. Крім того, запис до 8 полів в одному каналі ThingSpeak визначається повідомленням (кожне повідомлення не може перевищувати 3 000 байтів).

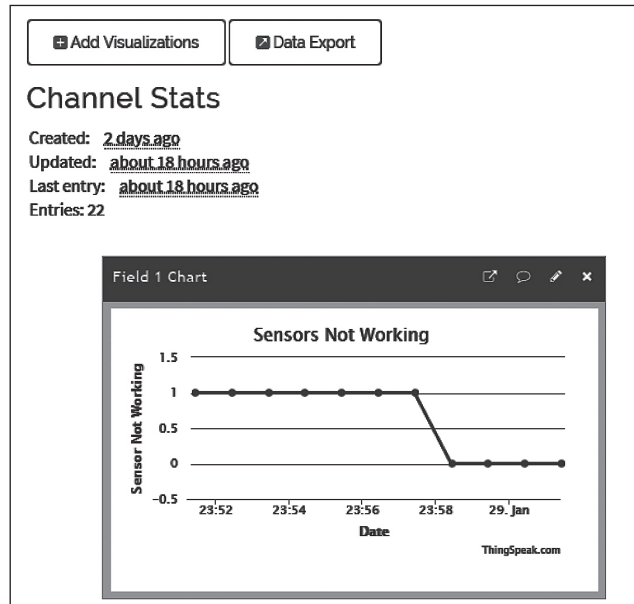


Рис. 1.4. Веб-інтерфейс технічної діагностики датчиків рівня в ThingSpeak

Висновки. У цій роботі пропонується підхід до розроблення комп'ютеризованої системи для дистанційної технічної діагностики датчиків рівня ГДР баластних комплексів плавучого доку. Особлива увага приділяється підвищенню безпеки та надійності системи. Запропонована функціональна схема може бути легко адаптована до більш складних систем і успішно впроваджена в існуючі та модифіковані системи контролю та моніторингу плавучих споруд.

Інформація про поточний технічний стан гідростатичних датчиків рівня відображається графічно на моніторі комп'ютера за допомогою хмарного

сервісу Thing-Speak. Результати оцінки станів датчиків використовуються для прийняття рішення про подальше використання того чи іншого датчика.

Подальші дослідження повинні бути проведені у напрямі покращення інформаційної

мережі через підвищення ефективності передавання даних та її захищеності, а також усунення непередбачених затримок між пристроями локального рівня та хмарними серверами, що їх обслуговують.

Список літератури:

1. Павлов П.Я., Рогулин А.Н. Эффективность эксплуатации доков. Москва: Транспорт, 1987. 176 с.
2. Зивенко А.В. Система измерения параметров посадки и прогиба дока. Вісник НУК ім. адмірала Макарова. 2014. № 3. С. 197–204.
3. Zhukov Yu., Gordeev B., Zivenko A., Nakonechniy A.: Polymetric Sensing in Intelligent Systems. Chapter in the book *Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation*. River Publishers, 2015. P. 211–234.
4. Кондратенко Ю.П., Коробко О.В., Козлов О.В. та ін. Комп'ютеризована інформаційно-вимірвальна система для контролю рівня і об'єму рідини в резервуарах зі складною геометрією. Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2015. № 18 (94). С. 114–121.
5. Конюхов В.Н. Исследование емкостного датчика давления: Методические указания к лабораторной работе. Самара: СГАУ. 2006. 23 с.
6. Жданкин В.С. Приборы для измерения уровня. Современные технологии автоматизации. 2002. № 3. С. 6–19.
7. Дорожовець М.М., Івахів О.В., Мокрицький В.О. Уніфікуючі перетворювачі інформаційного забезпечення мехатронних систем. Навчальний посібник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. 304 с.
8. Ширяев В.В. Компьютерные измерительные средства. Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2008. 190 с.
9. Topalov A.M., Kondratenko Y.P., Kozlov O.V. Computerized intelligent system for remote diagnostics of level sensors in the floating dock ballast complexes. *Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*. – Kyiv, Ukraine, May 14–17, 2018, P. 94–108.
10. Kondratenko Y., Kozlov O., Korobko O., Topalov A. *Complex Industrial Systems Automation Based on the Internet of Things Implementation Communications in Computer and Information Science*, vol 826. Springer, Cham, P. 164–187.
11. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Коробко О.В., Топалов А.М., Атаманюк І.П. Комп'ютеризована система контролю та управління параметрами плавучого доку. Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. Збірник наукових праць. Житомир: ЖВІ, 2015. Вип. 12. С. 118–129.
12. Kondratenko Y.P., Kozlov O.V., Korobko O.V., Topalov A.M. Synthesis and Optimization of Fuzzy Control Systems for Floating Dock's Docking Operations. *Book of Fuzzy Control Systems*, Nova Science Publishers, Chapter 4, 2017. P. 141–213.
13. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Коробко О.В., Топалов А.М. Удосконалення комп'ютеризованої інформаційно-вимірвальної системи для контролю рівня і об'єму рідини в суднових резервуарах. Міжнародна конференція з автоматичного управління та інформаційних технологій ICACIT-2015: Матеріали 3-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління та інформаційних технологій. Київ, 11–13 грудня 2015. С. 112–115.
14. Чебоксаров А.Н. Основы теории надежности и диагностика: конспект лекций. Омск: СибАДИ, 2012. 76 с.
15. Строев О.Я. Надежность информационных систем: метод. указания к курсовому проектированию. Хабаровск: ДВГУПС, 2008. 28 с.
16. Федотов А.В., Скабкин Н.Г. Основы теории надежности и технической диагностики: конспект лекций. Омск: ОмГТУ, 2010. 64 с.
17. Кондратенко Ю.П., Коробко О.В., Кондратенко Г.В., Козлов О.В., Герасін О.С., Топалов. А.М. Спосіб автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах з дискретним самотестуванням: Пат. 102167 UA, заявл. 23.02.2015; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20. 6 с.
18. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Коробко О.В. Система автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах із дискретним самотестуванням: Пат. 102887 UA, заявл. 18.05.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22. 7 с.
19. Guangxiang Yang, Hua Liang, Chao Wu. Deflection and inclination measuring system for floating dock based on wireless networks. *Journal Ocean Engineering*. 2013. Issue 69. P. 1–8.

20. Макаренко А. Ю., Парфенова А. О., Могильний С. Б. Бездротові технології передачі даних WI-FI, BLUETOOTH, ZIGBEE. Вісник Національного технічного університету України «КПІ». 2010. № 41. С. 171–181.

21. Pasha. S. Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis. International Journal of New Technology and Research (IJNTR), 2, 6, 2016. P. 19–23.

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДАТЧИКОВ УРОВНЯ БАЛЛАСТНОГО КОМПЛЕКСА ПЛАВУЧЕГО ДОКА

В работе представлена разработка специализированной компьютеризированной системы для дистанционной диагностики датчиков уровня балластного комплекса плавучего дока. Авторами предложен метод проверки исправности гидростатических датчиков уровня, что в целом повышает надежность функционирования плавучего дока. В разработанной компьютеризированной системе предусмотрено накопление диагностической информации микропроцессорными устройствами. Общие результаты работы системы удаленной диагностики, в частности технические состояния датчиков отображаются графически в реальном времени с помощью облачного сервиса.

Ключевые слова: диагностика, облачный сервис, измерение уровня жидкости, датчик, компьютеризованная система.

COMPUTERIZED SYSTEM FOR REMOTE DIAGNOSTICS OF LEVEL SENSORS IN THE FLOATING DOCK BALLAST COMPLEX

In this work the development of a specialized computerized system for remote diagnostics of level sensors of floating dock ballast system is presented. The system has a hierarchical structure in which information processing is decentralized, and software and hardware components are removed from each other. The authors propose a method of checking the correctness of hydrostatic sensors of the level that generally increases system reliability. In the developed system the accumulation of diagnostic information is provided by microprocessor devices. The overall results of work of the remote diagnostics system, namely the technical condition of the sensors, are displayed graphically in real time using a cloud service.

Key words: diagnostics, cloud service, liquids level measurement, sensor, computer system.

Яворська Є.Б.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Дозорський В.Г.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Дедів Л.Є.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Дозорська О.Ф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ БІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ВІДНОВЛЕННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ЛЮДИНИ

На основі математичної моделі біосигналів у вигляді кусково-стаціонарного випадкового процесу розроблено метод опрацювання електроенцефалографічних та електроміографічних сигналів у межах ковзного вікна, що дає змогу виявити часові моменти початку та закінчення процесу мовлення (за результатами опрацювання електроенцефалографічних сигналів) та виявляти ознаки наявності основного тону (за результатами опрацювання електроміографічних сигналів) під час реалізації комунікативної функції людини.

Ключові слова: електроенцефалографічний сигнал, електроміографічний сигнал, кусково стаціонарний випадковий процес.

Постановка проблеми. Комунікативна функція є найважливішим засобом обміну інформацією між людьми. Ця функція повністю може бути реалізована за умов повноцінного функціонування мовних відділів центральної нервової системи, дихальної системи та органів голосового апарату, останні безпосередньо реалізують цю функцію. Однак спостерігається зростання кількості людей з обмеженою або втраченою комунікативною функцією, зокрема через порушення роботи цих трьох систем [1]. Тому завдання пошуку способів відновлення комунікативної функції мови (найважливішого засобу спілкування людей) є актуальною для медицини.

Відомо, що основним джерелом відомостей про роботу системи є сигнал, який утворюється в процесі функціонування цієї системи [2]. Тому відновлювати комунікативну функцію можна шляхом належного опрацювання біосигналів, які виникають у процесі мовлення. Методи опрацювання визначатимуть алгоритми функціонування програмного забезпечення технічних засобів відновлення комунікативної функції людини.

Аналіз останніх досліджень. У працях [3–5] запропоновано спосіб відновлення комунікативної функції, який ґрунтується на відборі та опрацюванні двох груп біосигналів, зокрема електроен-

цефалографічних (далі – ЕЕГ) сигналів, що відібрані з поверхні голови пацієнтів поблизу мовних центрів, та електроміографічних (далі – ЕМГ) сигналів, відібраних із поверхні шиї поблизу голосових складок. Доцільність відбору та опрацювання першої групи біосигналів пояснюється тим, що в структурі повинні міститись відомості про формування та поширення груп нервових імпульсів, за допомогою яких мовні центри головного мозку здійснюють керування роботою органів голосового апарату при реалізації комунікативної функції [6]. Доцільність відбору та опрацювання групи ЕМГ сигналів ґрунтується на положеннях нейронаксичної теорії фонації Р. Юссона [4; 7], яка описує процес функціонування голосових складок. Відповідно до цієї теорії голосові складки коливаються не пасивно під дією турбулентного потоку повітря, що нагнітається легеньми [8], а активно внаслідок скорочень м'язів, які натягують і розслаблюють еластичні голосові складки. При цьому частота скорочень цих м'язів збігається з частотою основного тону продукovanого голосового сигналу. Скорочення м'язів у цьому процесі відбувається під дією нервових імпульсів, які надходять із мовних центрів головного мозку.

Запропонований у працях [3–5] спосіб включає в себе такі три етапи: 1) за результатами опра-

цювання ЕЕГ сигналів устанавлюються часові моменти початку та кінця процесу мовлення; 2) за результатами опрацювання ЕМГ сигналів устанавлюються часові моменти присутності ознак основного тону, що є індикаторами голосних та приголосних вокалізованих фонем; 3) за змінами значень частоти основного тону проводиться ідентифікація голосних та приголосних вокалізованих фонем і проводиться розпізнавання мови.

Для опрацювання ЕЕГ та ЕМГ сигналів необхідно розробити метод, який повинен визначатись адекватною поставленій задачі математичною моделлю ЕЕГ та ЕМГ сигналів. Така модель має містити інформативну характеристику – ознаку зміни в роботі відповідних органів чи систем при реалізації комунікативної функції.

Для застосування методів гармонічного аналізу до опрацювання ЕЕГ та ЕМГ сигналів при поданні їх у вигляді детермінованого процесу [9] в стані спокою (коли не реалізується комунікативна функція) оцінки амплітудних спектрів вибірок із цих сигналів повинні бути стійкі до часових зсувів (для виявлення ознак основного тону при мовленні). Однак помічено, що оцінки амплітудних спектрів є мінливими в стані спокою, тому виявити ознаки основного тону в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів цим методом складно.

Мінливість амплітудних спектрів указує на присутність випадкового складника в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів. Відомим є спосіб подання цих сигналів у вигляді стаціонарного випадкового процесу [9]. Однак у структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів мають проявлятися ознаки реалізації комунікативної функції, що можна трактувати змінами типу стаціонарності таких сигналів. Математичною моделлю ЕЕГ та ЕМГ сигналів використано кусково-стаціонарний випадковий процес [10], а поставлене завдання зводиться до виявлення часових моментів зміни типу стаціонарності (появи розладки) [10].

Постановка завдання. Для реалізації запропонованого способу відновлення комунікативної функції людини необхідно обґрунтувати метод опрацювання ЕЕГ та ЕМГ сигналів, виходячи з математичної моделі таких біосигналів у вигляді кусково-стаціонарного випадкового процесу.

Результати дослідження. Для обґрунтування методу опрацювання проведено експериментальний відбір ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Для відбору ЕЕГ сигналів застосовано 16-ти канальний електроенцефалограф Нейроком, ХАІ Медика. Для реєстрації використовувалася стандартна схема накладання електродів «10-20%».

Із метою забезпечення однорідності статистичного матеріалу запис ЕЕГ проводився в однакових умовах, з одної і тої ж особи в положенні сидячи із заплющеними очима. Тривалість запису становила 2 хв. Піддослідній особі пропонувалось протягом першої хвилини запису намагатись не думати ні про що, а протягом другої хвилини – інтенсивно «подумки» повторювати слово «вверх».

У результаті такого опрацювання відібраних ЕЕГ сигналів було встановлено, що в структурі сигналів, записаних із певних відведень особливо інтенсивно проявляється зміна амплітуди – її зростання на ділянці, що характеризує другу хвилину запису. Це можна пояснити підвищенням мозкової активності в процесі вимовляння «подумки» слова «вверх».

Для обґрунтування та верифікації методу опрацювання біосигналів необхідним є також паралельний відбір голосових сигналів, ознаки яких будуть проявлятися у структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Розроблено блок відбору ЕМГ сигналів, який є одним вхідним каналом електроенцефалографа Нейроком із розширеною смугою пропускання. Із виходу блока відбору корисний сигнал подавався на один із входів звукової картки персонального комп'ютера. На інший вхід подавався сигнал із електродинамічного мікрофона. Для власне запису зазначених біосигналів було застосовано програмний пакет Adobe Audition.

Відповідно до запропонованого способу відновлення комунікативної функції людини необхідно за результатами опрацювання ЕЕГ сигналів визначити часові моменти початку та кінця процесу мовлення. Для цього використано метод ковзного вікна.

На рис. 1. наведено вигляд реєстрограми ЕЕГ сигналу з ознаками підвищення мозкової активності. Прямокутниками умовно позначено вікно, яке зсувається в часі і в межах якого проводиться опрацювання сигналу.

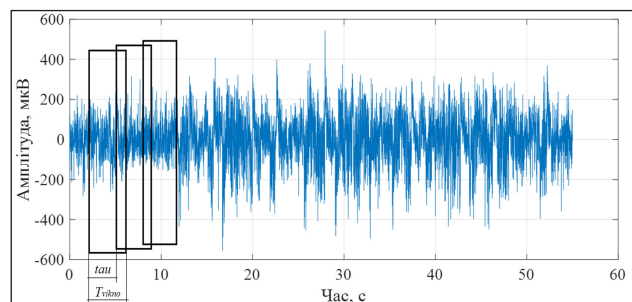


Рис. 1. Переміщення ковзного вікна по реєстрограмі ЕЕГ сигналу.

$T_{\text{вікно}}$ – ширина вікна, τ – величина зсуву вікна

Проведено обґрунтування ширини вікна. Вона визначається з виразу (1).

$$T_{\text{вікно}} = \frac{N}{f_{\text{осн.тону}}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{вікно}}$ – ширина вікна; $f_{\text{осн.тону}}$ – частота основного тону; N – коефіцієнт, значення якого обґрунтовується результатами досліджень, що наведені в праці [7] (N приблизно рівне 50).

Для встановлення початку та закінчення процесу мовлення за ЕЕГ сигналом, в межах ковзного вікна проводилось обчислення оцінок розподілу спектральної густини потужності. Потім обчислювалось математичне сподівання від цих оцінок.

На рис. 2 наведено вигляд реєстрограми ЕЕГ з ознаками підвищеної мозкової активності після 12 секунд та графік зміни оцінок математичного сподівання спектральної густини потужності, обчислених методом ковзного вікна. Із графіків видно, що запропоновані оцінки математичного сподівання є чутливими до проявів зміни мозкової активності в ЕЕГ сигналі.

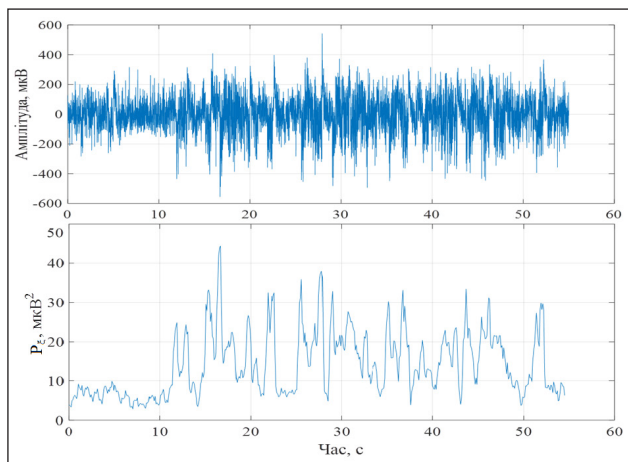


Рис. 2. Реєстрограма ЕЕГ сигналу (верхній рисунок) та оцінки математичного сподівання середньої густини потужності (нижній рисунок), обчислені в межах ковзного вікна

Критерієм визначення часових моментів початку та кінця процесу мовлення використано варіацію оцінок математичного сподівання спектральної густини потужності $VAR(\hat{M}_\xi)$.

Установлено, що значення варіації збільшуються більш як на порядок за наявності ознак мозкової активності:

$$VAR(\hat{M}_\xi)_{\text{спокій}} = (2,9522 \pm 10\%) \text{ мкВ}^2,$$

$$VAR(\hat{M}_\xi)_{\text{мовлення}} = (83,3164 \pm 10\%) \text{ мкВ}^2.$$

Тому запропонований критерій є чутливим та може бути використаний для встановлення часових моментів початку та закінчення процесу мовлення за ЕЕГ сигналом.

На наступному етапі застосування запропонованого способу відновлення комунікативної функції необхідно провести виділення ознак основного тону в структурі ЕМГ сигналів.

Для опрацювання ЕМГ сигналів також використано метод ковзного вікна. У межах кожного вікна проводилось обчислення оцінок розподілу спектральної густини потужності та оцінювання наявності формант у діапазоні зміни частоти основного тону.

Для визначення діапазону зміни частоти основного тону було проаналізовано реєстрограму голосового сигналу (рис. 3) та оцінено діапазон зміни значень частоти основного тону за оцінками розподілу спектральної густини потужності (рис. 4).

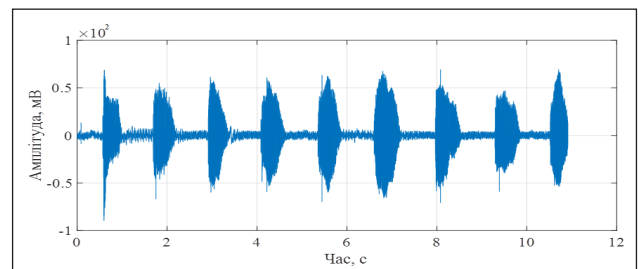


Рис. 3. Реєстрограма реалізацій голосового сигналу [а]

Як і у разі формантного аналізу [8], частота розміщення першого максимуму відповідає частоті основного тону. У нашому випадку ЧОТ змінюється в діапазоні 177–189 Гц.

Вигляд оцінок розподілу спектральної густини потужності ЕМГ сигналу, що обчислені в межах ковзного вікна, наведено на рис. 5.

Установлено, що на ділянках ЕМГ сигналу, які відповідають процесу голосотворення, спостерігається наявність максимумів у заданому діапазоні частот.

Критерієм визначення наявності ознак основного тону в структурі ЕМГ сигналів використано значення максимумів розподілу спектральної густини потужності в діапазоні 150–200 Гц (розширений діапазон значень частоти основного тону). Значення цього критерію, обчислені для ділянок ЕМГ сигналу, що відповідають процесу мовлення та стану спокою відповідно становлять:

$$\max(\hat{G}_n(\xi_{EMG}))_{\text{спокій}} = (0,3841 \cdot 10^4 \pm 10\%) \text{ мкВ}^2$$

$$\max(\hat{G}_n(\xi_{EMG}))_{\text{мовлення}} = (4,3167 \cdot 10^4 \pm 10\%) \text{ мкВ}^2$$

Установлено, що запропоновані оцінки варіації математичного сподівання спектральної густини потужності вибірок ЕЕГ сигналу та максимумів розподілу спектральної густини потужності вибірок ЕМГ сигналу є інформативними, а за значеннями можна встановлювати початок і закінчення процесу мовлення та виявляти ознаки основного тону для наступної ідентифікації фонем.

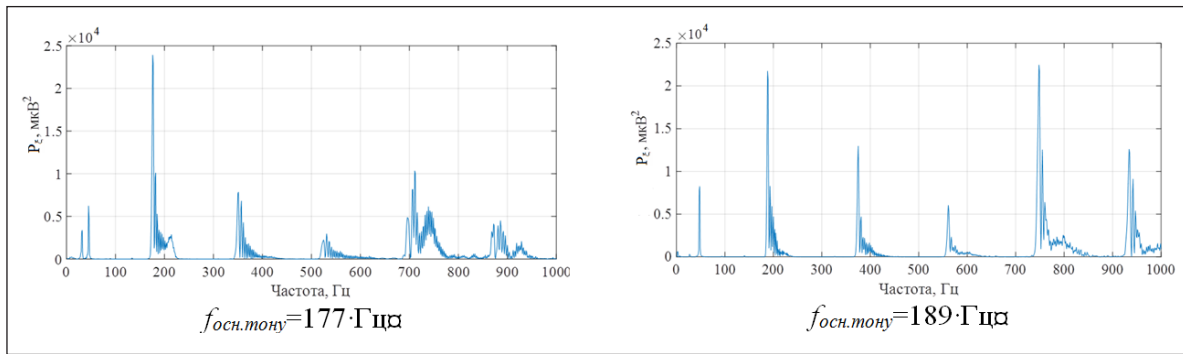


Рис. 4. Оцінки розподілу спектральної густини потужності вибірок із реєстрограми голосового сигналу

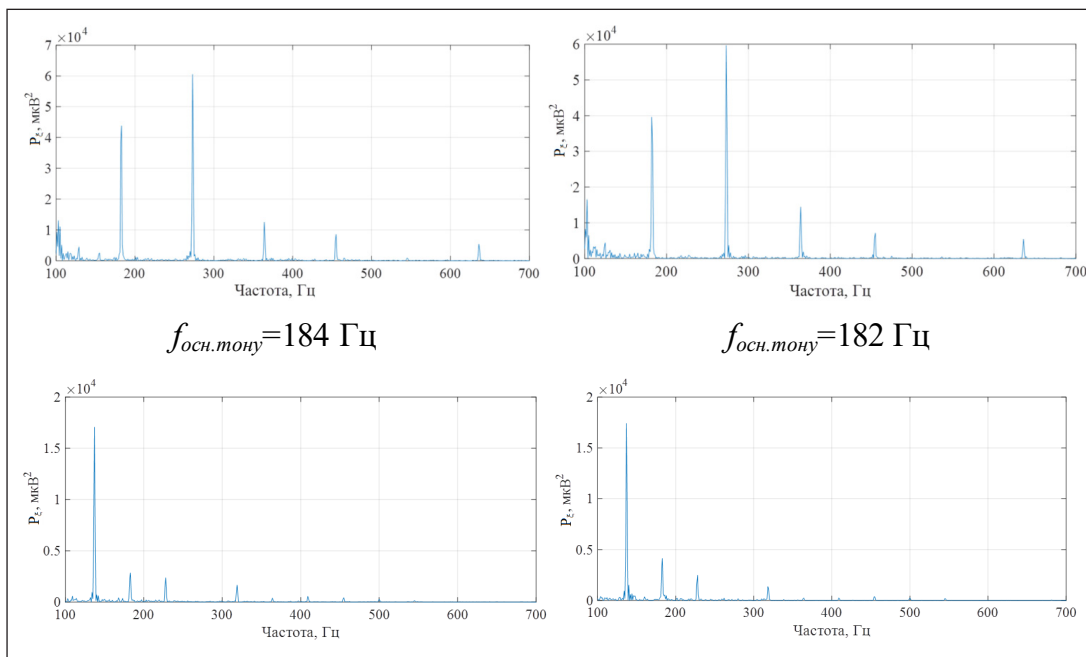


Рис. 5. Оцінки розподілу спектральної густини потужності, обчислені для вибірок з ЕМГ сигналу

Висновки. Розроблено метод статистичного опрацювання ЕЕГ та ЕМГ сигналів у межах ковзного вікна, що полягає в оцінюванні величини варіації математичного сподівання розподілу спектральної густини потужності вибірок з ЕЕГ сигналу та максимумів оцінок розподілу спектральної густини потужності в діапазоні існування частоти основного тону для вибірок з ЕМГ сигналів.

Установлено, що оцінки варіації математичного сподівання розподілу спектральної густини потуж-

ності вибірок з ЕЕГ сигналу є інформативними ознаками стану підвищення мозкової активності при реалізації комунікативної функції; оцінки максимумів розподілу спектральної густини потужності в діапазоні існування частоти основного тону для вибірок з ЕМГ сигналів є інформативними ознаками наявності основного тону в структурі ЕМГ сигналів. За значеннями запропонованих інформативних ознак можна проводити виявлення та ідентифікацію окремих фонем для відновлення комунікативної функції.

Список літератури:

1. Джафек Б., Старк Е. Секреты оториноларингологии: пер. с англ. / [под ред. Новикова Н. И., Овчинникова А. Ю.]. Москва: БИОНОМ: Невский диалект, 2001. 624 с.
2. Драган Я.П. Энергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів : монографія. Львів: Центр стратегічних досліджень екобіотехнічних систем, 1997. 333 с.

3. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б. Відбір та опрацювання біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції мови людини. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2017. Випуск 4(105) – С. 9-14.

4. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Яворська Є.Б. Застосування нейрохро-наксивної теорії фонації для задачі відновлення комунікативної функції мови людини. Znanstvena misel. Slovenia, 2017. №12. с. 57-61.

5. Яворська Є.Б., Дозорська О.Ф. Метод відновлення комунікативної функції мови людини. Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам X международной заочной научно-практической конференции: «Развитие науки в XXI веке» (уровень стандарта, академический уровень). Харьков: научно-информационный центр «Знание», 2016. Ч. 1 С. 38–41.

6. Sadaoki Furui. Digital speech. Processing, synthesis and recognition. Tokyo: Tokyo institute of technology, 2000. 439 с.

7. Рауль Юссон. Певческий голос: исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса. Москва: Музыка, 1974. 263 с.

8. Сорокин В.Н. Теория речеобразования. Москва: «Радио и связь», 1985. 312 с.

9. Абакумов В.Г., Геранін В.О., Рибін О.І., Сватош Й., Синєкоп Ю.С. Біомедичні сигнали та їх обробка. Київ: БЕК+, 1997. 352 с.

10. Методи оцінювання точності інформаційно-вимірювальних систем діагностики: Монографія / Н.Б. Марченко, В.В. Нечипорук, О.П. Нечипорук, Ю.В. Пепа та ін. Київ: НАУ, 2014. 377 с.

МЕТОД ОБРАБОТКИ БИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОММУНИКАТИВНОЙ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА

На основе математической модели биосигналов в виде кусочно стационарного случайного процесса разработан метод обработки электроэнцефалографических и электромиографических сигналов в пределах скользящего окна, который позволяет выявить временные моменты начала и окончания процесса речеобразования (по результатам обработки электроэнцефалографических сигналов) и выявлять признаки наличия основного тона (по результатам обработки электромиографических сигналов) при реализации коммуникативной функции человека.

Ключевые слова: электроэнцефалографический сигнал, электромиографический сигнал, кусочно стационарный случайный процесс.

THE METHOD OF BIOSIGNALS PROCESSING FOR THE TASK OF HUMAN COMMUNICATIVE FUNCTION RESTORING

On the basis of the mathematical model of biosignals in the form of a piecewise stationary random process, a method of electroencephalographic and electromyographic signals processing within the sliding window is developed. This method enables to detect the time moments of the beginning and end of the speech process (based on the results of electroencephalographic signals processing) and to identify the signs of the main tone presence (by results of electromyographic signals processing) during the implementation of the human communicative function.

Key words: electroencephalographic signal, electromyographic signal, piecewise stationary random process.

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1

Бойко С.М.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Носач І.В.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Кірюхіна М.В.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Хебда А.С.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

ЩОДО ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Метою роботи є аналіз можливості й особливостей застосування методу лінійної згортки для вибору альтернативних джерел електричної енергії з можливих варіантів реалізації в умовах залізорудних підприємств і розрахунок за цією методикою альтернативного джерела електричної енергії для конкретних умов. Обраний для вибору джерела альтернативної енергії метод лінійної згортки дає змогу максимально виключити людський фактор із процесу формування джерел розосередженої енергії на базі альтернативних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств за умови відповідного вибору критеріїв. За результатами розрахунку за методом лінійної згортки виявлено, що при заданих умовах вітроенергетичні установки є оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії для формування джерел розосередженої генерації в структурі комплексу електропостачання-електроспоживання залізорудного підприємства.

Ключові слова: електропостачання, електричні установки, альтернативні джерела енергії, метод лінійної згортки.

Постановка проблеми. Вітчизняні залізорудні підприємства (далі – ЗРП) як із підземним способом видобутку залізорудної сировини (далі – ЗРС), так і з відкритим (кар’єрним) належать до категорії енергоємних [1]. Водночас близько 90% спожитої енергії цими видами підприємств належить до розряду електричної енергії (далі – ЕЕ). Однак ЗРП не є еталоном електроенергоефективності, що, у свою чергу, впливає на собівартість ЗРС і її конкурентоспроможність.

Безумовно, в умовах ЗРП проводяться певні заходи щодо підвищення їх електроенергоефективності, але вони (заходи), даючи деяку економію коштів за спожиту ЕЕ, все ж таки мають свою межу, яка натеper уже близька до насичення на гірничих підприємствах України [2–3].

Між тим щодо проблеми підвищення енергоефективності в процесі видобутку корисних копалин з метою реалізації основних ціннос-

тей концепції Smart grid постає роль застосування альтернативних джерел енергії (далі – АДЕ) в створенні міні- та мікроелектростанцій як додаткових джерел ЕЕ в структурах систем електропостачання цих видів промислових підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показали результати досліджень, найбільш ефективним у цьому напрямі виглядає створення гідроакумуляюючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар’єрів і збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій і сонячних електростанцій [1–5].

Основні тенденції щодо підвищення електроенергоефективності в умовах ЗРП спрямовані на зниження собівартості залізорудної сировини й підвищення надійності системи електропостачання. У свою чергу, найбільший ефект очікується від упровадження та взаємодії технологій

інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням і впровадження АДЕ [2; 5].

Постановка завдання. Мета статті – аналіз можливості й особливостей застосування методу лінійної згортки для вибору альтернативних джерел електричної енергії з можливих варіантів реалізації в умовах ЗРП та розрахунок за цією методикою альтернативного джерела електричної енергії для конкретних умов.

Виклад основного матеріалу дослідження. Безумовно, в цьому комплексі напрямів підвищення енергоефективності ключова роль відводиться саме підприємствам [4]. При цьому важливим є рівень урахування в цій методології специфіки конкретних видів підприємств. Особливо це стосується підприємств гірничо-видобувного комплексу, які мають свою специфіку [5]. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції Smart Grid, яка включає в себе такі складники, як активне споживання електричної енергії, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом, розподілом і споживанням рівня електричної енергії [3]. Згідно із цим, сформовано такі ключові для сучасних умов підприємств вимоги світової енергетики майбутнього, як доступність, надійність, економічність, електроенергоефективність, екологічність та електроенергетична безпека [4].

Між тим щодо проблеми підвищення енергоефективності в процесі видобутку корисних копалин з метою реалізації основних цінностей концепції Smart grid постає роль застосування АДЕ в створенні міні- та мікроелектростанцій як додаткових джерел ЕЕ в структурах систем електропостачання цих видів промислових підприємств.

Як показали результати досліджень, найбільш ефективним у цьому напрямі виглядає створення гідроакумуляуючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів і збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій і сонячних електростанцій [2].

Основні тенденції щодо підвищення електроенергоефективності в умовах ЗРП спрямовані на зниження собівартості залізорудної сировини й підвищення надійності системи електропостачання. Найбільший ефект очікується від упровадження та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням і впровадження АДЕ [2].

У кожного альтернативного джерела є оптимальні умови роботи, які передбачають його дов-

готривале використання за умови отримання необхідного об'єму енергії. Зокрема, надмірне сонячне опромінення викликає вигорання фотоелементів сонячних батарей і призводить до зниження їх коефіцієнта корисної дії. Крім того, в нічний час сонячні батареї не працюють, а, навпаки, є навантаженням, на якому розсіюється енергія, що також необхідно враховувати під час експлуатації. У процесі застосування вітрових установок лопаті та внутрішні механічні частини піддаються великому тиску при надмірній силі вітру або перевищенні допустимої швидкості обертання вітряків, що також може стати причиною їх виходу з ладу.

Оскільки працездатність альтернативних джерел суттєво залежить від багатьох факторів, необхідно розробити способи вибору джерела живлення залежно від погодних умов і вимог споживача.

Ідея методу лінійної [4] згортки полягає в побудові єдиної цільової функції на основі заданої множини цільових функцій. Вибір того чи іншого виду згортки визначається характером взаємозв'язків складових її критеріїв, а також деякими спеціальними обмеженнями на ділянку значень згортки, що впливають зі специфіки конкретної задачі. Основні труднощі, що виникають під час формування та використання узагальнених критеріїв, полягають у складності визначення вагових коефіцієнтів, на які покладено функцію адекватного відображення ступеня важливості критерію, його фізичної розмірності й іноді інших факторів. До недоліків узагальнених критеріїв варто також зарахувати й те, що під час оцінювання вони не дають змоги враховувати ієрархічну залежність результуючого показника від значень часткових показників.

Ураховуючи переваги та недоліки розглянутих методів для вирішення багатокритеріальної задачі вибору джерела альтернативної енергії обрано метод лінійної згортки як найбільш простий у реалізації, але при цьому досить об'єктивний.

Вирішується задача оптимального вибору джерела АДЕ серед таких:

- сонячні енергетичні установки (далі – СЕУ) (для її позначення вводиться змінна x_1);
- вітроенергетичні установки (ВЕУ) (змінна x_2);
- міні- та мікрогідроенергетичні станції (мГЕС) (змінна x_3);
- акумулятори електричної енергії (змінна x_4).

Як критерії оптимальності вибору обрано:

- критерій k_1 – вплив АДЕ на екологію навколишнього середовища;
- критерій k_2 – вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ;

– критерій k_3 – вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ;

– критерій k_4 – собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ.

Використання методу передбачає знаходження двох згорток:

– перша згортка відкидає недоміновані альтернативи за всіма критеріями;

– друга згортка враховує вагові коефіцієнти важливості кожного з критеріїв та відкидає інші недоміновані альтернативи

Під час застосування методу лінійної згортки вводяться відносні вагові коефіцієнти важливості кожного критерію $W_j \geq 0$, сума яких $\sum_{j=1}^n W_j = 1, j = \overline{1, n}$ і які у відсотковому відношенні відображають важливість кожного параметра для особи, що приймає рішення.

Для задачі вибору джерела альтернативної енергії обрано такі значення: вплив АДЕ на екологію навколишнього середовища $W1=10\%$, вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ $W2=25\%$; вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ $W3=25\%$; собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ $W4=40\%$.

Наступним кроком є знаходження відношення переваг k_i за кожним критерієм.

Отже, відношення переваг для першого критерію (вплив АДЕ на екологію навколишнього середовища) записується так:

$$k_1 : x_1 = x_2; x_1 > x_4; x_1 > x_3; x_4 < x_3; x_3 < x_2; x_4 < x_2. \quad (1)$$

Аналіз другого критерію проводиться аналогічно.

Отже, відношення переваг для другого критерію (вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ) записується так:

$$k_2 : x_1 < x_2; x_2 = x_3; x_1 < x_3; x_2 < x_4; x_3 < x_4; x_1 < x_4. \quad (2)$$

Аналіз третього критерію проводиться аналогічно.

Отже, відношення переваг для третього критерію (вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ) записується так:

$$k_3 : x_2 < x_1; x_2 < x_3; x_2 < x_4; x_1 < x_3; x_1 < x_4; x_3 < x_4. \quad (3)$$

Аналіз четвертого критерію проводиться аналогічно.

Отже, відношення переваг для четвертого критерію (собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ) записується так:

$$k_4 : x_1 < x_2; x_2 > x_3; x_3 > x_4; x_2 > x_4; x_1 > x_3; x_1 > x_4. \quad (4)$$

Знаходимо функцію належності – матрицю $\mu_{k_i}(x_i, x_j)$, у якій рядками і стовпцями є альтернативи.

$$\mu_{k_i}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & x_{34} \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} & x_{44} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матриця $\mu_{k_i}(x_i, x_j)$ заповнюється так, що на перетині i -того рядка та j -того стовпчика ставиться:

– «0» якщо альтернативі i надається менша перевага, ніж альтернативі;

– «1» якщо альтернативі i надається більша перевага, ніж альтернативі.

Функція належності будується для кожного окремо взятого критерію.

Як зазначено раніше, за лінійною згортокою проводимо розрахунок.

Для першого критерію k_1 формується така матриця $\mu_{k_1}(x_i, x_j)$:

$$\mu_{k_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Для другого критерію k_2 матриця $\mu_{k_2}(x_i, x_j)$ набуває такого вигляду:

$$\mu_{k_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Для третього критерію k_3 матриця $\mu_{k_3}(x_i, x_j)$ набуває такого вигляду:

$$\mu_{k_3}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для четвертого критерію k_4 матриця $\mu_{k_4}(x_i, x_j)$ набуває такого вигляду:

$$\mu_{k_4}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Наступним кроком є визначення першої згортки методом поелементного визначення мінімуму між усіма функціями належності ($\alpha_{k_1}, \alpha_{k_2}, \alpha_{k_3}, \alpha_{k_4}$) та записом результатів у відповідну матрицю $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ у вигляді:

$$\mu_{Q_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} & x'_{13} & x'_{14} \\ x'_{21} & x'_{22} & x'_{23} & x'_{24} \\ x'_{31} & x'_{32} & x'_{33} & x'_{34} \\ x'_{41} & x'_{42} & x'_{43} & x'_{44} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Елементи матриці $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ визначаються як мінімальне значення елемента x_{ij} по всіх матрицях $\mu_{k_i}(x_i, x_j)$. Тоді:

$$\mu_{Q_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Знаходимо поелементний максимум різниці $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ і матриці $\mu_{Q_1}'(x_i, x_j)$. Визначаємо ступінь переваги альтернативи x_1 відносно x_j , тобто $x_{ij} = \max\{0; x_{ij}' - x_{ji}'\}$, від'ємний результат прирівнюють до «0».

Складаємо матрицю $\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j)$, яка відобразить перевагу альтернатив, і записуємо її у вигляді:

$$\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11}^S & x_{12}^S & x_{13}^S & x_{14}^S \\ x_{21}^S & x_{22}^S & x_{23}^S & x_{24}^S \\ x_{31}^S & x_{32}^S & x_{33}^S & x_{34}^S \\ x_{41}^S & x_{42}^S & x_{43}^S & x_{44}^S \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Елемент x_{12}^S у результуючій матриці $\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j)$ визначають за формулою $x_{12}^S = \max\{0, x_{12}' - x_{21}'\}$.

$$\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Знаходимо $x_j^{nd} = 1 - \max\{x_{ij}^S\}$.

Тоді $x_1^{nd} = x_2^{nd} = x_3^{nd} = x_4^{nd} = 1 - \max\{x_{ij}^S\}$. Тоді перша згортка:

$$\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j) = [x_1^{nd}, x_2^{nd}, x_3^{nd}, x_4^{nd}] = [1, 1, 1, 1]. \quad (14)$$

Друга згортка передбачає важливість кожного з критеріїв. Тоді помножимо функції належності на вагові коефіцієнти w_1, w_2, w_3, w_4 та одержимо матриці $\mu_{k_1}^{w_1}(x_i, x_j)$, $\mu_{k_2}^{w_2}(x_i, x_j)$, $\mu_{k_3}^{w_3}(x_i, x_j)$, $\mu_{k_4}^{w_4}(x_i, x_j)$.

Тобто

$$\mu_{k_1}^{w_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$\mu_{k_2}^{w_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0,25 & 0,25 \\ 0,25 & 0,25 & 0 & 0,25 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$\mu_{k_3}^{w_3}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,25 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0 & 0 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$$\mu_{k_4}^{w_4}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 & 0,4 & 0,4 \\ 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 0,4 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Згортка $\mu_{Q_2}(x_i, x_j)$ формується шляхом поелементної суми одержаних результатів у матрицях функції належності (15, 16, 17, 18), і записуємо її у вигляді:

$$\mu_{Q_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11}'' & x_{12}'' & x_{13}'' & x_{14}'' \\ x_{21}'' & x_{22}'' & x_{23}'' & x_{24}'' \\ x_{31}'' & x_{32}'' & x_{33}'' & x_{34}'' \\ x_{41}'' & x_{42}'' & x_{43}'' & x_{44}'' \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$$\mu_{Q_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0,35 & 0,5 & 0,5 \\ 0,75 & 1 & 0,75 & 0,75 \\ 0,25 & 0,25 & 1 & 0,75 \\ 0,5 & 0,5 & 0,25 & 1 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

За коефіцієнтами матриці (20) визначаємо ступінь переваги альтернативи x_i відносно x_j і складаємо матрицю $\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j)$ і ступінь, із яким альтернатива x_j не домінується із жодною іншою альтернативою, та записуємо вектор $\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j)$. Тоді матриця $\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j)$ за формулою $x_{ij}^S = \max\{0; x_{ij}'' - x_{ji}''\}$, замінюючи від'ємний результат на «0», матиме такий вигляд:

$$\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,25 & 0 \\ 0,4 & 0 & 0,5 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (21)$$

За формулою $x_j^{nd} = 1 - \max\{x_{ij}^S\}$ знаходимо ступінь, із яким альтернатива x_j не домінується ні з однією іншою альтернативою.

Тоді вектор 2-ої згортки можна записати так:

$$\mu_{Q_2}^{nd}(x_i, x_j) = [x_1^{nd}, x_2^{nd}, x_3^{nd}, x_4^{nd}] = [0,6 \quad 1 \quad 0,5 \quad 0,5]. \quad (22)$$

Далі виконується аналіз отриманих згорток (14) і (22) шляхом визначення максимальної оцінки. Як найкраща альтернатива визначена змінна x_2 , оскільки цій змінній відповідають максимальні значення «1» в обох згортках (14) і (22). Оскільки ця змінна відображає ВЕУ, то при заданих умовах ВЕУ можна вважати оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії.

Розглянутий метод легко розширяється при зростанні кількості альтернатив і критеріїв шляхом збільшення розмірності матриць і їх кількості. З огляду на просту програмну реалізацію, зберігається його гнучкість, що забезпечує швидку обробку даних. Але наявний фактор суб'єктивізму на етапі формування критеріїв.

Висновки. Обраний для вибору джерела альтернативної енергії метод лінійної згортки дає змогу максимально виключити людський фактор із процесу формування джерел розосередженої енергії на базі альтернативних джерел енергії в умовах залізородних підприємств за умови відповідного вибору критеріїв. Цей метод легко адаптується при зміні кількості джерел і критеріїв вибору. За результатами розрахунку за методом лінійної згортки виявлено, що при заданих умовах вітроенергетичні установки є оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії.

Список літератури:

1. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул та інші. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. 219 с.
2. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья: монография / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко; под ред. докт. техн. наук, профессора О.Н. Синчука. Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В., 2015. 296 с.
3. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізорудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, С.М. Бойко, Ф.І. Караманиць, О.М. Ялова, Р.О. Пархоменко. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
4. Леснік С.В., Хижняк Т.А. Застосування методу лінійної згортки для вибору джерела альтернативної енергії. Електроніка і зв'язь. Київ: КПІ, 2013. № 3. С. 24–30.
5. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: підручник, 7-е вид., перероб. та доп. Київ: Вид. дім «Слово», 2006. 816 с.

К ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Целью работы является анализ возможности и особенностей применения метода линейной свертки для выбора альтернативных источников электрической энергии из возможных вариантов реализации в условиях железорудных предприятий и расчет по этой методике альтернативного источника электрической энергии для конкретных условий. Выбранный для выбора источника альтернативной энергии метод линейной свертки позволяет максимально исключить человеческий фактор из процесса формирования источников рассредоточенной энергии на базе альтернативных источников энергии в условиях железорудных предприятий при условии соответствующего выбора критериев. По результатам расчета по методу линейной свертки обнаружено, что при заданных условиях ветроэнергетические установки являются оптимальным вариантом среди представленных источников альтернативной энергии для формирования источников рассредоточенной генерации в структуре комплекса электроснабжения электропотребления железорудного предприятия.

Ключевые слова: электроснабжение, электрические установки, альтернативные источники энергии, метод линейной свертки.

THE PROBLEM OF FORMATION OF SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION IN THE IRON COMPANY

The purpose of this work is to analyze the possibility and features of the use of the method of linear convolution for the choice of alternative sources of electric power from possible options in the conditions of iron ore enterprises and the calculation of this method of an alternative source of electric energy for specific conditions. The method of linear convolution chosen to select an alternative energy source allows to exclude as much as possible the human factor from the process of formation of distributed energy sources based on alternative sources of energy in the conditions of iron ore enterprises, subject to the appropriate choice of criteria. According to the results of the calculation by the method of linear convolution, it was found that under given conditions, wind power plants are the best option among the presented sources of alternative energy for the formation of distributed generation sources in the structure of the electricity supply system-the electricity consumption of the iron ore company.

Key words: electric power supply, electric installations, alternative energy sources, method of linear convolution.

Дурас М.В.

Національний науковий центр

«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

ТИПИ АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ ТА СПОСОБИ ЇХ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО СПОЖИВАЧІВ

У статті проведено вибір автономних джерел електроенергії, що використовуються на території України. Виконано їх класифікацію за різними ознаками та наведено опис. Розглянуто схеми під'єднання до споживачів вітрових, сонячних і біогазових установок.

Ключові слова: джерела електроенергії, відновлювальні джерела електроенергії, автономні джерела електроенергії, сонячна батарея, вітрогенератор, гідроелектростанція, біогазова установка, когенератор, міні-ТЕЦ, дизель-генератор, бензиновий генератор, газогенератор.

Постановка проблеми. Останнім часом діюча енергосистема в Україні та світі не в змозі забезпечувати в повному та якісному обсязі потреби населення. Усе більшого поширення набувають автономні джерела електроенергії. З розвитком технологій неважко знайти необхідне обладнання, але головною проблемою залишається обрати найвигідніший тип і схему, що задовольняють потреби споживачів у повному обсязі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Станом на поточний час проблемами систематизації та вибором найдосконаліших і найдоречніших автономних джерел електроенергії займається низка науковців, серед яких варто відмітити А.К. Курманова, Д.О. Кулагіна, Н.Н. Гладишева та інших.

Постановка завдання. Розгляд наявних типів автономних джерел електроенергії, їх класифікація та схеми підключення до споживачів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Існує декілька класифікацій електроенергетичних ресурсів:

1. За типом відновлення: відновлювані, невідновлювальні.
2. За ступенем автономності: автономні, неавтономні, автономні, пов'язані з енергосистемою.

До відновлювальних джерел електроенергії належать вітер, сонце, вода, біомаса.

До невідновлюваних зараховують нафтопродукти, вуглеводневий скраплений/природний газ, вугілля, ядерну енергію [1].

Автономні джерела – це джерела енергопостачання, не пов'язані із централізованими системами тепло- та електропостачання.

За призначенням автономні джерела поділяють:

- для вироблення тільки теплової енергії (так звані модульні котельні);

- для вироблення теплової та електричної енергії (когенераційні установки, міні-ТЕЦ);
- для вироблення, крім теплової та електричної енергії, холоду (тригенераційної установки);
- автономні джерела, що виробляють тільки електричну енергію [2].

Основні типи автономних джерел електроенергії України: вітроелектростанції; сонячні електростанції; гідроенергетичні установки; когенераційні біогазові установки; дизель-/газо-/бензогенератори.

Вітроелектростанції (ВЕС)

Є різні види роторів вітрогенераторів (рис. 1–3) [3].

Для електростанцій великої потужності зазвичай використовують горизонтальну вісь обертання, для побутових споживачів – як з вертикальною віссю обертання, так і з горизонтальною. До ортогональних роторів належать ротори Дар'є та гелікоїдний ротор.

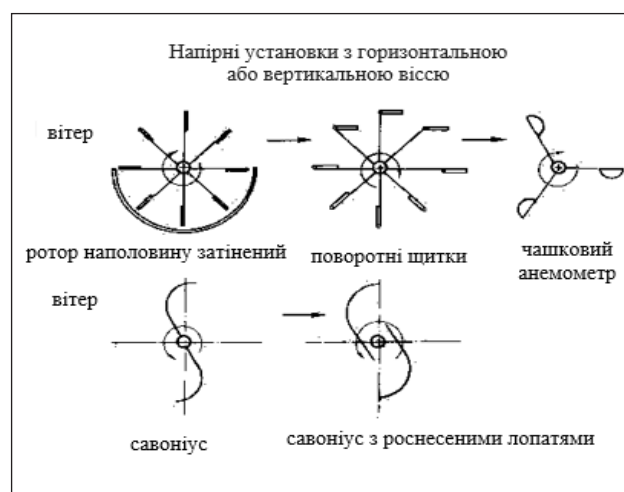


Рис. 1. Напірні установки з горизонтальною або вертикальною віссю

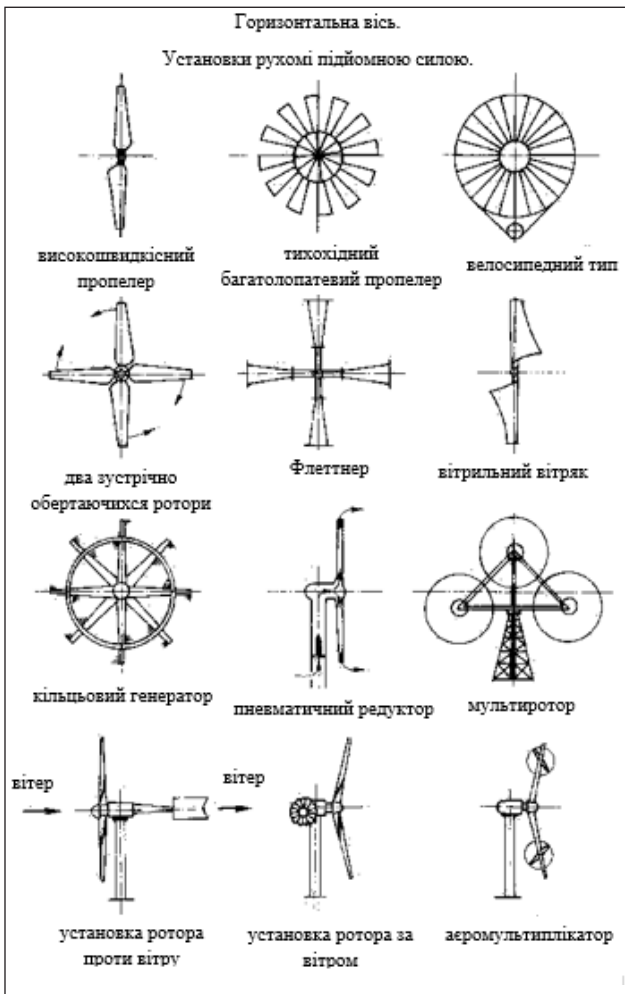


Рис. 2. Ротори вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання

Однією із цікавих новинок є вітряки Ленца. Замість звичайних підшипників у вертикальних осях, які часто виходить з ладу через постійне механічне навантаження, використовуються магнітні [4].

Згідно з даними компанії «Апеком», існують кілька типів підключення вітроенергетичних установок (далі – ВЕУ) у мережу побутового споживача.

За типом споживача розрізняють:

- автономні ВЕУ (off-grid);
- мережеві ВЕУ (on-grid).

Автономні ВЕУ використовуються з акумуляторами. Зазвичай через непостійність вітру вони використовуються спільно з мережею, дизель-генераторами чи сонячними панелями. У випадку використання мережевих ВЕУ працюють спільно з мережею, але не вимагають акумуляування електроенергії. Надлишки енергії вітру спрямовуються в загальну мережу [5].

На рисунках нижче подано варіанти підключення вітроустановок до споживачів.

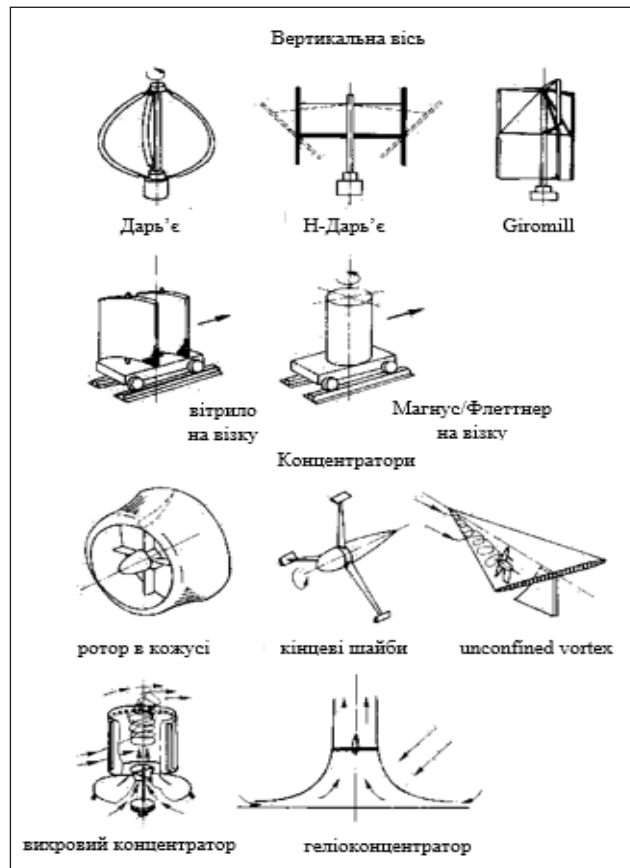


Рис. 3. Ротори вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання

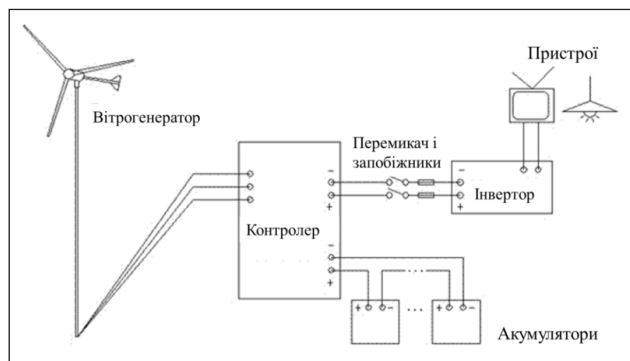


Рис. 4. Схема автономної off-grid системи

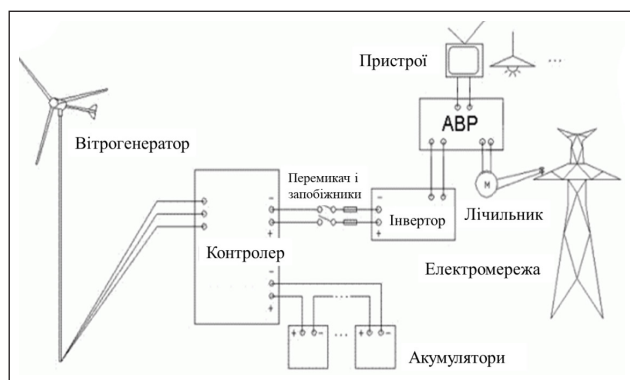


Рис. 5. Схема автономної off-grid системи паралельно з мережею

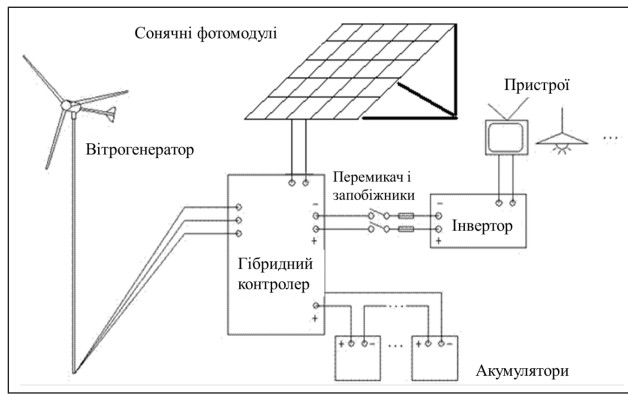


Рис. 6. Схема автономної off-grid системи гібридної із сонячними батареями

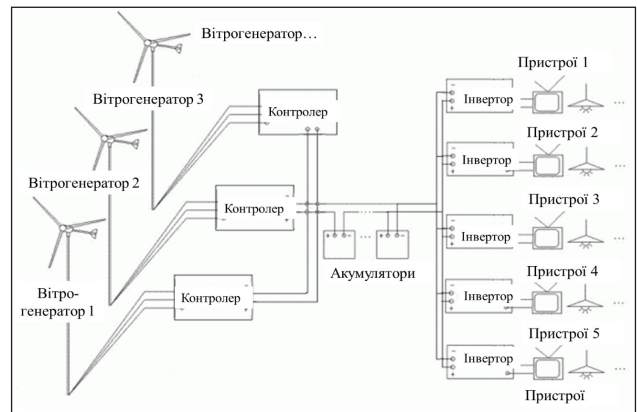


Рис. 9. Схема автономної off-grid системи з особистою локальною мережею

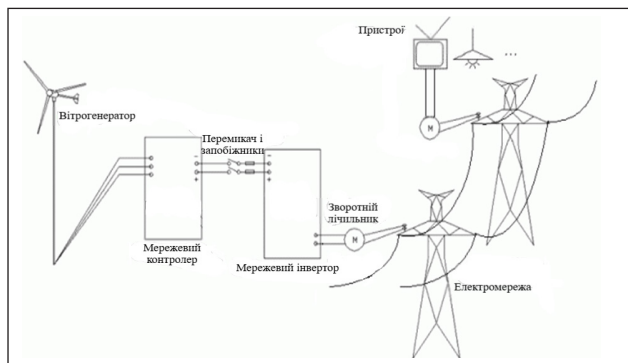


Рис. 7. Схема автономної on-grid системи

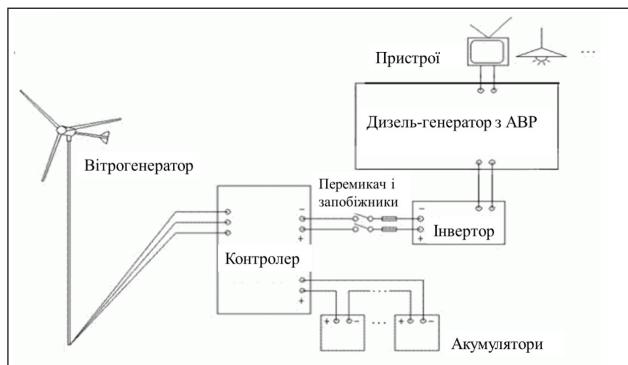


Рис. 8. Схема автономної off-grid системи гібридної з дизель-генератором

У термодинамічних – тепла енергія сонця перетворюється в механічну, а механічна – в електричну, застосовуються при великих інвестиціях і на великі потужності.

Фотоелектричні станції перетворюють сонячну енергію прямо в електроенергію [6]. Як автономні джерела електроенергії для промислових і побутових споживачів в основному використовують фотоелектричні СЕС. Застосовують як резервні та як автономні фотоелектричні системи.

Існує декілька варіантів використання фотоелектричних систем споживачами. Загальні приєднання сонячних панелей ідентичні схемам приєднання вітроенергетичних установок до споживачів.

Сонячні електростанції (далі – СЕС)

Сонячні електростанції поділяються на термодинамічні та фотоелектричні (рис. 10).

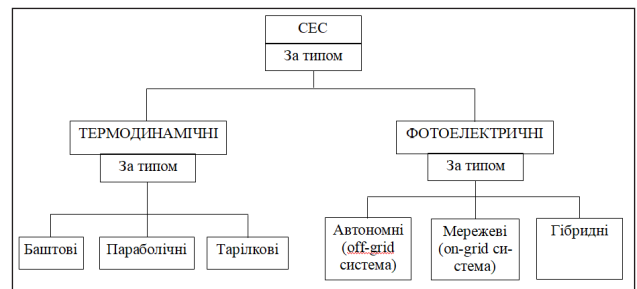


Рис. 10. Класифікація сонячних електростанцій

Гідроелектростанція (далі – ГЕС)

Гідроелектростанції входять до складу гідровузлів. Гідровузлу – це комплекс споруд для одержання електроенергії, водопостачання та інших потреб. Для побутових споживачів використовуються зазвичай міні- й мікроГЕС.

Міні- й мікроГЕС – це мобільні або переносні гідроенергетичні установки. До таких установок належать мікроГЕС рукавного типу й установки з вільнотекучими турбінами. МікроГЕС рукавного типу – для використання енергії води на передгірних і гірських ділянках річок зі значними ухилами дна річки та великими швидкостями потоку [7].

Типи міні-ГЕС залежно від принципу роботи: 1. Водяне колесо – це колесо з лопатями, встановлене перпендикулярно поверхні води, найбільш простий варіант для саморобної ГЕС; 2. ГЕС – гірлянда – трос, із жорстко закріпленими на ньому роторами, зануреними у воду; 3. Ротор Дар'є – це вертикальний ротор, який обертається за рахунок різниці тисків на його лопатях, застосовується для промислових мікроГЕС; 4. Пропелер – це підводний «вітряк» з вертикальним ротором, підходить у тому випадку, якщо русло річки більше ніж 10 м у ширину [8].

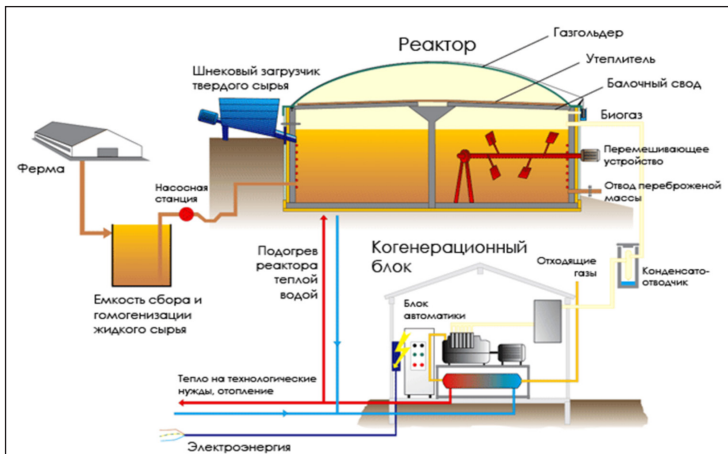


Рис. 11. Технологічна схема отримання біогазу, добрива та електроенергії з тваринницьких відходів у сільському господарстві [10]

Біогазова установка – пристрій для переробки органічних відходів у біогаз та органічні добрива. Біогазова станція – комплекс споруд, що складається з пристроїв для підготовки сировини, виробництва біогазу й добрив, очищення та зберігання біогазу, виробництва електроенергії й тепла [9]. А.К. Курманов у статті наводить класифікацію біогазових установок за принципом використання газу: електричної й теплової енергії (рис. 11), для виробництва теплоти, для виробництва газу [10, с. 174].

Дизель-/газо-/бензогенератори

Найчастіше дизель-генератори класифікують за типом виконання: тропічний, північний, мор-

ський (відповідно до кліматичних умов); стаціонарний або мобільний (дизель-генератор на причепах); з шумопоглинаючими ґратами (кожухом) і без. Д.О. Кулагін, Д.В. Яценко та О.В. Яценко розробили класифікацію дизель-генераторних електромеханічних систем за тяговими категоріями [11, с. 143].

Класифікація бензогенераторів за типом: 1. Рамні. Найбільш поширені бензогенератори, більше застосовуються в побуті; 2. Інверторні. Компактні й сучасні пристрої для подачі більш стабільного і якісного електроживлення.

Газогенератори: пряма модель – для палива використовують бітумінозну «заправку» – вугілля або напівкокс; зворотна модель – для роботи використовується смоляний матеріал [12].

Висновки. Україна має досить значний потенціал автономних енергоджерел. Використовуючи вищезазначені дані, для кожного регіону потрібно підбирати найбільш оптимальні з них. Окремі види джерел вимагають більшого вивчення. Зважаючи на політичний, економічний та екологічний напрями розвитку нашої держави, можна підсумувати, що вибір автономних відновлювальних джерел електроенергії стає одним із пріоритетних та основних напрямів енергетики.

Список літератури:

1. Виды источников энергии и их использование. URL: <http://beelead.com/vidy-istochnikov-energii/> (дата звернення: 20.07.2018).
2. Гладышев Н.Н., Короткова Т.Ю. Автономные источники тепловой и электрической энергии малой мощности: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГТУ, 2010. 323 с.
3. Хайнер Дёрнер. Философия конструирования ветроустановок. URL: http://rosinmn.ru/VETRO_sein_oder_nicht_sein.html (дата звернення: 21.07.2018).
4. Характеристики, классификация и отличия ветрогенератора Ленца. 2018. URL: <https://mirenergii.ru/energiyavetra/xarakteristiki-klassifikaciya-i-otlichiya-vetrogeneratora-lenca.html> (дата звернення: 22.07.2018).
5. Ветрогенераторы. 2012. URL: <http://apekom.eu/vetrogenerator.html> (дата звернення: 22.07.2018).
6. Плачкова С.Г., Плачков И.В. Солнечная электроэнергетика. Энергетика: история, настоящее и будущее: научно-познавательное издание. 2013. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-1-2-1-2> (дата звернення: 22.07.2018).
7. Плачкова С.Г., Плачков И.В. Гидроэнергетика. Энергетика: история, настоящее и будущее: научно-познавательное издание. 2013. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/62-entsiklopediya/rozvitok-teploenergetiki-ta-gidroenergetiki/chastina-2-gidroenergetika/rozdil-4-osnovni-tipi-umovi-ekspluatatsiji-rezhimi-roboti-ges-i-gaes/174-4-1-osnovni-tipi-ges-i-sklad-sporud> (дата звернення: 23.07.2018).
8. Малые гидроэлектростанции (МГЭС). 2012. URL: http://www.gigavat.com/mini_ges.php (дата звернення: 23.07.2018).
9. Биогазовая станция. АльтЭнерго. URL: <http://www.altenergo.su/biogas/> (дата звернення: 25.07.2018).
10. Курманов А.К. Совершенствование технологии производства биогаза. Вестник ВНИИМЖ. 2014. № 3. С. 170–177.
11. Кулагін Д.О., Яценко Д.В., Яценко О.В. Класифікація дизель-генераторних електромеханічних систем по тяговим категоріям. Науковий вісник ТДАТУ. № 7. С. 141–147.
12. Где используются газовые генераторы. URL: <http://aqua-tehnik.ru/gazogeneratoriy-dlya-vyrabotki-elektroenergii-na-prirodnom-gaze> (дата звернення: 26.07.2018).

ТИПЫ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ УКРАИНЫ И СПОСОБЫ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ПОТРЕБИТЕЛЯМ

В статье проведен выбор автономных источников электроэнергии, используемых на территории Украины. Выполнены их классификация по различным признакам и описание. Рассмотрены схемы подключения к потребителям ветровых, солнечных и биогазовых установок.

Ключевые слова: источники электроэнергии, возобновляемые источники электроэнергии, автономные источники электроэнергии, солнечная батарея, ветрогенератор, гидроэлектростанция, биогазовая установка, когенератор, мини-ТЭЦ, дизель-генератор, бензиновый генератор, газогенератор.

TYPES OF UKRAIANAIN AUTONOMOUS ELECTRIC ENERGY SOURCES AND HOW TO CONNECT THEM TO CONSUMERS

The choice of autonomous electric energy sources used in Ukraine is given in the article. Their various grounds classification and the description is given. The schemes of connection to consumers of wind, solar and biogas installations are considered.

Key words: electric energy sources, renewable electric energy sources, autonomous electric energy sources, solar cell, wind generator, hydro power plant, biogas plant, cogenerator, mini thermal power station, diesel generator, gasoline generator, gas generator.

Кириленко М.В.

Одеський національний політехнічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМОІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті розглядається процес теплообміну між стінками конвективних поверхонь і порожниною топку котла. Приведені теплові розрахунки процесу теплообміну. Проаналізована робота пневмоімпульсної відчистки. Складена схема підключення й роботи генераторів. Змодельовано процес теплопередачі.

Ключові слова: теплообмін, зола, конвективні поверхні, пневмоімпульсні технології, котел.

Постановка проблеми. У нинішніх економічних умовах, коли більшість підприємств вирішують питання максимального підвищення ефективності свого обладнання, в т. ч. й належних їм котелень, з метою зниження собівартості продукції, що виробляється в умовах цін, що постійно зростають, на енергоносії, особлива увага приділяється нетрадиційним технічним рішенням, що дає змогу економити паливо, підвищувати ефективність і довговічність роботи обладнання.

Одним із основних напрямів економії різних видів рідкого і твердого палива (мазут, дизпаливо, вугілля, торф, сланець, деревні відходи тощо) є підвищення ефективності роботи парових і водогрійних котлів, технологічних агрегатів, що спалюють ці види палива, за рахунок запобігання забрудненню їх поверхонь нагріву золовими відкладеннями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми налипання сипучих матеріалів на стінках бункера частково розглянуті в статті «Разработка, создание и промышленные испытания опытных образцов систем пневмоимпульсного обрушения» В.И. Звезгинцева, И.И. Шабанова, Б.Ф. Акимочкина, М.Н. Нафталь, И.В. Воляньского. У цьому випадку використані пневмоімпульсні технології для усунення зависань і налипання сипучих матеріалів. У статті не розглянуті можливості використання пневмоімпульсних технологій для запобігання утворенню шару золи на конвективних поверхнях котла.

Постановка завдання. Водогрійні котли призначаються для підігріву води, що надходить на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Наявні водогрійні котли розраховувалися на підігрів води від 70 до 150°C і задовольняли найбільш поширений графік роботи теплофікаційної системи.

Існує два характерні режими роботи водогрійних котлів: основний (базовий) і піковий. Підігрів води від 70°C до кінцевої температури про-

водиться в тих випадках, коли котли є основним джерелом теплопостачання. В умовах ТЕЦ, коли первісний підігрів мережної води здійснюється в мережевих підігрівачах за рахунок добірного пара турбін, пікові водогрійні котли призначаються для підігріву води над ту температури, яку в змозі забезпечити основні підігрівачі. З урахуванням потужності сучасних ТЕЦ одинична теплопродуктивність водогрійних котлів для ТЕЦ становить 100 і 180 Гкал/год (116,3 і 209,4 МВт). Ці котли також можуть установлюватися й у великих окремо розташованих водогрійних котельнях.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою максимальної уніфікації затверджена така шкала теплопродуктивності водогрійних котлів [16]: 4,0; 6,5; 10,0; 20,0; 30; 50; 100 і 180 Гкал/год. Котли теплопродуктивністю від 4 до 20 Гкал/год. повинні забезпечувати роботу тільки в основному режимі; котли теплопродуктивністю 30 Гкал/год. і вище можуть працювати як в основному, так і в піковому режимах.

Нині на водогрійних котельнях і ТЕЦ використовується значна кількість котлів типу ПТВМ (П – піковий, Т – теплофікаційний, В – водогрійний, М – мазутовий) теплопродуктивністю 34,9–209,4 МВт, які виготовлялися на вітчизняних котельнях заводів з 1961 по 1981 роки.

Котли Дорогобузького котельного заводу типу ПТВМ-ЗОМ П-подібної компоновки (конструкція тресту «Центроенергомонтаж») у процесі тривалої експлуатації зарекомендували себе як стійко працюючі агрегати.

Конвективні поверхні нагрівання парових і водогрійних котлів відіграють важливу роль у процесі отримання пари або гарячої води, а також використання теплоти продуктів згорання, що залишають топку. Ефективність роботи конвективних поверхонь нагріву значною мірою залежить від інтенсивності передачі теплоти продуктами згорання воді й парі.

Відпрацьовані гази передають теплоту зовнішньої поверхні труб шляхом конвекції та випромінювання. Від зовнішньої поверхні труб до внутрішньої теплота передається через стінку теплопровідністю, а від внутрішньої поверхні до води й пару – конвекцією. Отже, передача теплоти від продуктів згоряння до води й пару являє собою складний процес, званий теплопередачею.

Передача теплоти в конвективних поверхнях нагріву відбувається крізь стінку труб, які зовні схильні до забруднення запиленними продуктами згоряння, а зсередини – осаджування накипом. Товщина стінки труб, що застосовуються під час виготовлення конвективних поверхонь нагріву, мала порівняно з їх діаметром, тому вплив кривизни поверхні труб на процес передачі теплоти досить незначний.

Для виявлення впливу налипання золи на конвективні поверхні побудуємо математичну модель. Температурний режим у топці котла зазвичай становить 500°C. Температура води в трубах – 160°C. Для розрахунку тепловтрат застосуємо такі формули.

Для виявлення впливу налипання золи на конвективні поверхні потрібно визначити тепловий опір труб і шару золи.

$$R = B/K, \quad (1)$$

R – тепловий опір, ($m^2 \cdot K$)/Вт;

K – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/($m \cdot K$);

B – товщина матеріалу, м.

Запишемо формулу для знаходження коефіцієнта теплопровідності.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згоряння до зовнішньої поверхні труб, Вт/($m^2 \cdot K$); α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні труб до рідини, що нагрівається (пар, вода, пароводяна емульсія), Вт/($m^2 \cdot K$); δ_3 , δ_{mp} , δ_n – відповідно товщина шару зовнішніх забруднень (зола, сажа), стінки труби, шару накипу на внутрішній поверхні труби, м; λ_3 , λ_{mp} , λ_n – відповідно теплопровідність зовнішніх забруднень, металу труби, накипу, Вт/($m^2 \cdot K$).

Розглянемо вплив кожного з факторів, що входять у рівняння (2), на коефіцієнт теплопередачі.

Відпрацьовані гази віддають теплоту зовнішньої поверхні труб конвекцією й випромінюванням. При цьому теплоту випромінюють трьохатомні гази та розпечені частинки золи. Отже, коефіцієнт тепловіддачі (α_1) від продуктів зго-

ряння до зовнішньої поверхні труб буде складатися з коефіцієнта тепловіддачі конвекцією (аск) і коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням (ал).

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією залежить від конкретних умов роботи й конструктивних характеристик поверхні нагрівання. На коефіцієнт тепловіддачі впливає низка факторів: характер омивання трубного пучка продуктами згоряння, характер розташування труб у пучку, діаметр труб, швидкість продуктів згоряння.

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням залежить від температури продуктів згоряння, температури стінки труб, що сприймають теплоту, від умісту в продуктах згоряння трьохатомних газів і летючої золи, товщини шару випромінюючих трьохатомних газів. Коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згоряння до зовнішньої стінки поверхні нагрівання невеликий і змінюється в межах 23–70 Вт/($m^2 \cdot K$).

Забруднення зовнішньої поверхні нагрівання навіть при невеликій товщині відкладень істотно зменшує передачу теплоти внаслідок низької теплопровідності забруднень. Дослідження забруднень на поверхні нагрівання парових і водогрійних котлів показало, що первинний шар забруднень товщиною 0,1–0,15 мм мав теплопровідність 0,017–0,03 Вт/($m \cdot K$), т. Е, меншу, ніж у повітря. Зі збільшенням відкладень змінюється теплопровідність. Так, для стабілізованого шару відкладень товщиною 1 мм і більше теплопровідність виявилася рівною 0,06–0,09 Вт/($m \cdot K$).

Забруднення зовнішньої поверхні нагрівання хоча й знижують ефективність передачі теплоти, але оберігають труби від перегріву внаслідок зменшення температури стінки.

Величиною δ_{mp}/λ_{mp} , що входить у формулу (2), під час визначення коефіцієнта теплопередачі нехтують унаслідок високої теплопровідності металу.

Забруднення внутрішніх поверхонь труб накипом впливають не тільки на інтенсивність передачі теплоти, а й можуть призвести до перегріву стінки труби й виходу її з ладу. Теплопровідність накипу залежить від хімічного складу відкладень і для окремих відкладень становить приблизно 0,06 Вт/($m \cdot K$). Унаслідок малої теплопровідності накипу відведення теплоти від стінки труби різко знижується, що призводить до підвищення її температури. Щоб уникнути виходу з ладу поверхні нагрівання, відкладення накипу на внутрішній поверхні труб неприпустимі. Тому під час розрахунків член δ_{mp}/λ_{mp} у формулі (2) не враховують.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до середовища (α_2) змінюється в дуже великих межах

залежно від фізичного стану середовища. Так, при тепловіддачі від стінки до пару коефіцієнт тепловіддачі становить 600–3500 Вт/(м² * К), при тепловіддачі до води – 600–17000 Вт/(м² * К) і при тепловіддачі до киплячої води – 12 000–120 000 Вт/(м² * К). У всіх випадках, коли передача теплоти відбувається від стінки до киплячої або некиплячої води, величиною 1/α₂ в розрахунках нехтують.

Основи розрахунку конвективних поверхонь нагріву можуть бути конструктивними й перевірними. Перевірний розрахунок є більш загальним і виконується для визначення температури по тракту продуктів згоряння.

Під час розрахунку конвективних поверхонь нагріву використовується рівняння теплопередачі й рівняння теплового балансу.

Розрахунок виконується для 1 кг спалюваного твердого та рідкого палива або 1 м³ газу при нормальних умовах.

Запишемо формулу для розрахунку тепловитрат:

$$Q = S \cdot dT / R, \quad (3)$$

де Q – теплообмін, Вт;

S – площа поверхонь труб, м²;

dT – різниця температури між температурою в топці та води в трубах;

R – значення теплового опору труби, м² * К/Вт.

З рівняння теплопередачі ясно, що кількість теплоти, передана крізь задану поверхню нагріву, тим більша, чим більші коефіцієнт теплопередачі та різниця температур продуктів згоряння й рідини, що нагрівається. Очевидно, що поверхні нагрівання, розташовані в безпосередній близькості від камери згоряння, працюють при більшій різниці температури продуктів згоряння й температури, сприймають теплоту середовища. У міру руху продуктів згоряння по газовому тракту температура їх зменшується і хвостові поверхні нагрівання (водяний економайзер, підігрівач повітря) працюють при меншому перепаді температур продуктів згоряння й нагрівання середовища. Тому чим далі конвективна поверхня нагріву від топкової камери, тим більші розміри вона повинна мати і тим більше металу витрачається на її виготовлення. Так, наприклад, перші ряди кип'ятильних труб і фестони омиваються продуктами згоряння при температурі 1000–1100°С, а водяний економайзер парогенераторів з розвинутою конвективною поверхнею нагріву – продуктами згоряння з температурою близько 300°С.

$$Q_{\text{зола}} = S \cdot dT / R_{\text{труб}} \cdot R_{\text{зола}}. \quad (4)$$

Додамо до формули (2) коефіцієнт теплопровідності сталі, з якої складаються конвективні

поверхні, та коефіцієнт теплопровідності золи. Так можемо отримати формулу для розрахунку тепловитрат із золою [3].

Щоб визначити, наскільки зола перешкоджає теплообміну, розрахуємо теплообмін труб без золи та порівняємо результати обчислень.

$$Q_{\text{труб}} = S \cdot dT / R_{\text{труб}}. \quad (5)$$

В основу роботи системи ПІО закладено ударно-хвильовий вплив газових струменів на золіві відкладення, який здійснюється за допомогою пневмоімпульсних генераторів (далі – ПГ) оригінальної конструкції [4]. Пневмоімпульсний генератор накопичує енергію стисненого повітря протягом десятків секунд, потім різко (за частки секунди) викидає його, так виконується технологічна операція очищення внутрішньої поверхні бункерів, трубопроводів, вентиляційних систем, теплообмінників та інших пристроїв. Короткочасність вихлопу дає змогу організувати потужний імпульсний вплив на оброблювані поверхні.

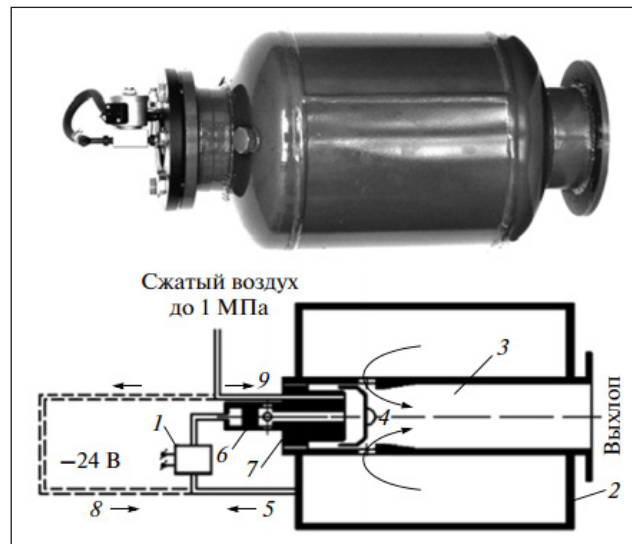


Рис. 1. Схема підключення й роботи ПГ-25/8:

- 1 – електромагнітний розподільник;
- 2 – форкамера; 3 – вихлопне сопло; 4 – запірний клапан; 5 – керування від форкамери; 6 – клапан скиду; 7 – гайка запірної пробки; 8 – керування від повітряної магістралі; 9 – заповнення форкамери

На рис. 2 показана схема пневмоімпульсного газогенератора ПГ-25/8 [5]. У початковому стані запірний клапан ПГ знаходиться в довільному положенні. Під час включення системи живлення стиснене повітря від магістралі через вхідний штуцер надходить у порожнину під поршнем запірного клапана. Під дією надлишкового тиску в цій порожнині запірний клапан переміщається вправо і впирається в кінцевий вкладиш. При цьому перекривається вихід повітря з порожнини

корпусу форкамери через вихлопне сопло. Після цього повітря, перетікаючи через зазор між поршнем запірною клапана й циліндричного направляючого корпусу, заповнює порожнину корпусу форкамери протягом 20–30 с.

Для спрацьовування ПГ необхідно подати стиснене повітря на вхід клапана скидання, зміна тиску повітря викликає спрацьовування клапана скидання, після чого відбувається різке зменшення тиску в порожнині під поршнем запірною клапана. Поршень відходить вліво, і запасена в корпусі форкамери порція стисненого повітря викидається через вихлопні отвори в стінці труби й далі через сопло, здійснюючи необхідний ударно хвильовий вплив на поверхню. Графік зміни тиску у форкамері в процесі вихлопу показаний на рис. 2.

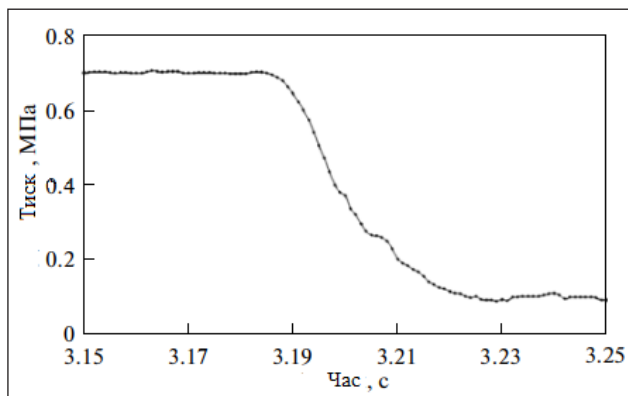


Рис. 2. Зміна тиску у форкамері ПГ-25/8 під час вихлопу

Помітно, що після відкриття поршня протягом приблизно 0,04 с газ виходить із форкамери й тиск тут зменшується до атмосферного. Після викиду повітря з корпусу форкамери описаний процес зарядки та спрацьовування ПГ може бути повторений.

Уже згадана система ПЮ розроблена для запобігання шлакоутворенню на зовнішніх поверхнях трубних пакетів ширм пароперегрівача котла ПК-38. Система дає змогу повністю автоматизувати процес очищення, а використання повітря як робочого агента робить цю систему абсолютно безпечною для робочого персоналу та обладнання.

Схема розміщення системи ПЮ на котлоагрегаті ПК-38. Система включає в себе 18 генераторів типу ПГ-25/8 (сім із них – для очищення ширм первинного тракту, шість – на початку ширм вторинного тракту, п'ять – у кінці ширм вторинного тракту). Включення ПГ-25/8 проводиться системою управління з трьох мікропроцесорних блоків

управління (МБУ) в автоматичному або ручному режимах. Стиснене повітря, необхідне для роботи ПГ-25/8, подавалося від побутового компресора продуктивністю 650 л/хв. через магістралі стиснутого повітря.

Протягом 3 міс., з 01.12.2009 по 01.03.2010, котел працював без зупинок із максимальним навантаженням по пару до 235 т/год. На рис. 3 показана відносна тривалість роботи котлів залежно від парового навантаження за два періоди: 01.01.2009–01.10.2009 (до реконструкції) і 12.10.2009–01.03.2010 (після установки ПЮ). Видно, що до реконструкції парове навантаження котла ст. № 6А становило 200–215 т/год.

Після реконструкції воно зросло до 215–235 т/год. при середньому навантаженні 225 т/год. У ці самі періоди середнє навантаження аналогічного котла практично не змінювалася і становила 195 т/год. при діапазоні 185–205 т/год.

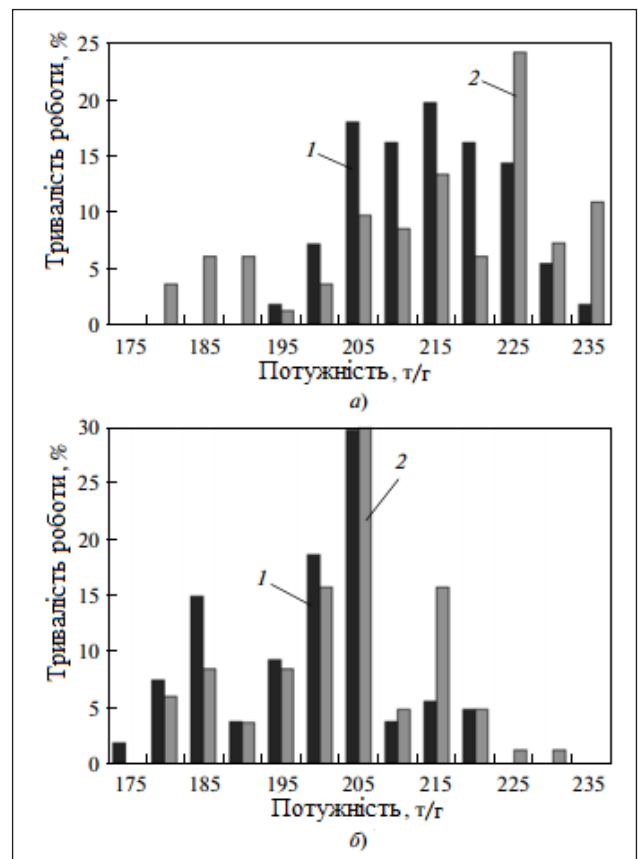


Рис. 3. Діаграми відносної тривалості роботи котлів при окремих навантаженнях за період з 01.01.2017 по 01.03.2018: 1 – до реконструкції; 2 – після установки системи ПЮ

Висновки. Отже, система ПЮ забезпечила тривалість (не менше ніж 3 міс. згідно зі спостереженнями) безшлакової роботи ширмових поверхонь у діапазоні парових навантажень

215–235 т/год. при середньому навантаженні 225 т/год. при температурах топкового газу перед ширмами 1220–1250 °С, що значно перевищує допустиму температуру топкових газів за умовами шлакування (1166–1180 °С).

У результаті розрахунків виявлено, що теплота, яка передається через труби без шару золи, більша на 132 Вт, ніж теплота, передана з шаром золи в 0,01 м.

Виходячи з розрахунків, доведено, що налипання золи істотно впливає на теплообмін у топці, погіршує теплопередачу на конвективні поверхні і знижує енергоефективність. У цьому випадку з шаром золи в 0,01 м теплообмін погіршується

приблизно на 132 Вт. Для усунення цього ефекту використовується пневмоімпульсна відчистка.

Температура газу за КПП і ПЗ зменшилася в середньому на 50 °С, а температура газів за сторонами знизилася від 160 і 154 °С до 154 і 142 °С. Візуальний огляд ширм пароперегрівача показав, що ширми первинного і вторинного трактив знаходяться в експлуатаційно чистому стані. У регульовальному діапазоні парового навантаження 200–235 т/год. котел стійко працював з підтриманням нормативних параметрів пара за допомогою штатних уприскувальних пристроїв, що функціонували в автоматичному режимі. Термін окупності пневмоімпульсних систем очищення становить 2,4 року.

Список літератури:

1. Звєгинцев В.И. Применение импульсных аэродинамических труб при $M < 8$. Изв. СОАН СССР. Сер. «Техн. науки». 1990. Вып. 5. С. 129–134.
2. Zvegintsev V.I. and Paikova M.A. Metrological Properties of Pressure Gages in Extreme Conditions. Instruments and Experimental Techniques. 2003. Vol. 46. № 2. P. 265–270.
3. Разработка, создание и промышленные испытания опытных образцов систем пневмоимпульсного обрушения / В.И. Звєгинцев, И.И. Шабанов, Б.Ф. Акимочкин, М.Н. Нафталь, И.В. Волянский. Москва: Цветные металлы, 7, 2007. С. 88–95.
4. Пневмоимпульсная система устранения отложений на внутренних поверхностях пневмотранспортных трубопроводов / В.И. Звєгинцев, В.Ф. Чиркашенко, С.И. Шпак, Е.С. Голоскин, А.М. Петров. Известия ВУЗов. Серия «Цветная металлургия». 2009. № 5. С. 10–13.
5. Чеканов Г.С., Зорин В.А. Образование и устранение отложений в системах гидрозолоудаления. Москва: Энергоатомиздат, 1987.
6. Пневмоимпульсные системы очистки конвективной шахты котла П-67 / В.И. Звєгинцев, В.Ф. Чиркашенко, В.В. Харченко, Ф.А. Серант. Электрические станции. 2003. № 7. С. 19–22.
7. Звєгинцев В.И., Шабанов И.И. Опыт создания пневмоимпульсных систем очистки конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов. Энергетик. 2009. № 1. С. 21–24.
8. Зубер А. (Zuber Andrzej). Опыт применения систем пневмоимпульсной очистки в Польше. Минеральная часть топлива, шлакование, очистка котлов, улавливание и использование золы: сборник докладов V научно-практической конференции, г. Челябинск, 7–9 июня 2011. Челябинск, 2011. Т. II. С. 27–37.
9. Николаев С.Ф. Опыт применения пневмоимпульсной системы очистки на котле ПК-38 Назаровской ГРЭС. Минеральная часть топлива, шлакование, очистка котлов, улавливание и использование золы: сборник докладов V научно-практической конференции, г. Челябинск, 7–9 июня 2011. Челябинск, 2011. Т. II. С. 38–50.
10. Исследование эффективности пневмоимпульсной очистки ширмовых поверхностей котла ПК-38 Назаровской ГРЭС / С.Г. Аглиулин, С.Ф. Николаев, В.И. Звєгинцев, И.А. Юркин, И.И. Шабанов, В.Ф. Палкин, С.П. Сергиенко, С.М. Власов. Теплоэнергетика. 2014. № 9. С. 42–49.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПНЕВМОИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассматривается процесс теплообмена между стенками конвективных поверхностей и полостью топки котла. Приведены тепловые расчеты процесса теплообмена. Проанализирована работа пневмоимпульсной отчистки. Составлена схема подключения и работы генераторов. Смоделирован процесс теплопередачи.

Ключевые слова: теплообмен, зола, конвективные поверхности, пневмоимпульсные технологии, котел.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF PNEUMATIC PULSE TECHNOLOGIES

The process of heat exchange between the walls of convective surfaces and the cavity of the furnace is considered. Heat calculations of the heat transfer process are given. The work of pneumatic pulse cleaning has been analyzed. The scheme of connection and operation of generators is made. The process of heat transfer is modeled.

Key words: heat exchange, ash, convective surfaces, pneumatic pulse technologies, boiler.

Комарчук Д.С.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розроблено алгоритм використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування електротехнологічного комплексу температурної обробки зерна в лінії виробництва олії ріпаку і створено поновлювальну базу знань режимів функціонування обладнання. Її адекватність доведено дослідженням створеної за допомогою нечітких нейронних мереж автоматичної системи керування коефіцієнтом напруги залежно від початкової температури зерна ріпаку та діючої напруги мережі.

Ключові слова: нейронна мережа, індукційний нагрів, індуктор, прес-екструдер, тепловий процес, ріпак, олія.

Постановка проблеми. Сьогодні найбільш важливим науково-технічним напрямом впливу на зростання потенціалу економіки України є підвищення наукоємності електротехнологій з використанням комп'ютерних інтелектуальних систем керування в промисловості та інших сферах діяльності людини [3].

Для сучасних автоматичних промислових систем низький рівень питомих енергетичних витрат на одиницю продукції, зручність експлуатації та надійність роботи в основному визначаються науково-технічним рівнем систем автоматичного керування та режимами споживання електричної енергії. Складність розроблення таких систем автоматичного управління зростає в умовах непрогнозованих змін напруги електромережі живлення і невизначених змін об'єкту керування, які можуть виникати в силу особливостей нестаціонарного технологічного процесу.

Зміну рівня напруги електричної мережі живлення в умовах невизначеностей електричних режимів обладнання неможливо представити в математичній формі чи достовірно спрогнозувати. Однак автоматичне управління за нестабільності напруги у більшості сучасних установок є умовою, за якої необхідно забезпечити оптимальні параметри електроенергетичних і технологічних процесів для отримання продукції високої споживчої якості.

Відхилення напруги живлення в навантаженні виникають через низку факторів і характеризуються багатосторонніми зв'язками [6, 7, 8]. Складність задачі якісного регулювання і стабілізації напруги електротехнологічних систем полягає у

формуванні загальної картини взаємозв'язків всіх складників впливу, які в повній мірі можна досягнути тільки після того, як прийнято «рішення» для виконавчого пристрою, яке до зафіксованих відхилень додає другорядні чинники.

Структура більшості систем регулювання та стабілізації напруги, що сьогодні має місце на виробництві, подібна до традиційних локальних систем з ПІД-законом керування і не може забезпечити оптимальне управління і прийняття рішень щодо управління без математичного опису системи. Відомі системи з прогнозним (упередженим) керуванням та так звані «робастні» системи [1, 2, 13] теж вимагають наявності детермінованого причинно-наслідкового зв'язку між вхідними і вихідними параметрами у вигляді математичних рівнянь, які для більшості промислових електротехнологічних процесів неможливо визначити. А за відсутності достовірного математичного опису поведінки системи регулювання в умовах непрогнозованої зміни напруги мережі можливо оптимально встановити коефіцієнти управління ПІД-регулятора, який повинен працювати на нелінійне навантаження.

До нелінійних навантажень відносяться і більшість промислових електротермічних установок, в тому числі й установки температурної обробки, які широко використовуються в промисловості і приватному секторі (зокрема для термообробки сільськогосподарських матеріалів, олійного насіння тощо). Для здійснення технологічного циклу в таких установках необхідно виконувати регулювання напруги у всьому вхідному діапазоні напруги мережі живлення.

На цей час одним із ефективних шляхів у вирішенні проблеми регулювання параметрів промислових електротехнологічних комплексів температурної обробки є розробка систем регулювання та стабілізації напруги електротехнологічних установок з використанням в них інтелектуальних методів на основі математичного апарату нечіткої логіки, які реалізують управління на основі отриманих експериментальних даних і не потребують математичного опису поведінки системи.

Значного підвищення ефективності, якості та швидкодії систем регулювання змінної напруги, зокрема і підвищення ефективності використання самих мікропроцесорних засобів формування сигналів управління за відсутності математичних моделей цих систем, можна досягнути на основі математичного апарату нечіткої логіки з інтелектуальним підходом до організації та реалізації алгоритму прийняття рішення щодо управління з використанням основних досягнень в методології обробки інформації людиною під час врахування особливостей тих чи інших способів регулювання та стабілізації напруги.

Три десятиліття тому в системах управління, крім «жорсткої» логіки, використовували мікропроцесори, а потім і мікроконтролери. Це дозволило максимально гнучко використовувати набуті енергетичні і часові характеристики та багаторазово збільшити ефективність традиційних електротехнологічних систем.

Сьогодні не просто ставить задачу ефективного та якісного регулювання чи стабілізації змінної напруги з використанням нечітких методів підтримки рішень управління силовим виконавчим органом, а й висуває вимоги до створення інтегрованих цілісних систем того чи іншого електротехнологічного чи виробничо-побутового призначення з можливістю передачі функцій управління перетворювачем напруги комп'ютерній системі споживача, щоб отримати оптимальні енергетичні показники за мінімальних апаратних затрат та максимального використання ресурсів ЕОМ.

Важливість створення електротехнічних систем з використанням нечітких логічних контролерів, алгоритми роботи яких наближені до розумової діяльності людини, та адаптація їх для використання в керуючих комп'ютерних системах підкреслюється у матеріалах Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) і Міжнародної електротехнічної комісії (IEC) [16, 18].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури [2, 9, 11, 12, 13] показує, що для підви-

щення ефективності управління та якості регулювання і стабілізації в широкому діапазоні напруги електротехнологічних систем математичний апарат нечіткої логіки є одним з найбільш доцільних шляхів, оскільки дозволяє ідентифікувати електротехнологічні системи засобом формалізації природних мовних виразів (предикатів) і логічних висновків з синтезом нечіткого логічного контролера, що має нелінійну передатну характеристику. Нечітка система управління, окрім здатності спостереження за вхідними параметрами перетворювача та їх аналізом, спроможна установлювати відношення між параметрами спостереження та виконувати оцінку ступеня взаємозв'язку між ними на основі правил бази знань і приймати рішення щодо управління виконавчим органом на основі відтворення оптимальних відношень, що забезпечить покращення ефективності та підвищення якості регулювання і стабілізації напруги зі зменшенням часу виходу на заданий режим за зменшення величини перерегулювання.

Формулювання цілей статті. Розробити алгоритм використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування електротехнологічного комплексу індукційного нагріву дисперсних матеріалів в процесі виробництва олії.

Виклад основного матеріалу. Спосіб регулювання напруги та метод і схемотехніка його реалізації визначають точності, енергетичні показники та показники надійності регуляторів і стабілізаторів змінної напруги [4]. За способом регулювання напруги регулятори та стабілізатори поділяються на неперервні та імпульсні.

Розглянемо напівпровідникові імпульсні регулятори та стабілізатори напруги (як найбільш поширені), в яких напруга мережі в кожному напівперіоді повністю вмикається та вимикається, а регулювання проходить шляхом зміни моменту цього перемикавання. Імпульсний спосіб регулювання визначається видом модуляції. В напівпровідникових регуляторах використовуються наступні види імпульсної модуляції: широтно-імпульсна (ШІМ), частотно-імпульсна (ЧІМ) та частотно-широтно-імпульсна (ЧШІМ). Якщо вважати імпульсом певну послідовність енергії (квант), то при ШІМ змінюється сумарна довжина імпульсів за постійної частоти їх появи. При ЧІМ змінюється частота появи імпульсів за постійної їх довжини. При ЧШІМ змінюється як частота появи імпульсів, так і їх довжина.

Залежно від відношення фаз та частот вмикання виконавчих силових елементів види модуляції

ділять на синхронні та асинхронні. При синхронній модуляції частоти імпульсів модуляції повинні дорівнювати подвійній частоті мережі $f_m = 2f_M$. Асинхронна модуляція поділяється на багатократну та багатократну синфазну. За багатократної модуляції частоти вмикання імпульсних елементів різні, але кратні, а за синфазної модуляції додатково співпадають моменти появи кратних імпульсів [4].

По відношенню частот модуляції f_m та мережі f_M розрізняють імпульсну модуляцію на частоті мережі або фазово-імпульсну, коли $f_m = 2f_M$; високочастотну модуляцію, коли $f_m > 2f_M$; низькочастотну модуляцію, коли $f_m < 2f_M$.

На одному зі шляхів підвищення ефективності роботи електрообладнання під час нестационарних технологічних процесів, зокрема в установках електричного нагріву, як відомо, отримали широке поширення способи регулювання напруги використанням широтно-імпульсної модуляції [4, 10]. Регулювання напруги в основному каналі технологічного навантаження виконується на основі способу регулювання напруги з використанням частотно-імпульсної модуляції на частоті мережі електроживлення (ШІМ МЧ).

Широко поширеним видом модуляції, що використовуються у різного виду електротермічних установках різного технологічного напрямку, є широтно-імпульсна модуляція на низькій частоті (ШІМ НЧ). За низькочастотної імпульсної модуляції діюче та середнє значення змінної напруги за період модуляції можна змінювати за необхідним законом. Окрім цього, низькочастотна модуляція з ввімкненням ключів при $\alpha = \beta = 0$ дозволяє виконати «м'яку» комутацію, що характеризується практично відсутністю генерації високочастотних гармонік [3]. Мінімальна довжина низькочастотних імпульсів визначається півперіодом мережі, але практично мінімальне значення імпульсу вибирається рівним періоду напруги мережі для усунення постійного складника в навантаженні. Тому діюче або середнє значення однофазної напруги в навантаженні визначається коефіцієнтом напруги m (коефіцієнтом часу вмикання j -фази навантаження) [3]:

$$m = \frac{T_y}{T_p} \quad (1)$$

де: T_y – час вмикання навантаження, який устновлюється шляхом зміни кількості n періодів напруги мережі T_M пропущених в навантаження за період регулювання T_p і дорівнює:

$$T_y = n \cdot T_M \quad (2)$$

Таким чином, абсолютна дискретній ΔU визначається мінімально можливою зміною сигналу управління X .

$$\Delta X_y = \frac{T_M}{T_p} \quad (3)$$

Діюче та середнє значення напруги в навантаженні можна записати як:

$$U_d = U_d(T_p)m, \quad (4)$$

$$U_d = U_d(T_p)m, \quad (5)$$

Отже, системи фазового регулювання, які виключають генерування субгармонік, але вносять широкий спектр високочастотних гармонік, забезпечують плавне регулювання напруги як на інерційних, так і мало інерційних навантаженнях та окрім цього, мають нелінійну передатну характеристику і нестабільність коефіцієнта передачі, що спричиняється напругою мережі; системи регулювання з використанням низькочастотної широтно-імпульсної модуляції можуть генерувати низькочастотні коливання напруги в навантаженні, але мають лінійну передатну характеристику за умови значно меншого впливу на неї нестабільності напруги мережі та є більш придатними для інерційних навантажень, таких як установки температурної обробки з використанням індукційного нагріву.

Результати досліджень. Для створення нейроінформаційної системи використаємо алгоритм Сугено [15, 17], що найбільш часто використовується під час побудови нейроінформаційних систем. На основі алгоритму нечіткого логічного висновку будується система міркувань, яка складається з п'яти функціональних блоків [5]:

- блок фазифікації, що перетворює чисельні вхідні значення в ступені відповідності лінгвістичним змінним;
- база правил, яка містить набір нечітких правил типу «якщо – то»;
- база даних, в якій визначено функції приналежності нечітких множин використовуються в нечітких правилах;
- блок прийняття рішень, який здійснює операції виведення на підставі наявних правил;
- блок дефазифікації перетворює результати виводу в чисельні значення.

ANFIS реалізує систему нечіткого виводу Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу (рис. 1). Призначення шарів наступне:

- перший шар – терми вхідних змінних;
- другий шар – антецеденти (посилки) нечітких правил;
- третій шар – нормалізація ступенів виконання правил;
- четвертий шар – укладення правил;

– п'ятий шар – агрегування результату, отриманого за різними правилами.

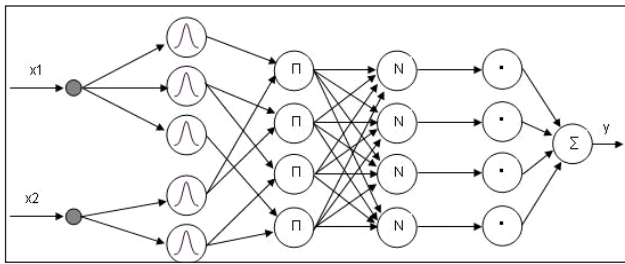


Рис. 1. ANFIS мережа

ANFIS-мережа функціонує наступним чином.

База правил являє собою безліч нечітких правил $R^k, k = 1, \dots, N$ виду [15]:

$$R^k : IF(x_1 \text{ it } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ it } A_2^k \dots \text{ AND } x_n \text{ it } A_n^k) \text{ Then } (y_1 \text{ it } B_1^k \text{ AND } y_2 \text{ it } B_2^k \dots \text{ AND } y_m \text{ it } B_m^k), \quad (6)$$

де N – кількість нечітких правил;

A_j^k, B_j^k – нечіткі множини.

При скалярному вигляді формула (6) прийме вигляд:

$$R^k : IF(x_1 \text{ it } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ it } A_2^k \dots \text{ AND } x_n \text{ it } A_n^k) \text{ Then } (y \text{ it } B^k). \quad (7)$$

Таким чином, база правил системи нечіткого висновку представляється у вигляді сукупності нечітких предикатних правил виду:

П1: якщо x це $A1$, тоді y це $B1$,

П2: якщо x це $A2$, тоді y це $B2$,

Пn: якщо x це An , тоді y це Bn ,

Блок прийняття рішення. Для визначення функції належності нечіткої множини B^k скористаємося формулою:

$$\mu_{B^k}(y) = \sup\{\mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(x_i)\} \quad (8)$$

Блок фазифікації. Застосуємо операцію типу Синглетон:

$$A'(x) = \begin{cases} 1, & x = \bar{x}, \\ 0, & x \neq \bar{x} \end{cases} \quad (9)$$

Супремум в 8 досягається при $\mu_{A'}(\bar{x}) = 1$, тоді вираз 8 приймає вигляд:

$$\mu_{B^k}(y) = \{\mu_{B^k}(y) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^k}(\bar{x}_i)\} \quad (10)$$

Для блоку дефаззифікації застосовується метод центру ваги (CoGS, Centre of Gravity for Singletons):

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k \cdot \mu_{B^k}(\bar{y}^k)}{\sum_{i=1}^N \mu_{B^k}(\bar{y}^k)} \quad (11)$$

де: \bar{y}^k – центр нечіткої множини B^k , тобто точка, в якій функції приналежності нечіткої множини B^k досягає максимуму.

Підставляючи вираз 10 в рівняння 11 і враховуючи, що максимальне значення в точці $\bar{y}^k = 1$, отримуємо:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k (\prod_{j=1}^n \mu_{A_j^k}(\bar{x}^k))}{\sum_{i=1}^N (\prod_{j=1}^n \mu_{A_j^k}(\bar{x}^k))} \quad (12)$$

Завершальний етап – це визначення форми і параметрів функцій належності нечітких множин A . Наприклад, це може бути функція Гауса

$$\mu_{A^k}(x_1) = e^{-\frac{(x_1 - \bar{x}_1^k)^2}{\sigma_1^k}} \quad (13)$$

де: \bar{x}_1^k – це центр; σ_1^k – ширина Гаусовської кривої.

Об'єднаємо всі представлені елементи. Скористаємося виразами 8, 9, 11 і 13 та отримуємо один із способів реалізації ANFIS мережі:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k (\prod_{j=1}^n e^{-\frac{(x_j - \bar{x}_j^k)^2}{\sigma_j^k}})}{\sum_{i=1}^N (\prod_{j=1}^n e^{-\frac{(x_j - \bar{x}_j^k)^2}{\sigma_j^k}})} \quad (14)$$

Створення ANFIS-моделі забезпечення необхідної температури вхідного матеріалу олійного матеріалу використаємо графічний інтерфейс гібридних нейронних мереж у пакеті прикладних програм ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) системи MatLAB [14].

Для моделювання використаємо три блоки даних, отриманих на основі проведених експериментальних досліджень та отриманої математичної моделі, зокрема навчальні, контрольні та перевіряльні дані.

Початок розробки моделі ANFIS залежності коефіцієнту напруги від початкової температури зерна ріпаку та діючої напруги мережі розпочнемо з завантаження даних експерименту в редактор моделі. Використовуємо дані Training data (рис. 2).

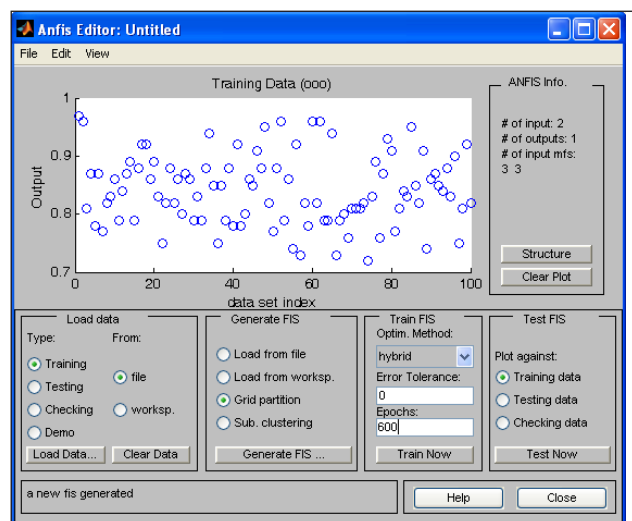


Рис. 2. Налаштування ANFIS редактора на навчальну вибірку експериментальних даних

В групі опцій ANFIS за умовчанням активована опція grid partition. Не змінюючи налаштування, генеруємо структуру нейронної моделі типу input_gbellmf та autput_linear (рис. 3). Кількість циклів змінимо на 600.

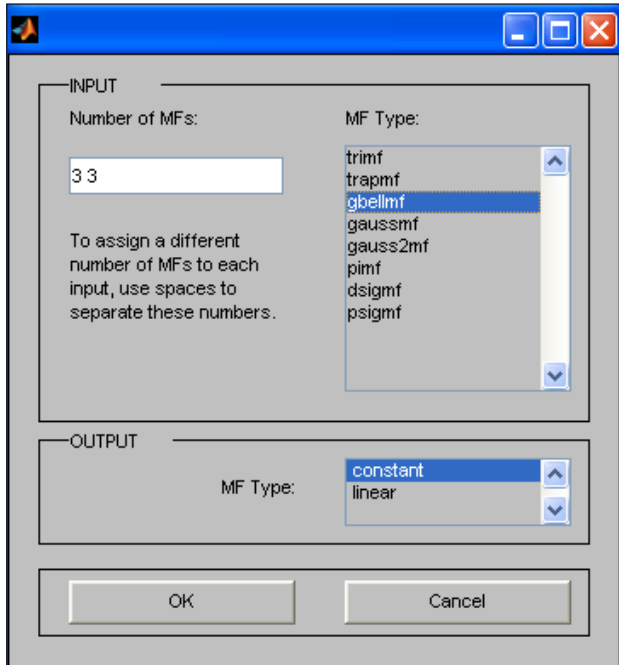


Рис. 3. Вікно визначення функцій належності

Структуру розробленої мережі зображено на рис. 4.

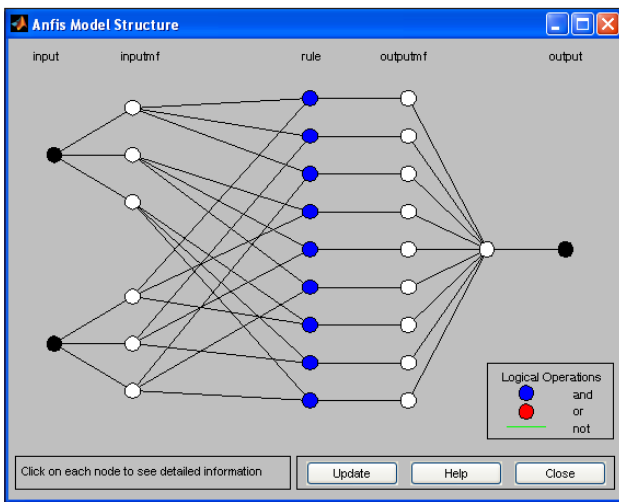


Рис. 4. Структура розробленої гібридної мережі

Навчання мережі за експериментальними даними припинилось після 515 циклу (рис. 5) з середньоквадратичною похибкою 0,0029026.

Наступним кроком розробки є введення в редактор контрольної вибірки – Testing data (рис. 6). В результаті ми отримали середньоквадратичне відхилення 0,0034573. Таке відхилення у визна-

ченні коефіцієнта m цілком нас влаштовує. Якість роботи гібридної нейронної мережі оцінимо, задавши вхідними контрольну вибірку даних – Checking data. Середньоквадратична похибка становила 0,0037069 (рис. 7), отже ANFIS навчання мережі завершено.

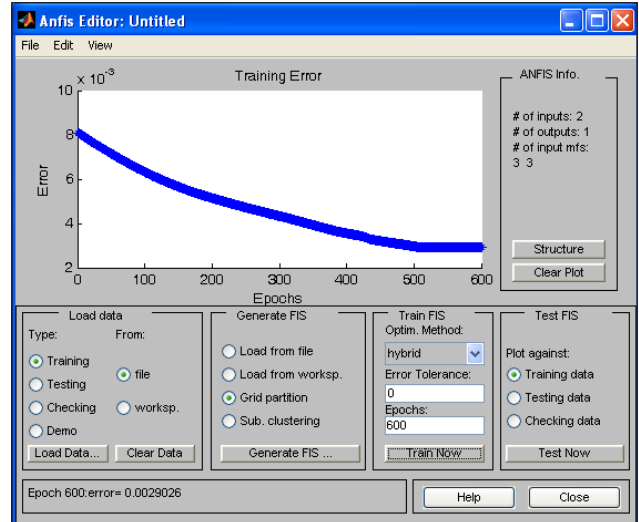


Рис. 5. Результати навчання мережі

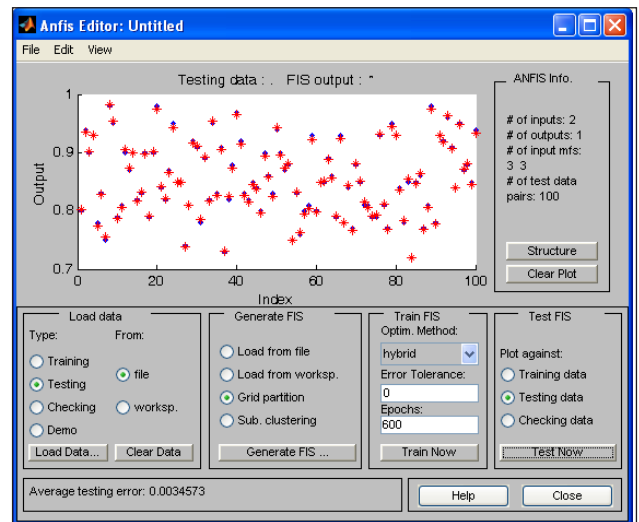


Рис. 6. Самоналаштування ANFIS на контрольну вибірку експериментальних даних

Аналізуючи отриману гібридну мережу, можемо справедливо констатувати її адекватність. Поверхню відгуку мережі зображує рис. 8. За коливань t_0 в межах від 0 до 30 °C та діючої напруги мережі U_m від 200 до 240 В візуалізація взаємодії всіх параметрів показана на рис. 9. Навчена ANFIS забезпечує необхідну точність визначення коефіцієнта напруги та може використовуватись для керування електротехнічним комплексом температурної обробки зерна ріпаку.

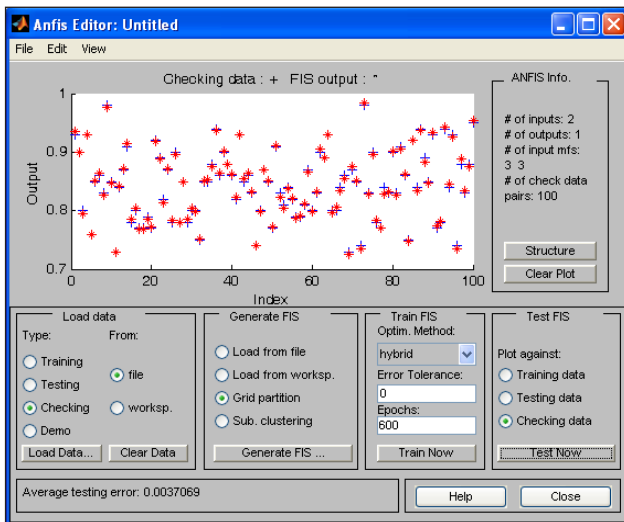


Рис. 7. Результати самоналаштування ANFIS на перевіряльні дані

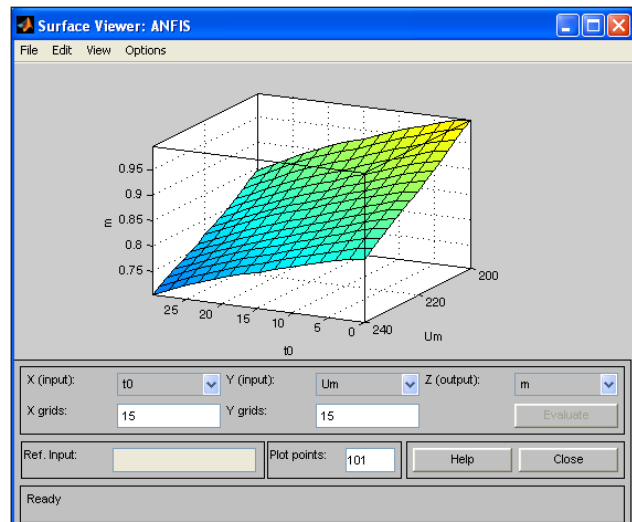


Рис. 8. Графічна залежність коефіцієнта напруги m від початкової температури t_0 , °C, та діючої напруги мережі U_m , В

Висновки. Дослідження створеної з допомогою НМ АСК коефіцієнтом напруги залежно від початкової температури зерна ріпаку та діючої напруги мережі показали її адекватність. Середньоквадратична похибка налаштування системи становила 0.0034573 за обробки Testing data та 0.0037069 за обробки Cheking data.

Розроблено алгоритм використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування електротехнологічної термічної обробки зерна в лінії виробництва олії ріпака і створено поновлювальну базу знань режимів функціонування вдосконаленого обладнання (похибка не перевищує 1.8%).

Список літератури:

1. Волков І.В., Липківський К.О., Халіков В.А. Спеціалізовані стабілізатори напруги живлення засобів обчислювальної техніки. Технічна електродинаміка. 1996. № 5. С. 72–73.
2. Жуйков В.Я., Павлов В.Б., Стжелецки Р.Г. Системи упреждающего управления вентильными преобразователями. К.: Наук. думка, 1991. 240 с.
3. Кирик В.В. Компьютерно-интегрированные технологии управления на основе нечеткой логики: монографія / за ред. В.К. Присяжнюк. Київ: Академія муніципального управління, 2008. 198 с.
4. Краснопрошина А.А., Скаржепа В.А., Кравец П.И. Электроника и микросхемотехника: Учебник / под. общ. ред. А.А. Краснопрошиной. К.: Выща шк, 1980. 303 с.
5. Лисенко В. П., Комарчук Д.С. Розробка системи автоматичного керування установкою теплової обробки дисперсних матеріалів з використанням нейронних мереж. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194. Ч. 1. С. 50–56.
6. Липківський К.О., Кирик В.В., Жаркин А.Ф., Самков А.В. Проблема регулювання напруги змінного струму та ефективне вирішення її основних аспектів за допомогою локальних технічних засобів. Технічна електродинаміка. 1997. № 1. С. 3–39.
7. Липковський К.А. Особенности питания «энергоэффективных потребителей». Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Моделирование электронных, энергетических та технологических систем». 1999. Ч. 1. С. 94–96.
8. Липковський К.О. Трансоформаторно-ключевые исполнительные структуры преобразователей переменного напряжения. Киев. Наук. думка, 1983. 216 с.
9. Миловзоров В.П., Мусолин А.К. Дискретные сибилизаторы и формирователи напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1986. 248 с.
10. Певзнер В.В. Прецизионные регуляторы температуры. М.: Энергия, 1973. 192 с.
11. Сокол Є. І. Мікропроцесорне керування напівпровідниковими перетворювачами електричної енергії за обчислювальними прогнозами: дис. д-ра техн. наук: 05.09.12. Київ, 1994. 40с.

12. Тимченко Ю. Б. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів: Основы САПР та системного проектирования складных объектов: підручник / за ред. В.І. Бикова. К.: Либідь, 2003. 272 с.
13. Шидловський А.К. Тиристорные преобразователи постоянного напряжения для низковольтного электротрансформатора. Киев: Наук. думка, 1982. 188 с.
14. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая Линия, 2007. 288 с.
15. Jang J.S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Trans. Systems & Cybernetics, 1993. Vol. 23. P. 665–685.
16. Mamdani E.H. Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis. IEEE Trans. on Computers, Vol. 26. 1997. – P.1182-1191.
17. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. John Wiley & Sons, 1997. 305 p.
18. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy Identification of Systems and Application to Modeling and Control. IEEE Trans. Syst. Man & Cybern. 1985. Vol. 20. No. 2. 1985. P. 116–132.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработан алгоритм использования нечетких нейронных сетей для определения энергоэффективных режимов функционирования электротехнологического комплекса температурной обработки зерна в линии производства масла рапса и создана возобновляемая база знаний режимов функционирования оборудования. Исследованием созданной с помощью нечетких нейронных сетей автоматической системы управления коэффициентом напряжения в зависимости от начальной температуры зерна рапса и действующего напряжения сети доказана ее адекватность.

Ключевые слова: нейронная сеть, индукционный нагрев, индуктор, пресс-экструдер, тепловой процесс, рапс, растительное масло.

DEVELOPING OF THE ALGORITHM OF USE THE FUZZY NEURAL NETWORK FOR THE DETERMINATION OF THE ENERGY EFFICIENT MODES OF THE OPERATION BY ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX OF INDUCTION HEATING OF DISPERSE MATERIALS

The algorithm of usage of fuzzy neural networks for the determination of energy-efficient modes of operation of the electrotechnological complex of heating processing of grain in the production line of rapeseed oil has been developed and a renewed knowledge base of the operating modes of the equipment has been created. Learning of the fuzzy neural network which was created for automatic control of the voltage coefficient, depending on the initial temperature of the rape grain and the operating voltage, showed its adequacy.

Key words: neural network, induction heating, inductor, extruder, heating process, rape, seed oil.

Кулик М.П.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КОМБІНОВАНА ПГТУ ЗМІННОЇ СТРУКТУРИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ШВИДКОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Енергетика України через зношеність технологічного обладнання знаходиться критичному стані. Вугільні блоки є джерелами викиду шкідливих речовин в атмосферне повітря. Запропоновано дві схеми ПГТУ, які поєднують паровий і газовий цикли генерації та працюють на продуктах газифікації вугілля. Підвищується маневровість блоків. Використання мембран для розділення повітря унеможливорює утворення оксидів азоту.

Ключові слова: маневровість, мобільність, мембранне розділення повітря, паровий і газовий цикли генерації.

Постановка проблеми. Об'єднана енергетична система (далі – ОЕС) України базується на теплових (далі – ТЕС), атомних (далі – АЕС), гідро- та гідроакумуючих (далі – ГЕС, ГАЕС) електростанціях, а також незначною мірою на альтернативних і відновлювальних джерелах енергії. При цьому технологічне обладнання вказаних основних джерел, зокрема ТЕС, на 80–90% [1–3] вичерпало свій проектний ресурс. У структурі потужностей та об'ємах виробництва електроенергії вбачається, за різними джерелами, неоднозначне співвідношення [4] між суб'єктами генерації як у часи незалежності, так і після 2014–2016 років.

З іншого боку, структура ОЕС переобтяжена базовими потужностями діючих АЕС та вугільними блоками (300 і 800 МВт) теплової генерації, а тому встановлених потужностей ГЕС і ГАЕС, частка яких сягає більше ніж 7 ГВт, недостатньо для покриття пікових режимів споживання. Крім того, об'єкти теплової генерації є джерелом великих викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря, а з погіршенням якості кам'яного вугілля їх обсяги будуть зростати. Робота вугільних енергоблоків (100–200 МВт) у непроектованих пікових і напівпікових режимах ще більше буде погіршувати техніко-економічні та екологічні показники ТЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У тепловій енергетиці, крім парового, відомий спосіб газової генерації електричної енергії, який за наявності певної інфраструктури в Україні широко не використовується. У високорозвинутих країнах значна частина генерувальних потужностей базується на газотурбінних технологіях [5]. Газові енергетичні установки мають дещо вищий коефіцієнт корисної дії, але потребують дорогого

газотурбінного палива, а також характеризуються значно нижчими викидами в атмосферу оксидів вуглецю та оксидів азоту.

Україна володіє повним циклом розроблення та виробництва промислових газових турбін, авіаційних і суднових газотурбінних двигунів та енергетичних установок. З іншого боку, досить перспективним видом термодинамічного циклу є комбінований парогазовий цикл, який полягає в тому, що для генерації водяної пари в котлі-утилізаторі використовують продукти згорання на виході з газової турбіни. Великі перспективи має для України використання парогазових енергетичних установок (далі – ПГУ) для утилізації доменного газу металургійних виробництв. Дослідження, виконані деякими вітчизняними науково-виробничими та конструкторськими структурами, доводять перспективність такого важливого напрямку використання згаданих установок у нафтопереробному комплексі на низькокалорійних газових відходах, що додатково зможе покращити екологічну ситуацію.

Вітчизняні науковці розробили газопаротурбінну установку типу «Водолій» [6] для утилізації відхідних газів газоперекачувальних агрегатів газотурбінних приводів нагнітачів природного газу магістральних газопроводів, що дає змогу підвищити рівень енергозбереження під час транспортування природного газу. Розроблена вказаними авторами технологія утилізації скидної теплоти ГТУ допомагає підвищити коефіцієнт корисної дії газотурбінних приводів компресорних станцій до 48%, зменшити витрати природного газу на власні потреби, а також майже удвічі, знижуються викиди забруднюючих речовин, що забезпечує відповідність вимогам Директив Європейського Союзу щодо допустимих викидів.

Однак, незважаючи на це, в нашій країні парогазову технологію для генерації електричної енергії чомусь широко ще не використовують.

Постановка завдання. Оновлена Енергетична стратегія України на період до 2035 року не вирішує наявних в енергетиці України проблем створення додаткових маневрових потужностей, зниження дефіциту пікових і напівпікових потужностей, а також скорочення викидів шкідливих речовин об'єктами теплової генерації.

Для стабілізації ситуації стосовно стійкості роботи ОЕС України в межах необхідної якості електричної енергії частка маневрової потужності об'єктів генерації має становити не менше ніж 20–30% від загальної потужності енергосистеми. Для цієї мети цілком підходять комбіновані ПГТУ, які можуть працювати навіть на продуктах газифікації твердого палива, зокрема кам'яного вугілля, в тому числі й вугілля низької якості власного видобутку. Реалізуючи технологію двох- і навіть трьохстадійного спалювання з використанням циклонних передтопоків і циркулюючого киплячого шару (ЦКШ), можна досягти екологічних стандартів [7] щодо викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря. Робоче тіло для газової частини формується в міжкорпусному об'ємі циклонного передтопка.

Екологічні проблеми парогазового способу генерації в таких комбінованих енергетичних установках можна частково вирішити при подачі в зону спалювання помеленого кам'яного вугілля атмосферного повітря, яке збагачується киснем за спеціально підбраною технологією, найбільш придатною для роботи в комбінованій парогазовій енергетичній установці (без загальноприйнятого на тепер коефіцієнта надлишку повітря на рівні не вищому за 1,15).

Виклад основного матеріалу дослідження. Коефіцієнт корисної дії (далі – ККД) енергоблоків, які перебувають в експлуатації на вітчизняних ТЕС, сьогодні знаходиться на рівні 28–38%, що збігається з ефективністю блоків на більшості російських ТЕС, обладнання яких виготовлено на тих же заводах-виробниках. Водночас на Заході будуються й надійно працюють вугільні енергоблоки з ККД 45–46%, а парогазові установки (в подальшому ПГУ), які там використовуються, мають ККД 55–58%.

Досягнення суттєвого техніко-економічного, а також екологічного

ефекту під час роботи енергетичних установок, які для забезпечення електричною енергією зможуть працювати на низькоякісному твердому, рідкому чи газоподібному паливі без новітніх ресурсозберігаючих технологій, у тепловій енергетиці неможливо.

Для докорінного підвищення ефективності ТЕС важливе значення має виведення з експлуатації старого низькоекономічного обладнання та заміна його перспективним, яке забезпечує радикальне зниження затрат на виробництво електроенергії й тепла, зниження витрат палива та збільшення коефіцієнта використання потужності, а також зменшення викидів у навколишнє середовище та ремонтних затрат.

Ще більший позитивний ефект може бути досягнутий тільки при спільній роботі паротурбінних і газотурбінних установок, у яких використовуються сучасні технічні рішення у сфері теплотехніки й теплопередачі [8].

Для вирішення вказаних вище проблем у вітчизняній енергетиці повинна використовуватися технологічна платформа «Екологічно чиста теплова енергетика високої ефективності» як складник «Енергетичної стратегії 2030», а також відповідні розділи оновленої програми «Енергетична стратегія України на період до 2035 року» – інструмент, що включає поєднання перспективних комерційних технологій, нових технологічних і промислових досягнень, скерованих на об'єднання зусиль усіх зацікавлених сторін (малого та середнього бізнесу, науки, держави, громадянського суспільства) на основі вдосконалення нормативно-правової бази.

Часткове вирішення таких завдань запропоновано в роботах М. Кулика [8] і П. Омеляновського та Й. Мисака [9]. Запропонована принципова блок-схема комбінованої енергетичної установки приведена на рис. 1. Паливо, здебільшого низької якості, розбивається на два потоки. Частина його спалюється за звичайною схемою, виробляється водяна пара необхідних параметрів для парової турбіни.

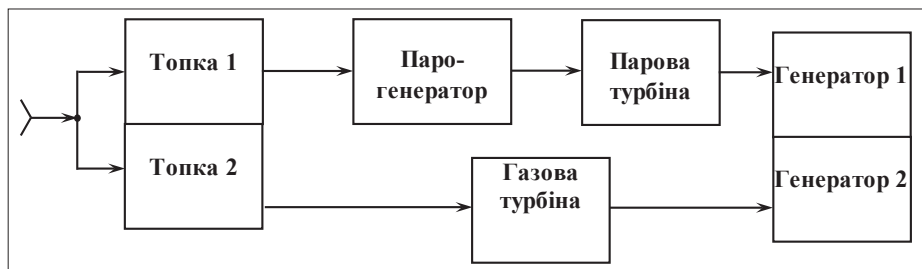


Рис. 1. Блок-схема виробництва електроенергії на базі паротурбінної й газотурбінної установок

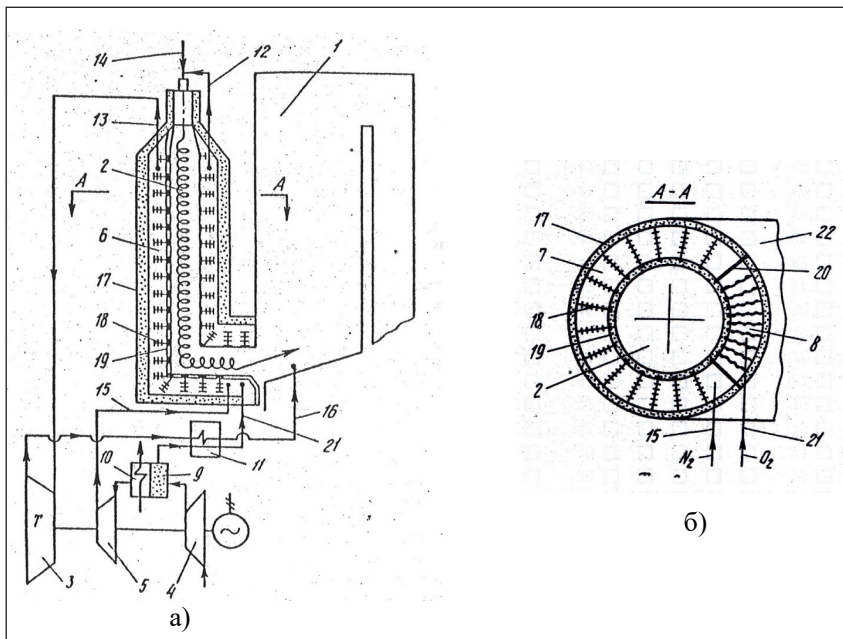


Рис. 2. Схема комбінованої енергетичної установки з мембранним розділювачем повітря й відсіками(азотним і кисневим):

- 1 – основна топка; 2 – додаткова топка; 3 – газова турбіна; 4, 5 – ступені компресора; 6 – об’єм для охолодження; 7, 8 – відповідно азотна й киснева частина топки; 9 – мембранний розділювач; 10 – холодильник; 11 – теплообмінник-регенератор; 12 – вихідний патрубок кисневої частини; 13 – лінія робочого тіла (азоту) на газову турбіну; 14 – тракт подачі палива в додаткову топку; 15 – лінія стиснутого азоту на нагрів; 16 – лінія вихлопу газової турбіни; 17 – теплоізоляція додаткової топки; 18 – теплові трубки; 19, 20 – відповідно внутрішня й роздільна стінки; 21 – киснева лінія на нагрів, 22 – скид додаткової топки

Друга частка палива надходить у модифіковану топку (циклонний передтопок), де певна кількість тепла передається, наприклад, у стисненому в компресорі атмосферному повітрі (чи іншому газоподібному робочому тілі), яке після додаткового стиснення може працювати в газовій турбіні.

Відмітимо, що коефіцієнт корисної дії нижньої ланки вже за рахунок відсутності одного блоку (етапу перетворення) буде дещо вищим за такий самий ККД верхньої ланки. Необхідно ще зауважити, що передача тепла від газів згорання в модифікованій топці з використанням теплових трубок також буде ефективнішою (топка 2). А це означає, що ККД нижньої ланки зросте ще більшою мірою. Результуючий ККД паралельного з’єднання при рівних кількостях вугілля, яке подається в додаткову та основну топку, за оцінкою авторів [5], може зрости до 5%.

При подачі в зону спалювання збагаченого киснем атмосферного повітря зменшується загальний об’єм викидів унаслідок подачі меншої кількості атмосферного повітря, а також концентрація оксидів азоту через значно нижчу кількість

атмосферного азоту. Такий спосіб у металургії давно відомий і широко використовується у вигляді так званого «кисневого дуття».

Збагачення атмосферного повітря киснем найбільш доцільно здійснювати при використанні мембранних технологій розділення з отриманням суміші збагаченої киснем та азотної фракції, яка скеровується в міжкорпусний відсік циклонного передтопка для формування робочого тіла газового циклу генерації.

Запропонована авторами [10] енергетична установка з мембранним розділювачем повітря забезпечує не тільки високу маневреність і мобільність енергоблоку, а й суттєве зниження утворених оксидів азоту через відсутність достатньої кількості азотовмісної сировини для їх утворення.

Переведення великої енергетики на комбіновані ПГТУ для підвищення мобільності в плані

покриття пікових навантажень та орієнтація на суворі вимоги щодо екологічності енергетичних установок, а з іншого боку, значна вартість газотурбінного палива (газоподібного чи рідкого) та погіршення якості енергетичного вугілля ставлять перед сучасними науковцями подвійне і взаємовиключне завдання: уникнути використання газотурбінного палива, що тягне за собою газифікацію кам’яного вугілля, в тому числі низької якості; забезпечити дотримання жорстких вимог екологічного законодавства, адаптованого до європейських директив.

Вищенаведені міркування стосовно необхідності модернізації об’єктів теплової енергетики шляхом їх оснащення обладнанням для газотурбінних установок, які мали б працювати на заміниках газотурбінного палива [2; 5], зокрема, на думку автора цитованої роботи, на попутних газах, синтез-газі в суміші з воднем або на продуктах газифікації кам’яного вугілля. Для ефективного використання парогазотурбінних установок, що працюватимуть на твердому паливі (вугілля низької якості), необхідне створення досконалих систем його газифікації та очищення

отриманої газової суміші від механічних домішок і шкідливих компонентів. Частково такі системи створені провідними спеціалістами інституту вугільних енерготехнологій НАН України та описані в колективній монографії [7]. На думку авторів [2, 7], ККД комбінованих ПГТУ може сягати значень 50–60%, але для цього також ще потрібна реконструкція різного ступеня складності газових турбін і їх камер згорання.

Подальше вдосконалення вищезгаданої комбінованої енергетичної установки [10] призвело до розділення міжкорпусного об'єму додаткової топки циклонного типу на дві частини – азотний і кисневий відсіки, крім того, характерною відмінністю додаткової циклонної топки є наявність теплових трубок, які пронизують її перегородку (див. рис. 2а, б).

Особливість цієї енергетичної установки (рис. 1а, б) полягає в тому, що отримані продукти розділення атмосферного повітря (збагачена суміш киснем та азотна фракція) використовуються для різних цілей. Збагачене киснем атмосферне повітря нагрівається в теплообміннику-регенераторі 11 відхідними газами турбіни 3 по лінії 21 і потрапляє в кисневий відсік 8 додаткової топки, після наступного перегріву подається на запалювання пилоподібної суміші. Азотна фракція атмосферного повітря після охолодження в холодильнику 10 по лінії 15 потрапляє в азотний відсік додаткової топки, а після нагріву за допомогою теплових трубок 18 як робоче тіло з наперед заданими параметрами (тиском і температурою) скеровується по лінії 13 у газову турбіну. Нагрітий кисень інтенсифікує процеси горіння в додатковій топці, а значно менша наявність у ньому азоту запобігає утворенню оксидів азоту, чим досягається значне зниження їх викидів.

Дещо по-іншому вирішена проблема зменшення викидів, зокрема викидів оксидів азоту, і подачі на спалювання атмосферного повітря, збагаченого киснем, Д.Н. Грінченком, М.П. Куликом [11]. Принципова схема цієї енергетичної установки зображена на рис. 3.

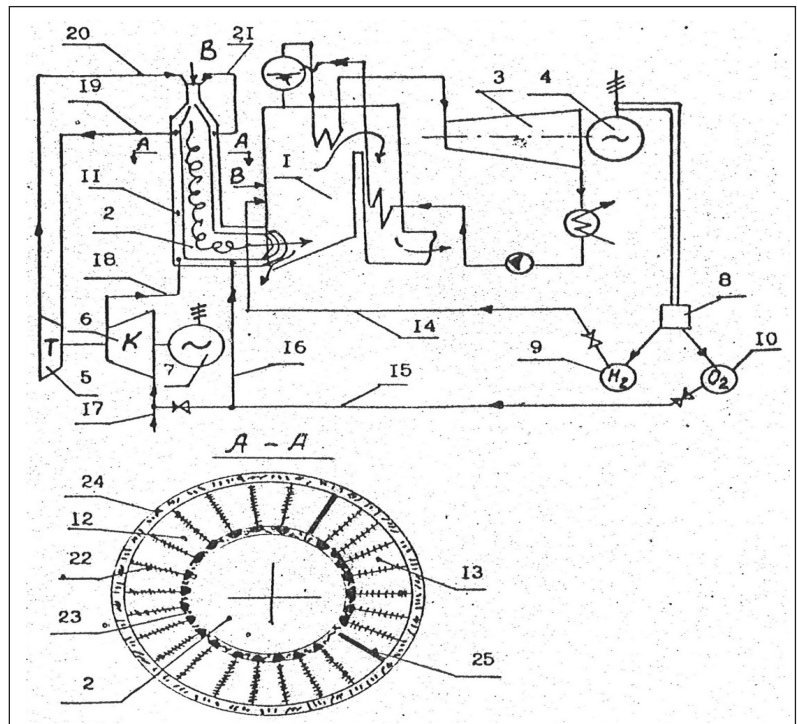


Рис. 3. Схема комбінованої енергетичної установки з повітряним і кисневим відсіками в додатковій топці, а також блоком розділення води:

- 1 – основна топка котла; 2 – додаткова топка; 3 – парова турбіна;
- 4 – електрогенератор; 5 – газова турбіна; 6 – компресор;
- 7 – генератор ГТУ; 8 – блок розділення води; 9 – газгольдер-накопичувач водню; 10 – газгольдер-накопичувач кисню;
- 11 – сорочки охолодження додаткової топки; 12 – повітряний відсік додаткової топки; 13 – кисневий відсік; 14 – лінія скиду водню в основну топку; 15 – лінія подачі кисню на всмоктування компресора;
- 16 – лінія подачі кисню в кисневий відсік сорочки; 17 – лінія всмоктування компресора; 18 – викид компресора в повітряний відсік сорочки; 19 – лінія подачі робочого тіла в газову турбіну; 20 – лінія скиду газової турбіни в додаткову топку;
- 21 – лінія виходу кисню з кисневого відсіку на горіння;
- 22 – теплові трубки; 23 – теплова ізоляція внутрішньої стінки додаткової топки; 24 – теплова ізоляція зовнішньої стінки додаткової топки; 25 – роздільна стінка відсіків додаткової топки

Оригінальною ознакою вказаної розробки є наявність блоку розділення води на водень і кисень за допомогою електричної енергії, виробленої в момент зменшеного споживання в нічні та літні періоди часу.

Накопичений у газгольдері 9 водень у денний період меншого споживання та в ранішні й вечірні години, коли навантаження на основне генеруюче обладнання зростає, подається на спалювання вугілля низької якості в основну топку котельного агрегату. Це дасть змогу основному обладнанню всіх ТЕС більш гладко проходити максимальні пікові навантаження енергосистеми України. Така технологія натеper широко використовується в передових країнах Європи, зокрема, за усною інформацією випускників

кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій, які працюють у Бранденбурзькому технічному університеті (ФРГ). Отриманий при цьому кисень повертається в атмосферне повітря.

Отриманий при цьому одночасно кисень іде на збагачення атмосферного повітря, що подається як в основну, так і в додаткову топку котельного агрегату. А це гарантує суттєве зменшення оксидів азоту атмосферного походження, що знижує екологічне навантаження на території розташування ТЕС, а також зменшує плату за забруднення навколишнього середовища, оскільки оксиди азоту належать до найвищого класу небезпеки.

Висновки. Запропоновані енергетичні установки можуть працювати як за паровим, так і за газовим способами генерації, окремо й в комбінації, тобто в широкому діапазоні зміни потужності, під час нічних провалів накопичувати певні об'єми водню для підняття температури у факелі в процесі спалювання палива низької якості. Збагачення киснем атмосферного повітря знижує об'єми димових газів, а зниження вмісту азоту в суміші, яка надходить на горіння, унеможливає утворення швидких оксидів азоту. За рахунок газової генерації швидкість набору та зниження потужності також зростає, тобто підвищується мобільність енергетичної установки.

Список літератури:

1. Воронцов С. Про відповідність Енергетичної стратегії України на період до 2030 року сучасним викликам і загрозам у сфері енергетичної безпеки / Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/>.
2. Запорожець Ю.М. Теплові електростанції України перед дилемою: або закриття або інтенсивне відновлення. Наукові праці. Серія «Техногенна безпека». Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. Вип. 198. Том 210. С. 31–38.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: mre.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245239564.
4. Савицький О. Спадок ери динозаврів (Огляд теплової енергетики України) / за ред. Олени Міскун. Київ: Вид. Національного екологічного центру України, 2014. 29 с.
5. Перспективи розвитку вітчизняної парогазової технології / Б.Є. Патон, А.А. Долинський, А.А. Халатов та інші. Вісник НАН України (Київ). 2009. № 4. С. 61–69.
6. Дикий Н.О. Газопаротурбинная технология «Водолей»: теоретические основы, технические решения и перспективы их использования. Практика энергосбережения: материалы 4-го Междунар. семинара-практикума. Ялта, 2005.
7. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України / І.А. Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич та інші. Київ: ТОВ «Гнозис», 2013. 314 с.
8. Кулик М.П., Семчук Я.М. Екологічні та техніко-економічні аспекти спільної роботи парогазотурбінних енергетичних установок. Нафтогазова енергетика: всеукраїнський науково-технічний журнал. 2008. № 1 (6). С. 63–68.
9. Теплова енергетика. Нові виклики часу / за загальною ред. П. Омеляновського та Й. Мисака. Львів: НВФ «Українські технології», 2009. 659 с.
10. Гринченко Д.Н., Кулик М.П. Энергетическая установка. Авт. свид. СССР № 1813884, БИ № 17, 1993.
11. Гринченко Д.Н., Кулик М.П. Энергетическая установка. Авт. свид. СРСР № 1813883, БИ № 17, 1993.

КОМБИНИРОВАННАЯ ПГТУ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ КАК ЭЛЕМЕНТ БЫСТРОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ

Енергетика України по причине изношенности технологического оборудования находится в критическом состоянии. Угольные блоки являются источником выбросов вредных веществ в окружающую среду. Предложены две схемы ПГТУ, в которых совмещены паровой и газовый цикл генерации и которые работают на продуктах газификации угля. Использование мембран для разделения воздуха устраняет образование окислов азота.

Ключевые слова: маневренность, мобильность, мембранное разделение воздуха, паровой и газовый циклы генерации.

COMBINED CYCLE GAS AND STEAM TURBINE UNIT OF A VARIABLE STRUCTURE AS AN ELEMENT OF QUICK OVERHAUL OF HEAT POWER ENGINEERING OF UKRAINE

Power engineering in Ukraine due to the wear of technological equipment is in critical condition. Coal blocks are sources of emissions of harmful substances into the atmosphere. Two schemes of steam and gas turbine plants, which combine the steam and gas generation cycle, are proposed and work on coal gasification products. The maneuvering of blocks is increasing. The use of membranes to separate air makes it impossible to form nitrogen oxides.

Key words: maneuverability, mobility, membrane separation of air, steam and gas-cycle generation.

Кучма В.С.

Одеський національний політехнічний університет

Погосов О.Ю.

Одеський національний політехнічний університет

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЩОДО ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ БОРНОГО ПОГЛИНАЧА НЕЙТРОНІВ У ТЕПЛОНОСІЇ ЯЕУ З ВВЕР-1000

Основне завдання борного рідинного регулювання щодо управління потужністю ядерного реактора ВВЕР-1000 полягає в компенсації повільних змін реактивності протягом кампанії реактора шляхом зміни концентрації поглинача нейтронів – ізотопу ^{10}B , що може входити до теплоносія в складі хімічної сполуки H_3BO_3 . У статті розглядаються технічні можливості виміру концентрації борної кислоти, розчиненої в теплоносії ядерної енергетичної установки, оскільки зміна концентрації має супроводжуватися її оперативними вимірюваннями. Основна методика дослідження полягала в технічному аналізі фізичних принципів і використовуваних на практиці засобів реалізації процедури вимірювання концентрації борної кислоти в теплоносії ядерної енергоустановки з погляду аналізу можливостей щодо автоматизації цих процесів. Узято до уваги, що як базовий метод для визначення концентрації H_3BO_3 має використовуватися нейтронно-абсорбційний метод, передбачений технологічно на сучасних АЕС із реактором ВВЕР-1000.

Ключові слова: ядерний реактор, активна зона, тепловиділення, вимір концентрації рідкого поглинача нейтронів, борна кислота.

Постановка проблеми. Використання борної кислоти як поглинача під час рідинного регулювання дає змогу зменшити нерівномірність розподілу енерговиділення по активній зоні ядерного реактора, так як розчин контактує зі всією активною зоною реактора і змінює нейтронно-фізичні характеристики рівномірно по всьому її об'єму. При цьому потенційно дієвий вплив борної кислоти на реактивність реактора дає можливість використовувати зміну її концентрації в декількох системах безпеки, які здатні вводити в перший контур великі обсяги води з високою концентрацією поглинача нейтронів для припинення ланцюгової реакції й у разі потреби зменшення потужності реактора до прийнятних значень. Однак через значну інерційність такий спосіб практично не застосовується для оперативного регулювання відносно швидких перехідних процесів. Отже, поряд зі зниженням інерційності операцій впливу на потужність реактора шляхом зміни концентрації рідкого поглинача нейтронів у теплоносії існує проблема оперативного вимірювання концентрації борної кислоти для використання цієї поточної інформації в системі управління потужністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимірювання значень концентрації ізотопу ^{10}B (що відповідає певним значенням концентрації борної кислоти) у водних розчинах зазвичай рахується на основі нейтронно-абсорбційного методу [1, с. 87]. У

публікації розглянута математична модель для розрахунку концентрації ізотопу ^{10}B та борної кислоти у водному розчині, рівняння для вимірювання концентрацій, залежність концентрацій від кількості атомів ізотопу ^{10}B , виконано аналіз цих залежностей. Відомі також інші роботи [2, с. 274; 3, с. 65], у яких аналізуються можливості нейтронно-абсорбційного методу, але в них недостатньо розглянуті аспекти, пов'язані з аналізом швидкості рахування імпульсів технічних засобів концентратометрії ^{10}B , що використовуються на АЕС, залежно від технологічних факторів.

Постановка завдання. Метою статті є проведення аналізу залежності швидкості рахування імпульсів в апаратурі концентратометрії від технологічних факторів, які можуть мати вплив на оперативність вимірювань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час проведення досліджень бралось до уваги таке. У проектах енергетичних установок з ВВЕР-1000 всі прилади, обладнання та апаратура контролю й управління реакторної установки включені до складу автоматизованої системи управління технологічним процесом. Усі системи при цьому, за правилами ядерної безпеки, діляться на системи (елементи) контролю й управління та системи управління й захисту. Водночас не всі операції, які стосуються управління потужністю реактора, достатньою мірою автоматизовані.

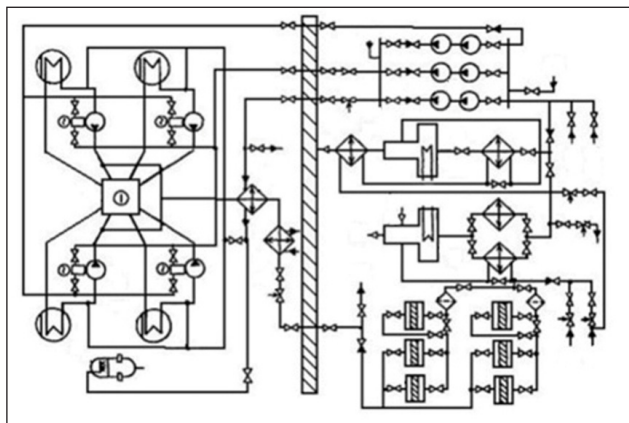


Рис. 1. Система підживлення-продувки першого контуру

Технологічно можливо управління потужністю реактора як за допомогою системи управління й захисту, так і за допомогою системи рідинного (борного) регулювання, але в цьому випадку розглядається тільки система рідинного регулювання, бо саме в цій системі автоматизація не є достатньою. Так, вимірювання концентрації борної кислоти здійснюється завдяки пробовідбору за запитом оперативного персоналу з блочного щита управління енергоблоком АЕС.

Основна функція борного рідинного регулювання полягає в компенсації повільних змін реактивності протягом кампанії реактора. На її початок запас реактивності палива на вигорання дуже великий, 30 ... 40 бевф, його компенсують відносно великою концентрацією борної кислоти (8 ... 9) г/кг. У міру вигорання палива його розмножувальні здатності погіршуються, концентрацію борної кислоти поступово зменшують практично до нуля для підтримки нейтронної потужності на постійному рівні. Існує й низка інших повільних ефектів, що компенсуються за допомогою борного регулювання, наприклад, шлакування палива. Крім борного (рідинного) регулювання, для тих же цілей у реакторах типу ВВЕР застосовуються й інші технічні рішення, наприклад, стрижні (поглинаючі елементи) з вигораючим поглиначем у складі тепловиділяючих збірок і вигораючим поглиначем, унесеним безпосередньо в паливну матрицю [4, с. 244].

Зміна концентрації борної кислоти в теплоносії забезпечується за допомогою системи продувки-підживлення першого контуру. Невелика витрата води через систему продувки-підживлення забезпечує дуже малу швидкість введення позитивної реактивності для відповідності правилам ядерної безпеки. Для збільшення концентрації бор-

ної кислоти її додають від системи боровмісткої води й борного концентрату в систему продувки-підживлення, а звідти в реакторний контур. Для зниження концентрації використовується система дистилляту. У кінці кампанії через дуже малу концентрацію бору ефективність водообміну сильно знижується, і додавання дистилляту стає вкрай неефективним, тому для виведення борної кислоти використовують іонітні фільтри однією із систем водоочиснення [5, с. 359].

Схема системи підживлення-продувки представлена на рис. 1.

Уведення й виведення поглиначів нейтронів (^{10}B) вимагає не тільки високоточних попередніх розрахунків, пов'язаних із використанням описаного вище обладнання, а й прецизійних оперативних вимірювань.

Борний поглинач у складі хімічної сполуки ортоборної кислоти подається в теплоносії з так званого бака борного концентрату за допомогою системи підживлення. Отже, за необхідності зниження концентрації борної кислоти здійснюється подачею в теплоносії чистої знесоленої води. Згідно з технологічним стандартом, прийнятим в атомній енергетиці, система рідинного регулювання, що працює за принципом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії шляхом розведення його знесоленою водою або розчином борної кислоти, включає у свій склад технічні пристрої, які повинні забезпечувати таке: компенсацію повільних змін реактивності, пов'язаних із вигоранням ядерного палива, отруєнням реактора ізотопом ксенону ^{135}Xe й ізотопом самарію ^{149}Sm , із розігрів-розхолодженням першого контуру із заданими швидкостями та змінами потужності реактора; створення й підтримання в першому контурі концентрації борної кислоти, необхідної для безпечного проведення перевантаження реакторного палива і для виконання ремонтних робіт; компенсацію витоків теплоносія з першого контуру до значень, що не вимагають включення систем аварійного введення бору в складі водного розчину борної кислоти.

Виходячи із цих специфічних умов, визначення концентрації H_3BO_3 в воді першого контуру виконується за допомогою регулярного пробовідбору теплоносія. Для цього використовується нейтронно-абсорбційний метод, який у практиці експлуатації АЕС отримав умовну назву «метод нейтронного аналізу розчину бору». Варто поставити питання: чи можливо використовувати цей метод, маючи на увазі необхідність подальшої автоматизації описаних вище процесів?

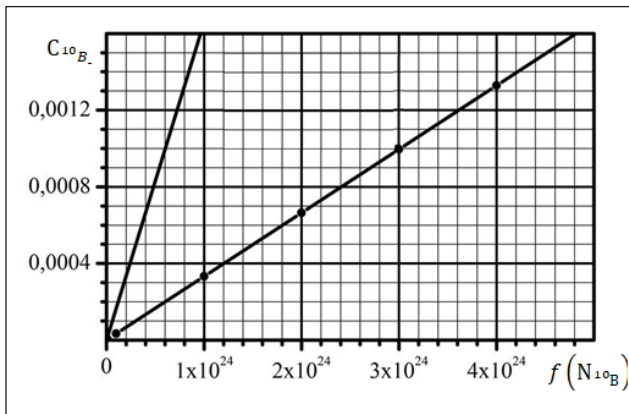


Рис. 2. Залежність $C_{10B} = f(N_{10B})$

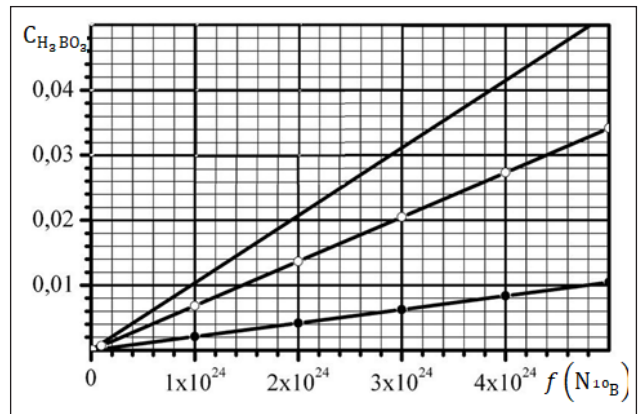


Рис. 3. Залежність $C_{H_3BO_3} = f(N_{10B})$

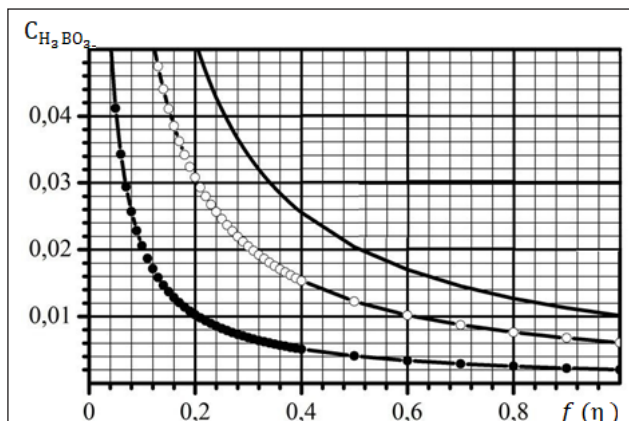


Рис. 4. Залежність $C_{H_3BO_3} = f(\eta)$

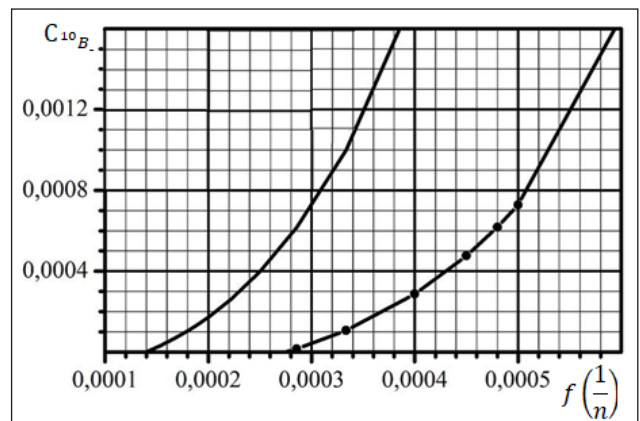
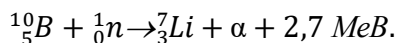


Рис. 5. Залежність $C_{10B} = f\left(\frac{1}{n}\right)$

Справа в тому, що цей метод заснований на таких процесах. Швидкі нейтрони, що випускаються технічним джерелом випромінювання в складі апаратури концентратометрії, в разі потрапляння в досліджуваній розчин борної кислоти (відібрану пробу) сповільнюються за рахунок пружної взаємодії з ядрами хімічних елементів розчину. Частина повільних (теплових) нейтронів поглинається ядрами ізоотопу бору ^{10}B згідно з реакцією:



Технічним засобом реалізації описаного методу є так званий «нейтронний аналізатор розчину базовий» (НАРБ), інакше кажучи, «боромер».

Отже, стандартний боромер містить джерело випромінювання нейтронів і датчик. Нейтронний детектор (датчик) підключений до вторинного приладу й оформлений як одне ціле. Вторинний прилад слугує для перетворення первинного сигналу від детектора нейтронів в електричний сигнал. Цей сигнал являє собою статистично осереднену в часі послідовність прямокутних імпульсів,

що перетворюються в аналоговий електричний сигнал, який потім можна трансформувати за необхідності в цифровий (кодовий) сигнал, пропорційний концентрації борного поглинача. Завдяки такому рішенню вторинний прилад вимірювача перетворює сигнал, що надходить на його вхід, у числове значення концентрації борної кислоти [6, с. 120].

Задля подальшого аналізу розглянемо загальні математичні залежності (аналітичну модель) процесу, що має місце. Значення концентрації бору та борної кислоти C_{10B} і $C_{H_3BO_3}$ дорівнюють:

$$C_{10B} = \frac{m_{10B}}{m_{\Sigma}}, \quad C_{H_3BO_3} = \frac{m_{C_{H_3BO_3}}}{m_{\Sigma}},$$

де m_{10B} – маса ізоотопу ^{10}B ; $m_{H_3BO_3}$ – маса H_3BO_3 ; $m_{\Sigma} = m_{10B} + m_{C_{H_3BO_3}}$ – маса розчину; m_{H_2O} – маса дистильованої води.

На практиці користуються фізичною величиною «масова концентрація», яка дорівнює:

$$C_{V^{10B}} = \frac{m_{10B}}{V_{\Sigma}} \quad \text{або} \quad C_{V^{H_3BO_3}} = \frac{m_{C_{H_3BO_3}}}{V_{\Sigma}},$$

де V_{Σ} – сумарний обсяг розчину.

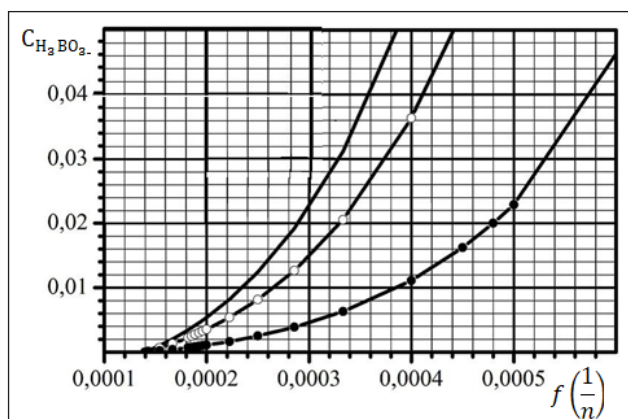


Рис. 6. Залежність $C_{H_2BO_2} = f\left(\frac{1}{n}\right)$

Зробивши математичні розрахунки згідно з методикою [1, с. 87], отримаємо три залежності $C_{^{10}B} = f(N_{^{10}B})$, $C_{H_2BO_2} = f(N_{^{10}B})$, $C_{H_2BO_2} = f(\eta)$. Отримані залежності наведені на рис. 2–4.

Виконаємо аналіз наведених на рисунках залежностей. Проаналізуємо залежність

$$C_{^{10}B} = f(N_{^{10}B}) \text{ і } C_{H_2BO_2} = f(N_{^{10}B}).$$

Масу розчину подамо у вигляді

$$m_L = \frac{(62 - \eta) \cdot N_{^{10}B}}{\eta \cdot N_A} + m_{H_2O},$$

$$\text{де } m_{H_2BO_2} = \frac{(62 - \eta) \cdot N_{^{10}B}}{\eta \cdot N_A}.$$

Аналіз показує таке:

1) $C_{^{10}B}$ і $C_{H_2BO_2}$ лінійно залежать від $N_{^{10}B}$ й обернено пропорційна від m_Σ (рис. 4, рис. 5).

$$C_{^{10}B} = f(N_{^{10}B}) \Big|_{m_\Sigma = const} = const.$$

2) $C_{H_2BO_2}$ нелінійно залежить від η . $C_{H_2BO_2}$ зменшується зі зростанням η (рис. 5), так як зменшується $m_{H_2BO_2}$. При $N_{^{10}B} = const$ ($K_{^{10}B} = const$) і $m_\Sigma = const$:

$$\frac{C_{H_2BO_2}}{C_{^{10}B}} = \frac{\eta_2 \cdot (62 - \eta_1)}{\eta_1 \cdot (62 - \eta_2)}.$$

3) $N_{^{10}B}$ можна змінити або змінюючи масу H_2BO_2 при $\eta = const$, або застосовувати H_2BO_2 з різними значеннями η .

$$N_{^{10}B} = \frac{\eta}{1 - \eta} \cdot N_{^{11}B}.$$

4) $m_\Sigma = const$ і $\eta = const$. Із ростом $N_{^{10}B}$: $C_{^{10}B}$ і $m_{H_2BO_2}$ збільшуються, отже, m_{H_2O} зменшується.

5) $m_\Sigma = const$ і $N_{^{10}B} = const$. Із ростом η : $C_{^{10}B} = const$, $m_{H_2BO_2}$ зменшуються, отже, m_{H_2O} збільшується.

6) $N_{^{10}B} = const$ і $\eta = const$. Із ростом m_Σ : $C_{^{10}B}$, $m_{H_2BO_2}$ зменшується, $m_{H_2BO_2} = const$, отже, m_{H_2O} збільшується.

7) $C_{^{10}B} = const$ і $\eta = const$. Із ростом $N_{^{10}B}$: $m_{H_2BO_2}$ збільшується, отже, $m_{H_2O} = Const$ і m_Σ збільшується.

Розглянемо далі рівняння вимірювань $C_{^{10}B}$ і $C_{H_2BO_2}$.

Щодо залежностей $C_{^{10}B} = f\left(\frac{1}{n}\right)$ і $C_{H_2BO_2} = f\left(\frac{1}{n}\right)$ можна констатувати таке. По-перше, швидкість рахунку імпульсів визначається $N_{^{10}B}$, $N_{^{10}B}$ обернено пропорційно n . По-друге,

$$C_{^{10}B} = f\left(\frac{1}{n}\right) \Big|_{m_\Sigma = const} = const$$

при постійному потоці нейтронів, отже, $C_{^{10}B} = f\left(\frac{1}{n}\right) \Big|_{m_\Sigma = const} = const$. По-третє, швидкість рахунку імпульсів пропорційна m_Σ . По-четверте, з ростом η швидкість рахунку імпульсів падає при $C_{H_2BO_2} = const$, так як $N_{^{10}B}$ збільшується (рис. 4). Загальні залежності $C_{^{10}B} = f\left(\frac{1}{n}\right)$, $C_{H_2BO_2} = f\left(\frac{1}{n}\right)$ наведені на рис. 5 і 6.

Отже, за результатами аналізу можна зробити висновки, які відповідають досягненню поставленої цілі дослідження. Ці висновки сприятимуть подальшим крокам вирішення наявної проблеми щодо автоматизації вимірювання концентрації поглинача нейтронів у воді першого контуру енергетичної установки з ядерним реактором ВВЕР-1000 щодо завдання управління потужністю енергоблоку.

Висновки. Проведено математичний аналіз залежностей, пов'язаних із роботою вимірювача-аналізатора концентрації борної кислоти й, відповідно, ізоотопу ^{10}B , що призначений для функціонування в системі рідинного управління ядерним реактором ВВЕР-1000 задля вирішення питань подальшої автоматизації регулювання потужності. Аналіз показав таке:

1. Швидкість рахунку імпульсів при впливі нейтронного випромінювання залежить від кількості атомів ізоотопу ^{10}B у водному розчині борної кислоти, яке визначається масою борної кислоти й атомною часткою ізоотопу ^{10}B .

2. Швидкість рахунку імпульсів постійна при постійних значеннях концентрації ізоотопу ^{10}B у водному розчині борної кислоти, кількості атомів ізоотопу ^{10}B , густини потоку нейтронів і маси розчину.

3. При постійній швидкості рахунку концентрація борної кислоти у водному розчині обернено пропорційно залежить від атомної частки ізоотопу ^{10}B при постійній масі розчину.

4. Швидкість рахунку імпульсів пропорційна масі розчину при постійних значеннях концентрації ізоотопу ^{10}B у водному розчині борної кислоти або концентрації борної кислоти у водному розчині й атомної частки ізоотопу ^{10}B .

Результати аналізу можуть бути використані під час розроблення систем автоматизації вимірювань, необхідних для управління потужністю ядерного реактора та енергоблоку загалом і технологічного оцінювання можливостей щодо оперативності цих вимірювань.

Список літератури:

1. Orobinskiy A.N. Neutron-absorbing method for concentrations measuring of a boron-10 isotope in water solution of boric acid and water solution of boric acid. East European journal of physics. 2014. Vol. 1. No. 1. P. 87–94.
2. Погосов А.Ю., Положаенко С.А., Григоренко Ю.В. Моделирование физических процессов и технологическая информатизация в нефтяной промышленности и энергетике. Москва, 2014. С. 474.
3. Кобзев А.С. Радиометрическое обогащение минерального сырья. Москва, 2015. С. 65.
4. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А.М. Афров, С.А. Андрушечко, В.Ф. Украинцев, Б.Ю. Васильев, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, Э.Л. Кокосадзе, Е.А. Иванов. Москва, 2006. С. 244–247.
5. Овчинников Ф.Я., Семёнов В.В. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов. Москва, 1988. С. 359.
6. Погосов О.Ю., Дерев'янку О.В. Метрологічне забезпечення експлуатації АЕС. Одеса, 2016. С. 120–127.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БОРНОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ НЕЙТРОНОВ В ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ ЯЭУ С ВВЭР-1000

Основная задача борного жидкостного регулирования заключается в компенсации медленных изменений реактивности в течение кампании реактора. В статье рассматриваются технические возможности измерения концентрации поглотителя нейтронов, растворенного в теплоносителе ядерной энергетической установки на базе реактора ВВЭР-1000. Основная методика исследования заключалась в техническом анализе физических принципов и используемых на практике средств реализации процедуры измерения концентрации борной кислоты в теплоносителе ядерной энергоустановки. Изменение концентрации борной кислоты обеспечивается с помощью системы продувки-подпитки первого контура. Для определения концентрации H_3BO_3 используется нейтронно-абсорбционный метод.

Ключевые слова: ядерный реактор, активная зона, тепловыделение, измерение концентрации жидкого поглотителя нейтронов, борная кислота.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF MEASURING THE CONCENTRATION OF BORON ABSORBER OF NEUTRONS IN THE COOLANT OF A NUCLEAR POWER REACTOR FROM THE VVER-1000

The main task of boron liquid regulation is to compensate the slow changes in reactivity during the reactor campaign. The technical possibilities of measuring the concentration of a neutron absorber dissolved in a coolant of a nuclear power plant based on a VVER-1000 reactor are considered. The main research technique consisted in a technical analysis of physical principles and practical means of implementing of the procedure of measuring the concentration of boric acid in the coolant of a nuclear power plant. The change in the concentration of boric acid is ensured by a purge and supply system of the primary circuit. The neutron absorption method is used to determine the concentration of H_3BO_3 .

Key words: nuclear reactor, active zone, heat release, measurement of liquid neutron absorber concentration, boric acid.

УДК 631.3:628.8

Лавріщев О.О.

Національний науковий центр

«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ У ТВАРИННИЦТВІ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОГОГО ЕЛЕКТРОФІЛЬТРУ

У статті проведено аналіз енерговитрат у тваринницьких приміщеннях і запропоновано шлях щодо зменшення витрат електричної енергії за рахунок упровадження вологого електрофільтру в електротехнічний комплекс очищення рециркуляційного повітря.

Ключові слова: очищення повітря, рециркуляція, аміак, вологий електрофільтр.

Постановка проблеми. Тваринницький і птахівницький сектори сільського господарства України є надзвичайно енерговитратними. Першочерговим завданням у сучасних реаліях економіки країни є пошуки шляхів зменшення енергетичних витрат у галузі. Другою, але не менш значущою проблемою є боротьба з величезною кількістю викидів різноманітних газів, пилу та шкідливих мікроорганізмів з технологічних приміщень для забезпечення нормального екологічного стану прилеглих територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Станом на поточний час проблемами підвищення енергоефективності й покращення якості очищення викидів сільськогосподарських підприємств займається низка науковців, серед

яких варто відмітити І.І. Івко, І.І. Мартиненко, В.К. Мурзіна, Ю.М. Пчелкіна, С.А. Растімешина, В.Н. Расстригіна, В.А. Самаріна, Д.А. Тихомирова.

Постановка завдання. Мета статті – розгляд енергетичних витрат у сільському господарстві та шляхи їх зменшення; аналіз наявних методів очищення рециркуляційного повітря від парів аміаку та вибір оптимального з них.

Виклад основного матеріалу дослідження. Тваринництво та птахівництво є двома найважливішими галузями в сільському господарстві, так як забезпечують потреби населення в продуктах харчування на 38% від загальної кількості споживаної продукції (рис. 1), а також надають сировину деяким промисловим галузям.

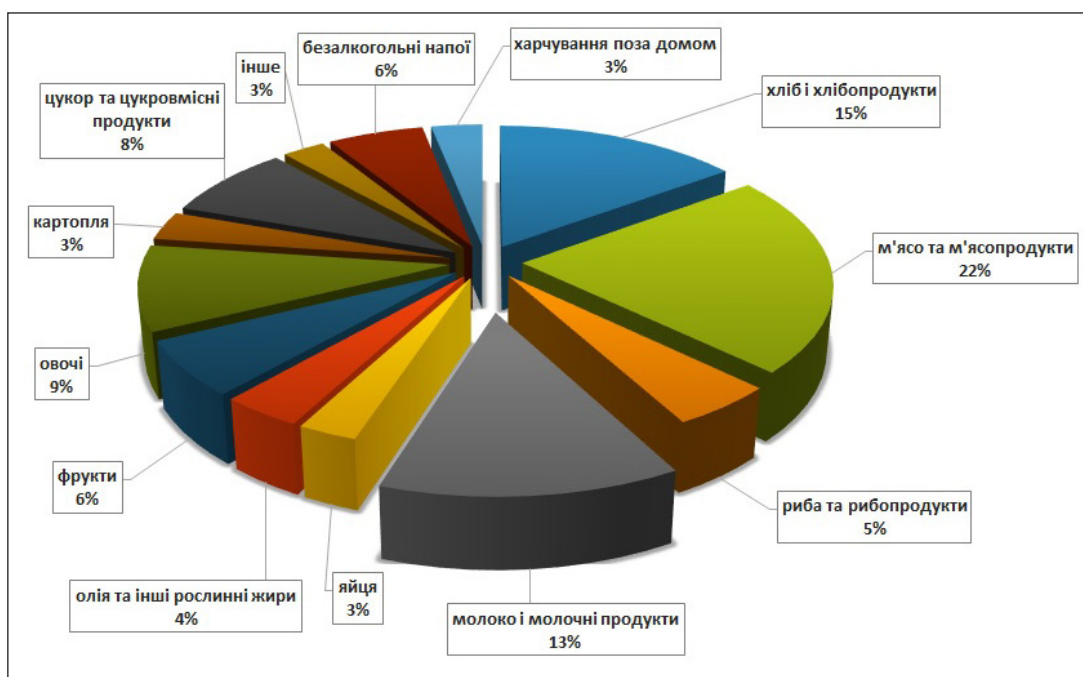


Рис. 1. Структура споживчих витрат на харчування в розрізі основних груп продовольства у 2016 році



Рис. 2. Очищення і знезараження повітря у тваринництві та птахівництві

Варто пам'ятати, що процеси вирощування тварин і птахів є найбільш енергомісткими в сільському господарстві. Середній показник у сільському господарстві за 2005–2009 роки кінцевого енергоспоживання становить 2,079 млн. тне. [1]. Унаслідок цього постає значуще питання про широке розповсюдження та впровадження енергозберігаючих технологій [2].

У сучасних комплексах з вирощування тварин і птахів висока щільність розміщення істот, що призводить до швидкого накопичення в приміщеннях пилу, шкідливих мікроорганізмів, вуглекислого газу, аміаку, сірководню та надлишкової вологи. Зазвичай концентрація шкідливих речовин перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) [3; 4].

На сучасному етапі виробництва зменшення рівня шкідливих мікроорганізмів, газів і пилу відбувається за рахунок широкого застосування примусового вентиляювання приміщень. Але за рахунок такого вентиляювання в навколишнє середовище навколо пташників і тваринницьких будівель викидається велика кількість забруднюючих речовин [5; 6; 7], що значно погіршує екологічний стан. Як приклад, у холодну пору року з тваринника на 2 тисячі голів буде вилучено 8,7 млрд. мікробних тіл, 0,75 кг – пилу, 4,8 кг – аміаку, 2058 кг – вологи [8]. Оглядаючи картину загалом, можемо констатувати, що забруднення, які викидаються з тваринницьких і птахівницьких комплексів, можуть створювати загрозу виник-

нення й розповсюдження патогенної мікрофлори та специфічних запахів. Запахи в літній період розповсюджуються на 0,5 км, а влітку – до 5 км [9].

Також із викидним повітрям у навколишнє середовище викидається надзвичайно велика кількість теплової енергії. Для видалення шкідливих домішок у повітрі, на вентиляювання витрачається близько 2 млрд. кВт-год, на обігрів приміщень ще 1,8 млрд. кВт-год, 0,6 млн. м³ природного газу, 1,3 млн. тонн рідкого та 1,7 млн. тонн твердого палива. Загальні витрати енергії на створення мікроклімату становлять 3 млн. тонн умовного палива в рік, що дорівнює 32% усіх енерговитрат у тваринництві [10]. Для зменшення втрат енергії широко застосовують вентиляційні системи з теплообмінниками (рекуператори), але вони мають низку суттєвих недо-

ліків: невисокий ККД та швидке погіршення експлуатаційних характеристик у процесі роботи.

Тому можна стверджувати, що вирішення проблеми очищення та знезараження викидного повітря (рис. 2) дасть змогу значно збільшити енергоефективність тваринницьких комплексів; захистить їх від проникнення й розповсюдження інфекційних захворювань, що поширюються повітряним шляхом; захистить навколишнє середовище від забруднення від викидів з тваринницьких комплексів.

Найбільш небезпечним шляхом потрапляння інфекційних збудників до приміщень є повітряний, так як більшість збудників мають летючу форму й дуже важко контролювати всі припливні повітряні потоки. Разом із викидним повітрям до зовнішнього середовища з приміщень потрапляють пил, гази та небезпечні мікроорганізми, які розповсюджуються на великі відстані [9].

Одним зі шляхів зменшення витрат енергії для потреб теплозабезпечення тваринницьких приміщень і пташників є утилізація теплоти викидного повітря та його рециркуляція [11]. Використання систем рекуперації повітря (рис. 3) дає змогу зменшити витрати теплоти на підігрів припливного повітря більше ніж на 60%. Але системи теплообміну не вдається використовувати з максимальною ефективністю, так як у повітрі, що видалається, наявні пил і надлишкова волога. Пил поступово осідає на поверхнях рекуператорів, чим значно зменшує тепловіддачу викидного

повітря, а за рахунок надлишкової вологи в холодну пору року виникає часткове обмерзання поверхонь рекуператорів [11].

Виходячи з наведеного вище, можна сказати, що в умовах сучасного стану тваринництва та птахівництва для якісного використання рекуператорів теплоти потрібно вводити до складу електротехнічного комплексу пристрій для очищення викидного повітря [12; 13]. Рециркуляція повітря всередині тваринницьких приміщень з одночасним його очищенням від пилу, газів, вологи та знезараженням від шкідливих мікроорганізмів є найбільш енергоефективним і перспективним [14].

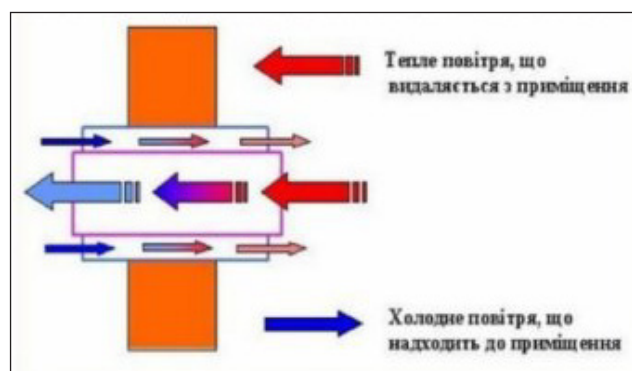


Рис. 3. Принцип дії рекуператора повітря

У сучасних дослідженнях головна увага приділяється очищенню рециркуляційного повітря від сірководню, пилу та мікроорганізмів. Крім вищезазначених, у тваринницьких приміщеннях перше місце за кількістю посідає аміак.

На поточний момент у промисловості виділяють три основні групи методів очищення повітря від газоподібних шкідливих домішок [15]:

- 1) очищення каталітичними методами;
- 2) адсорбція твердими поглинаючими речовинами;
- 3) абсорбція рідинами.

Каталітичні методи очищення газів засновані на реакціях за наявності твердих каталізаторів, тобто на закономірностях гетерогенного каталізу. У результаті реакцій домішки залишаються в складі повітря, але у вигляді нешкідливих з'єднань. Речовини, що утворюються в результаті каталітичного очищення, підлягають додатковому видаленню. Очищенню піддаються гази, що не містять пилу, а тому в тваринницьких і птахівницьких приміщеннях каталітичні методи очищення не придатні.

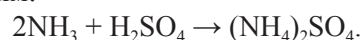
Адсорбційні методи ґрунтуються на селективному видаленні визначених компонентів з повітря за допомогою адсорбентів (тверді пористі матеріали, що мають розвинену питому поверхню).

Адсорбція буває двох видів – фізична й хімічна. При фізичній адсорбції поглинаються молекули газів і парів силами Ван-дер-Ваальса, при хімічній – хімічними силами. Після проведення процесу очищення адсорбер повинен переходити в режим регенерації. Для неперервного процесу очищення адсорбційна установка повинна складатись із декількох реакторів, які будуть працювати по черзі. Адсорбційний метод є раціональним для видалення токсичних сполук у малих концентраціях, а тому, відповідно, не є доцільним для використання в сільськогосподарських підприємствах.

Абсорбція рідинами застосовується у випадку, коли необхідно з повітря вилучати велику кількість різноманітних отруйних та органічних сполук. Абсорбційне очищення є неперервним та універсальним процесом. Установки абсорбції є найбільш економічними й мають можливість вилучення великої кількості домішок з газів.

Найбільш розповсюджені методи очищення повітря від парів аміаку.

Очищення повітря від парів аміаку абсорбцією водою. Інколи водне очищення додатково доповнюють доочищенням розчином сірчаної кислоти з отриманням сульфату амонію, такий процес є незворотнім:



Метод каталітичного окислювання парів аміаку до елементарного азоту й парів води. Повітря підігрівають до температури 100–2500 С та пропускають крізь шар каталізатора – Mn, Cr, Co – і двоокис титану. До недоліків варто зарахувати повторне забруднення повітря киснем азоту при значному надлишку кисню у співвідношенні до аміаку й великі енерговитрати на проведення процесу каталізації.

Очищення повітря за допомогою скрубєрів.

Принцип роботи полягає в такому: повітря, що потрібно очистити, направляють у перший скрубєр, а газ для охолодження – в другий скрубєр. Крім того, до одного зі скрубєрів направляють додаткову воду, а в другий – водневий розчин. Повітря й охолоджуючий газ пропускають крізь краплєвловлювач. До недоліків варто зарахувати необхідність додаткового очищення водневого розчину на виході із системи скрубєрів.

Природне очищення повітря за допомогою мікроорганізмів. Тільки біологічне очищення знижує концентрацію аміаку в повітрі та видаляє неприємний запах. Повітря з тваринницького приміщення проходить понад фільтрами, які омиваються водою. На фільтрах утворюється біоплівка за допомогою бактерій і мікроорганізмів. Недолі-

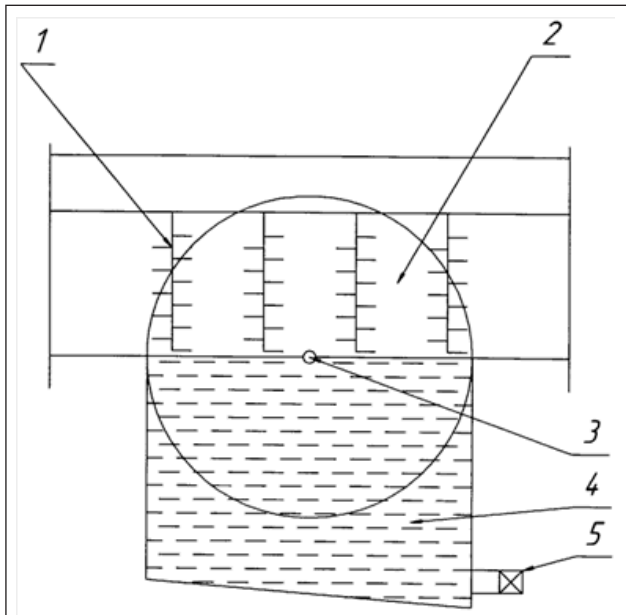
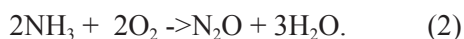


Рис. 4. Вологий електрофільтр, розроблений А.Г. Возміловим

ком є великі габаритні розміри установки та розгалужена системи водопостачання для ефективної роботи біофільтру.

Фотокаталітичне очищення повітря від парів аміаку. Під впливом ультрафіолетового випромінювання аміак окислюється на діоксиді титану з утворенням N_2 . Брутто реакції фотокаталітичного окислення аміаку виглядає так (більша частина аміаку окислюється за рівнянням першої хімічної реакції й невелика частка за рівнянням другої хімічної реакції):



Список літератури:

1. Про Національний план дій з енергоефективності до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 року № 1228-р. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1228-2015-%D1%80> (дата звернення: 25.07.2018).
2. Брагінець С.М., Брагінець А.М., Голубовська О.В. Напрями енергозбереження в молочному скотарстві. 2 збірник. Том 21. С. 91–97.
3. Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Ленинград, 1985. 528 с.
4. Беляев М.П. Справочник предельно допустимых концентраций вредных веществ в пищевых продуктах и среде обитания. Москва, 1993. 141 с.
5. Джигирей В.С., Сторожук В.М., Яцок Р.А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи). Львів, 2000. 272 с.
6. Баранников В.Д. Охрана окружающей среды в зоне промышленного животноводства. Москва, 1085. 118 с.
7. Антонов А.П. Анализ режимов работы вентиляционных установок на фермах. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 10. С. 23–26.
8. Зоогигиенические нормативы для животноводческих объектов: справочник / Г.К. Волков, В.М. Репин, В.И. Большаков и др.; под ред. Г.К. Волкова. Москва, 1986. 303 с.
9. Возмілов А.Г. Электроочистка и электрообеззараживание воздуха в промышленном животноводстве и птицеводстве: дисс. ... докт. техн. наук: спец. 05.20.02. Челябинск, 1993. 337 с.

Очищення повітря за допомогою розчину лимонної кислоти. Метод полягає в очищенні рециркуляційного повітря водневим розчином 20% лимонної кислоти під тиском у 2 атм протягом 2 хвилин 6–8 разів поспіль з повторенням кожні 15 хвилин.

Очищення повітря за допомогою озону. Під впливом озону аміак окислюється до нітрату амонію (амонійної селітри) NH_4NO_3 . Отже, під час озонування повітря відбувається його очищення від аміаку. Озон в електрофільтрі виробляється в результаті використання коронного розряду. Для тваринницької галузі розроблено вологий електрофільтр під керівництвом доктора технічних наук А.Г. Возмілова [9], який був дещо вдосконалений Л.Н. Андрєєвим. Його конструкція наведена на рис. 4.

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

1. Проаналізувавши складники енергетичних витрат у сільському господарстві, визначили, що найбільші витрати енергії припадають на нагрів припливного повітря в холодну пору року, тому впровадження електротехнічних комплексів рекуперації повітря є необхідним і доцільним.

2. Відповідно до проведеного аналізу всіх різноманітних методів очищення повітря від аміаку, є можливість стверджувати, що максимально доцільним для використання в тваринництві та птахівництві буде абсорбційний метод із застосуванням хімічного розчину й із додатковим використанням коронних електродів. Застосування цього методу зумовлене належною ефективністю з найменшими енерговитратами та невисокою вартістю.

10. Ковальчук А.Н. Энергосберегающие технологии в животноводстве: метод. реком. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 1993.
11. Самарин Г.Н. Энергосберегающая система кондиционирования воздуха для ферм. Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 4. С. 43.
12. Герасимчук Ю.В., Гірченко М.Т., Довбненко О.Ф. Теплоутилизатор: патент 57583 Україна: МПК F24F3/147. Опубл. 15.12.2006. Бюл. № 12.
13. Герасимчук Ю.В., Довбненко О.Ф. Спосіб утилізації теплоти викидного повітря: патент 56839 Україна: МПК F24F3/147. Опубл. 15.08.2005. Бюл. № 8.
14. Басов А.М., Возмилов А.Г. Фильтрация вентиляционного воздуха в промышленном птицеводстве. Научн. отчет по теме НИС 512. № гос. рег. 79032741. Инв. № 849858. Челябинск, 1980. 51 с.
15. Гигина О.С. Методи і технічні засоби захисту атмосферного повітря від забруднення та очищення газів, що відходять. 2010.

УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ЖИВОТНОВОДЧЕСТВЕ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЛАЖНОГО ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

В статье проведен анализ энергетических затрат в животноводческих помещениях и предложен путь по уменьшению потерь электрической энергии за счет внедрения влажного электрофильтра в электротехническом комплексе очистки рециркуляционного воздуха.

Ключевые слова: *очистка воздуха, рециркуляция, аммиак, влажный электрофильтр.*

REDUCTION OF ENERGY COSTS IN LIVESTOCK PRODUCTION DUE TO THE USE OF A WET ELECTRIC FILTER

The article analyzes the energy consumption in livestock buildings and proposes way to reduce the cost of electric energy by introducing a wet electric filter into an electrotechnical system for cleaning recirculation air.

Key word: *air purification, recirculation, ammonia, wet electric filter.*

Щербина В.Ю.

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

Швачко Д.Г.

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

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБЕРТОВИХ ТЕПЛОВИХ АГРЕГАТИВ

Наведено математичну модель для уточненого розрахунку технологічних параметрів обертових печей зональним методом. Досліджено можливості підвищення енергоефективності шляхом установаження шару теплоізоляції у футерівці. Виконано розрахунки теплової ефективності під час установаження додаткової теплоізоляції в різних енергетичних зонах обертової печі. Установлено, що збільшення теплового опору футерівки зменшує витрати теплоти в процесі виробництва на 9%.

Ключові слова: обертова піч, температура, теплоізоляція, газовий потік, футерівка.

Постановка проблеми. Раціональне використання енергоємних високотемпературних агрегатів, обертових печей сьогодні є однією із найважливіших проблем у питаннях розвитку та вдосконалення технологій на підприємствах металургійної, хімічної, будівельної, целюлозно-паперової та інших галузей промисловості. У промисловості будівельних матеріалів обертові печі отримали найбільш широке розповсюдження [1, с. 11; 2, с. 5, 4, с. 36], де є основними установками для виробництва вапна, перліту, керамзиту, цементного клінкеру та інших матеріалів. При цьому вони є значним споживачем палива, де проблема високої енергоємності обладнання посилюється низьким рівнем корисного використання енергетичних ресурсів. Так, тепловий ККД обертових печей для виробництві будівельних матеріалів, зазвичай не перевищує 55–60%. Тому підвищення енергоефективності даних машин є вкрай актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що енергоефективність обертових печей залежить від раціональних витрат палива [1; 2; 3; 4]. При цьому величина його використання головним чином визначається повнотою згорання і величиною теплової енергії не використаної в робочому просторі печі. Указані показники характеризуються головним чином тепловмістом або температурою газів, що відходять і тепловими втратами через корпус – футерівку печі в навколишнє середовище.

Постановка завдання. Існує декілька способів, спрямованих на підвищення ефективності використання обертових печей:

– збільшення повноти згорання палива за рахунок більш раціональних режимів і вибір оптимального положення і напрямку пальників [1, с. 18; 3, с. 290, с. 342; 4, с. 279];

– зменшення тепловтрат із газами, що відходять, за рахунок поліпшення теплообміну між пічними газами й оброблюваним матеріалом за допомогою встановлення різноманітного роду теплообмінників [7, с. 26];

– зменшення витрат тепла через корпус печі за рахунок збільшення теплового опору футерівки [5, с. 58; 6, с. 23].

Одним із перспективних напрямів на шляху до інтенсифікації роботи печі є зменшення втрат тепла в навколишнє середовище через корпус, за рахунок установаження додаткової теплоізоляції в футерівку. Так, наприклад, у цементних печах ці втрати сягають 20–35% від загальної теплоти згорання палива. Однак при цьому залишаються невирішеними питання того, наскільки ефективним буде встановлення додаткової теплоізоляції в різних енергетичних зонах печі.

Відомо, що максимум тепловтрат по корпусу припадає на високотемпературні зони. У вказаних зонах тепловтрати цементних печей досягають 40% від загальних втрат через корпус. При цьому температура зовнішньої поверхні становить 300°C, а при зношенні футерівки підвищується до 400°C, а в деяких випадках навіть досягають 550°C. При цьому навіть незначні тепловтрати суттєво впливають на загальну витрату тепла по обертової печі. Водночас зменшення тепловтрат через корпус не є гарантією ефективного використання тепла для

оброблення матеріалу. Зрозуміло, що частина вказаного тепла перейде в газовий потік, тобто для підвищення температури газу, що виходить із печі.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для дослідницьких і проектних робіт обертових цементних печей широко застосовується метод зонального розрахунку [3, с. 390, 4, с. 187]. Він використовується для визначення низки характерних параметрів: питомі витрати тепла, розміри, кількість сировинних матеріалів та інші. Піч умовно поділяється на 8 енергетичних зон. Далі по тексту: 1 – охолодження; 2 – спікання; 3 – екзотермічних реакцій; 4 – декарбонізації (кальцинування); 5 – дегідратації; 6 – сушіння; 7 – випаровування; 8 – підігріву. Однак температура газів, що відходять, та втрати тепла через корпус печі, вводиться в розрахунок як експериментально визначені незмінні параметри. Указане не дає змоги повністю визначити теплову ефективність та враховувати вплив зменшення товщини футерівки при її зносі, що відбувається під час роботи теплового агрегату. Тим більше не дозволяє встановити вплив додаткової теплоізоляції встановленої в окремих енергетичних зонах. Таким чином, зональний метод розрахунку потребує доповнень низкою залежностей, котрі враховують указані параметри.

Розглянемо рівняння теплового балансу для обертової печі. Невідомі величини позначені курсивом.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3(t_{omx}^r) + Q_4 + Q_5 + Q_6(t_{omx}^r) + Q_7 \quad (1)$$

де Q – надходження теплоти; Q_1 – тепловий ефект клинкероутворення; Q_2 – теплота на випаровування води; $Q_3(t_{omx}^r)$ – втрати з газами, що відходять; Q_4 – втрати з клинкером; Q_5 – з повітрям яке виходить з холодильника; $Q_6(t_{omx}^r)$ – втрати теплоти з виносом; Q_7 – втрати в навколишнє середовище через корпус; t_{omx}^r – температура газів, що відходять із печі.

Надходження теплоти в (1) визначається по залежностям:

$$Q = Q_{швз}^p \cdot \frac{R_s}{\Pi_p} + \frac{R_s}{\Pi_p} \cdot c_{швз} t_{швз} + (G_C c_C + G_W^M) t_M + \frac{R_s}{\Pi_p} \cdot V_{швз} c_{швз} t_{швз} \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{Q_{швз}^p}{\Pi_p} &= \frac{\sum_{i=1}^l (G_i^M + P_i^M)}{X} \\ F_n &= \left(\frac{X}{0.124} \right)^3 \cdot \frac{Q_{швз}^p \cdot R_s}{\sigma \cdot T_{теор}^4} \\ X &= \left[0.43 \cdot \left(\frac{F_n}{D_n} \right)^{0.1} + \sqrt{\frac{Q_{швз}^p \cdot R_s}{\sigma \cdot T_{теор}^4} \cdot F_n} \cdot \sqrt{\frac{\sigma \cdot T_{теор}^2}{E_r}} \right] \\ \dot{E}_r &= \frac{V_r \cdot \Pi_p \cdot 1000}{3600 \cdot 0.785 \cdot D_n^2 \cdot (1 - F_n)} \cdot \frac{T_r^2}{273} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

де Π_p – продуктивність печі, D_n – діаметр печі, ω_r – швидкість продуктів згорання; F_n – поверхня загального теплообміну; η – ступінь тепловикористання; R_s – витрати палива; P_i – втрати тепла в навколишнє середовище відносно зон та інші, що визначаються з матеріального балансу або розрахунку горіння палива.

Затрати теплоти на клинкероутворення Q_1 , витрати на випаровування води Q_2 , витрати з клинкером Q_4 , повітрям, що виходить із холодильника Q_5 визначається по відомим залежностям [3; 4].

По зональному методу розрахунку ентальпії газового потоку на виході з обертового теплового агрегату визначається із співвідношення:

$$Q_3 = q_0^r + \frac{Q_{швз}^p \cdot R_s}{\Pi_p} - \sum_{i=1}^l (G_i^M - P_i^M) \quad (4)$$

тобто значення Q_3 залежить від витрати палива. Крім того, температуру газів, що відходять із печі (totxg), можливо визначити, використовуючи метод підбору за такою залежністю:

$$Q_3 = \left[\left(V_{H_2O}^r \cdot \frac{R_s}{\Pi_p} + V_{H_2O}^M \right) \cdot C_{H_2O}(t) + \left(V_{CO_2}^r \cdot \frac{R_s}{\Pi_p} + V_{CO_2}^M \right) \cdot C_{CO_2}(t) + V_{O_2}^r \cdot \frac{R_s}{\Pi_p} \cdot C_{O_2}(t) + V_{N_2}^r \cdot \frac{R_s}{\Pi_p} \cdot C_{N_2}(t) \right] \cdot t_{omx}^r \quad (5)$$

Втрати теплоти при виносі пилу визначаються по формулі:

$$Q_6 = G_{швз}^{без} \cdot t_{omx}^r + (G_M^C - G_{швз}^{без}) \cdot C_{швз} \cdot (t_{omx}^r - t_{швз}) \quad (6)$$

Втрати тепла в навколишнє середовище через корпус, виходячи з теплового балансу складають [1, с. 83; 2, с. 135; 4, с. 204; 7, с. 28]:

$$Q_7 = Q - [Q_1 + Q_2 + Q_3(t_{omx}^r) + Q_4 + Q_5 + Q_6(t_{omx}^r)] \quad (7)$$

З іншого боку, втрати в навколишнє середовище через корпус можливо визначити відносно втрат по енергетичним зонам:

$$Q_7 = \sum_{i=1}^l P_i = \frac{2\pi r}{\Pi_p} \sum_{i=1}^l \frac{T_{K1i} - T_{K2i}}{R_i} \cdot L_i; \quad R_i = \frac{\delta_{1i}}{\lambda_{1i}} + \frac{\delta_{2i}}{\lambda_{2i}(T_{K2i})} \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{aligned} T_{K1i} &= T_{K2i} \cdot [1 + R_i \cdot (3.5 + 0.062 \cdot T_{K2i})] \\ T_{K2i} &= \frac{K_i \cdot (T_i^r - T_{K1i}) + C_b \cdot \left[\left(\frac{T_i^r + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{K1i} + 273}{100} \right)^4 \right]}{3.5 + 0.062 \cdot T_{K2i}} \\ C_b &= \frac{5.68 \cdot K_b \cdot \varepsilon_v}{1 - (1 - \varepsilon_v) \cdot (1 - F_n)}; \quad K_i = \frac{0.418 \cdot \lambda_{ji}}{D_n} \cdot \left(\frac{\dot{E}_r - D_n}{v_r} \right)^{0.67} \quad i = 1 \dots 8 \end{aligned} \right. \quad (9)$$

де T_i^r – температури газу на границях зон; T_{K1i}, T_{K2i} – температура внутрішньої та зовнішньої поверхні футерівки по зонам; R_i – тепловий опір корпусу печі по зонам; δ_{ji} – товщина складників по корпусу (j) відносно енергетичних зон (i); λ_{ji} – теплопровідність складових по корпусу (j) відносно енергетичних зон (i).

Під час визначення температури газового потоку на межах зон використовуються відомі

рівняння зональних методів щодо технологічного методу, який досліджується [3, с. 390, 4, с. 187].

Практично завжди під час моделювання теплообміну в обертових печах, поле температур визначається через відомі потоки тепла. При цьому зональні рівняння теплового балансу будуть нелінійними відносно невідомих температур.

Таким чином, отримуємо замкнуту систему нелінійних рівнянь, у якій невідомі виділені курсивом. До них належать такі: витрата робочого палива R_s , температура газів $t_{отхг}$, що виходять із печі, температури $T_1 \dots, T_j$, позонні втрати тепла в навколишнє середовище P_i , та інші.

Отримана система нелінійних рівнянь вирішується ітераційним методом Ньютона. Температура на «гарячій» ($T_{к1г}$) та «холодній» ($T_{к2г}$) поверхнях футерівки визначається з підсистеми нелінійних рівнянь, які вирішуються методом дотичних. При цьому температура по межах зон T_i^{f1} визначається по відомих із зонального методу розрахунку співвідношеннях. Урахування значень теплового опору (R) в різних зонах печі дає можливість моделювати різну величину зносу вогнетриву та можливість встановлення теплоізоляційного шару футерівки.

Під час тестування математичної моделі було встановлено, що максимальна розбіжність у даних, отриманих у результаті чисельного експерименту та розрахунках приведених в [3, с. 390], не перевищує 8% по температурі газів, що відходять, і 10% щодо витрати палива.

Розрахунки проводились для обертової печі з виробництва цементу розміром 5x185 м, продуктивність 75 т/год. Для порівняння використовувалась базові вогнетриви футерівки енергетичних зон та вогнетриви з шаром додаткової теплоізоляції. Теплоізоляція виконана мулітокнеземною ватою з товщиною внутрішнього шару 50 мм щодо довжини вогнетриву.

Додаткова теплоізоляція моделюється ділянками заданої довжини в довільних зонах обертової печі. Витрати палива залишаються незмінними, тобто такі, як для базового варіанту. Результати залежності зміни продуктивності від зони, в яку укладається додаткова теплоізоляція, наведено на графіках рис. 1.

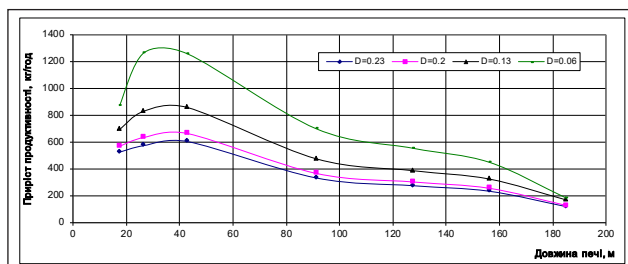


Рис. 1. Зміна продуктивності по енергетичних зонах

Розрахунок проводився для різного ступеню зношеності футерівки (товщини 0.23м, 0.2м, 0.13м, 0.06м). Як видно з графіка найбільший ефект дає встановлення додаткової теплоізоляції у високотемпературних зонах. Так, за стандартної футерівки і встановлення теплоізоляції в зоні максимальних температур (3–4), приріст продуктивності сягає 600 кг/год., а при зношеній – підвищується до 1300 кг/год. Це пов'язане зі збільшенням теплових втрат у навколишнє середовище при цьому режимі та збільшенням витрат палива і тепла на обпалювання матеріалу.

Якщо в зоні встановлюється додаткова теплоізоляція, то це зменшує теплові втрати в навколишнє середовище через корпус. Завдяки цьому можливе збільшення продуктивності.

На рис. 2 представлено залежності зміни продуктивності додаткової теплоізоляції від ступеня зношеності футерівки в різних зонах обертової печі.

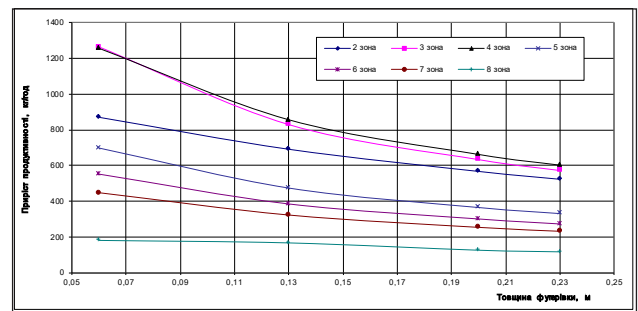
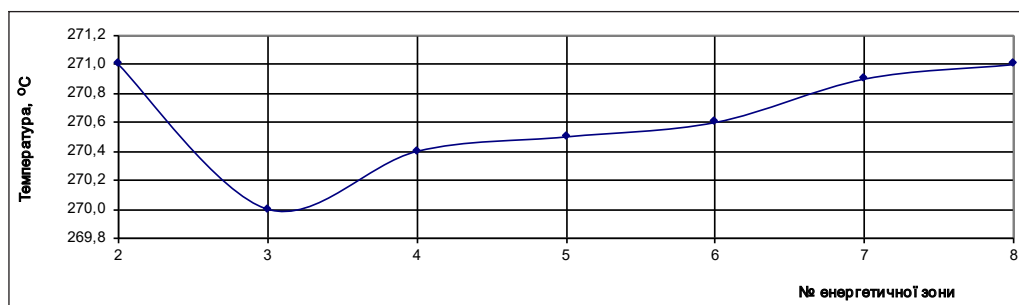


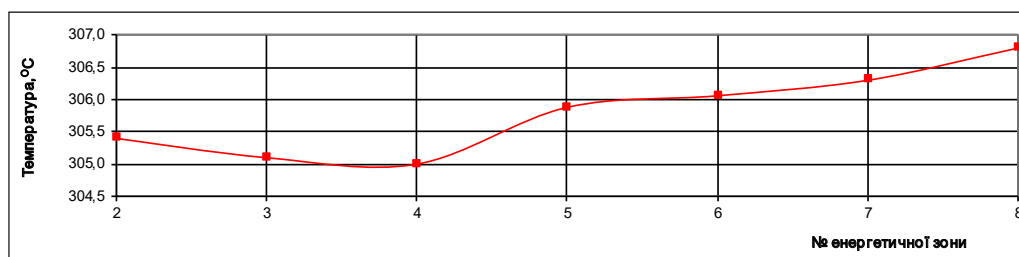
Рис. 2. Зміна продуктивності при зношенні футерівки

Із графіків видно, що під час установлення додаткової теплоізоляції в більш «холодних» зонах обертової печі приріст продуктивності буде зменшуватись. Під час використання теплоізоляції в 8-ій зоні максимальне значення приросту продуктивності буде 185 кг/год. за найбільшого зношення футерівки. Різниця приросту між футерівкою різного ступеню зношеності у цьому разі буде становити 70 кг/год.

Слід зазначити, що тепло, отримане за рахунок встановленої теплоізоляції, не може повністю використовуватись для оброблення матеріалу чи економії палива. Частково воно буде виходити з печі, підвищуючи температури газу, що відходить. На рис. 3 наведено дані розрахунку, які показують вплив додаткової теплоізоляції на температуру газів, що відходять за різного зношення футерівки. На осі ординат вказані температури, на осі абсцис – номери енергетичних зон.



а) товщина футерівки 230 мм



б) товщина футерівки 60 мм

Рис. 3. Температура газів, що відходять з печі

Виходячи з наведених графіків, можна зробити висновок, що під час використання теплоізоляції найменша температура газового потоку, що відходить з печі, буде досягнута тоді, коли додаткова теплоізоляція знаходиться у високотемпературних зонах. Якщо ж вона встановлена в «холодних» зонах, то температура газового потоку має майже такі значення, як для обертової печі без додаткової теплоізоляції.

Виходячи з наведених графіків, можна зробити висновок, що під час встановлення додаткової теплоізоляції у високотемпературних зонах температура газового потоку, що виходить із печі, буде мінімальною. У разі встановлення в низькотемпературних зонах температура газового потоку збільшується і частина тепла відходить із газом. Тобто ефект економії палива або підвищення продуктивності майже не спостерігається. Останнє пояснюється підтриманням у високотемпературній зоні нормального теплового режиму, який вимагає для підвищення продуктивності за умов зменшення термоопору футерівки збільшення витрат палива. За рахунок цього на виході з зони ентальпія газового потоку збільшується, проте додатково отримане тепло у підготовчих зонах використовується вкрай не ефективно.

Висновки. Під час дослідження ефективності використання печі з додатковою теплоізоляцією було встановлено, що її використання в зоні випалювання дає можливість зменшити

втрати тепла до 4–6%. При цьому збільшується продуктивність печі, а економія палива при незмінній продуктивності може складати до 2 тис. тон умовного палива. Загалом, застосування у високотемпературних зонах додаткової теплоізоляції збільшує ефективність використання печі до 9%.

Приріст тепла, що спостерігається по печі, пояснюється більш повним використанням палива, чим досягається зменшення його ентальпії в підготовчих зонах. За рахунок цього температура газів, що відходять із печі, зменшується, а коефіцієнт використання палива збільшується.

Таким чином, проведений аналіз дає можливість визначити вплив додаткової теплоізоляції на тепловий процес у печі. У результаті його можна зробити висновок, що збільшення теплоопору футерівки, покладеної в зонах високих температур, дозволяє підвищити ефективність теплового використання обертової печі. Причому суттєвою перевагою вказаного методу є той фактор, що збільшення продуктивності печі не вимагає підвищення температури і збільшення ентальпії продуктів горіння.

У подальшому планується дослідження механізму встановлення теплоізоляційного шару у вогнетриві футерівки, визначення оптимальної теплової ефективності та напружено-деформованого стану для виключення можливостей руйнування.

Список літератури:

1. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: справочное издание: в 2 кн. / под ред. В.Г. Лисиенко. Москва: Теплотехник, 2004. Кн.1. 688 с.
2. Таймасов Б.Т. Технология производства портландцемента: учеб. пособие. Шымкент, Изд-во ЮКГУ, 2003. 297 с.
3. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности: 2-е изд., доп. и перераб. Ленинград. Стройиздат. [Ленингр. отд-ние], 1968. 456 с.: ил.
4. Щербина В.Ю. Розвиток теорії та удосконалення технологічних процесів при виробництві будівельних матеріалів у високотемпературних агрегатах: дисертація ... доктора технічних наук: 05.17.08. Київ, 2017. 398 с.
5. Сахаров О.С., Щербина В.Ю., Чжан Юлінь(), Бобах В.В. Моделирование влияния формы огнеупора на тепловую эффективность футеровки вращающейся печи. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. № 4/10(40). С. 58–65.
6. Шариков Ю.В., Маркус А.А. Математическое моделирование тепловых полей во фрагменте футеровки вращающейся печи. Москва: Металлург, 2013. № 12. 25 с.
7. Щербина В.Ю., Сахаров О.С., Самиленко Ю.В., Бобах В.В. Дослідження термомеханічних навантажень в обертовій печі з вихровим теплообмінником. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2009. № 6. С. 26–33.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Приведенная математическая модель для уточненного расчета технологических параметров вращающихся печей зональным методом. Исследованы возможности повышения энергоэффективности путем установления слоя теплоизоляции в футеровке. Выполнены расчеты тепловой эффективности при установке дополнительной теплоизоляции в различных энергетических зонах вращающейся печи. Установлено, что увеличение теплового сопротивления футеровки уменьшает расход теплоты в процессе производства на 9%.

Ключевые слова: вращающаяся печь, температура, теплоизоляция, газовый поток, футеровка.

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF ROTARY HEAT GENERATORS

The given mathematical model for the specified calculation of technological parameters of rotary kilns by the zonal method. The possibilities of increasing energy efficiency by establishing a layer of thermal insulation in the lining are investigated. Performed calculations of thermal efficiency when installed additional thermal insulation in different energy zones of the rotary kiln. It was established that increasing the thermal resistance of the lining reduces heat consumption in the production process by 9%.

Key words: rotary furnace, temperature, thermal insulation, gas flow, lining.

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.272: 622.646

Косенко А.В.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Тарасютін В.М.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ РУДИ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У науковій статті розглянута проблема зниження конкурентної спроможності підземних гірничих підприємств Кривбасу. Проаналізовані можливі наявні шляхи вирішення проблеми й виділена низка основних їх недоліків. На основі цього розроблений новий автоматизований високоінтенсивний лінійно-почерговий режим випуску. Наведено основні результати фізичного моделювання розробленого режиму випуску обваленої руди рівномірними дозами з декількох суміжних випускних отворів, які знаходяться на одній вісі та в рівномірно-послідовному режимі. Здійснена їх порівняльна оцінка за фактом вилучення чистої руди й теоретичний аналіз, на основі чого доведена доцільність застосування розробленого лінійно-почергового режиму випуску зонами від лежачого до висячого боку рудного покладу, так як у цьому випадку досягаються найкращі кількісні показники вилучення руди.

Ключові слова: підповерхневе обвалення, втрати руди, зубожіння, випуск руди, інтенсивність випуску руди, самохідна техніка, режим випуску руди, фізичне моделювання, об'ємна фізична модель.

Постановка проблеми. Розробка покладів природно багатих залізних руд на шахтах Кривбасу здійснюється різними варіантами системи підповерхневого обвалення, що зумовлено значною глибиною ведення гірничих робіт (1200–1400 м) [1–5]. Постійне пониження глибини розробки супроводжується зростанням показників утрат відбитої руди в надрах і зубожінням рудної маси [6]. Ці показники вже перевищили нормативні та постійно погіршуються [7]. При цьому основним технологічним процесом, який значним чином впливає на показники вилучення рудної маси, є випуск руди через горизонтальні днища приймальних горизонтів і її доставка в межах очисних блоків за допомогою переносного стаціонарного гірничого обладнання [7; 8]. Тому пошук можливих технологічних рішень, що забезпечать підвищення показників вилучення руди в процесі її випуску на основі дослідження можливих способів управління цим процесом, є головним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ході проведеного аналізу теорії і практичного досвіду застосування системи розробки підповерхневого обвалення [1; 2; 4; 6; 9–12] установлено, що резерви подальшого конструктивного й

технологічного її вдосконалення на основі застосування стаціонарного та переносного обладнання в умовах великих глибин практично вичерпані. Експлуатація продуктивних горизонтів шахт Кривбасу з видобутку природно багатих залізних руд супроводжується низькою інтенсивністю ведення очисних робіт, яка коливається в межах 1,2–1,8 т/м² на добу [8], що дає можливість формування компенсаційних камер лише в межах 8–12% від об'ємів основного запасу виймальних одиниць за умови їх стійкості протягом усього терміну існування [12]. Тому відбивання руди здійснюється практично в затиснутому середовищі, що призводить до запресовування сипкого матеріалу [13–15]. А низька інтенсифікація технологічного процесу випуску сприяє злежуванню відбитої рудної маси [8; 14; 16]. Випуск руди й рудної маси при цьому ведеться хаотично, без дотримання встановленої планування випуску, що призводить до зменшення якісних і кількісних показників вилучення [13; 14].

Зарубіжний досвід підземної розробки родовищ корисних копалин свідчить, що одним зі шляхів значного підвищення інтенсивності технологічного процесу випуску та доставки руди є застосування високопродуктивної самохідної

доставочної техніки [6; 8–12; 16]. Але масштабному її впровадженню в умовах Кривбасу суперечать складні геомеханічні умови [6; 8; 12; 16]. Також відомо [17, с. 213], що найкращі показники вилучення руди досягаються в процесі випуску з усіх випускних виробок по всій площі днища приймального горизонту одночасно однаковими дозами, що досягти практично неможливо в реальних умовах, але добре реалізовано в комбінованій технології очисного виймання [18].

Тому ефективним способом збільшення продуктивності технологічного процесу випуску руди та забезпечення одночасного випуску руди з чотирьох випускних отворів, які знаходяться на одній осі, рівномірними дозами з однаковою періодичністю є застосування комбінованого способу доставки за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400Е» [8; 16]. Експлуатаційна продуктивність цього комплексу може досягати 1200–1400 т/зміну, що забезпечить інтенсивність випуску руди на рівні 5,5–6,0 т/м² на добу [16].

Постановка завдання. Головною метою дослідження є встановлення раціональних параметрів технологічного процесу випуску руди на основі фізичного моделювання задля обґрунтування доцільності застосування комбінованого способу доставки за допомогою комплексу «багатоковшеві скреперні лебідки 55ЛС-2С – самохідна навантажувально-доставочна машина TORO 400Е».

Методика моделювання включала визначення кількості чистої руди в процесі її випуску з декількох (2–4) суміжних випускних отворів, які лежать на одній осі, одночасно з однаковою періодичністю (лінійно-почерговий режим випуску) при різній черговості відпрацювання випускних лінійних зон (від лежачого до висячого боку й навпаки) та різній інтенсивності (циклічними й поточними дозами) випуску руди через воронки різного діаметру та різними відстанями між ними.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою забезпечення збільшення кількісних показників вилучення руди розроблений лінійно-почерговий режим випуску, сутність якого полягає в тому, що випуск руди здійснюється з декількох (2–4) суміжних випускних отворів (виробок), які лежать на одній осі, одночасно з однаковою періодичністю. Для встановлення якісних залежностей покращення показників вилучення руди розроблений режим випуску порівнювався з рівномірно-послідовним, який забезпечує найкращі

показники вилучення порівняно з іншими наявними режимами випуску.

Для проведення лабораторних досліджень розроблена експериментальна об'ємна фізична модель (рис. 1), яка виконана в масштабі геометричної подібності 1:100 й відображає очисну панель з розмірами: довжина за простяганням – 25 см; висота – 80 см; ширина – 22,5 см; кут нахилу бічної стінки – 55°. Днища моделі виконані у вигляді знімних касет, у яких за заданими сітками виконані випускні отвори різного діаметру й із різними відстанями один від одного (рис. 2). Перший ряд випускних отворів на контакті з бічною стінкою моделі, яка є віссю симетрії очисної панелі, виконано у формі півкожругів. Похила бічна стінка моделі, яка імітує лежачий бік рудного покладу на контакті з породами, що його вміщують, виконана з дерева й має гіпсометрію, подібну до натурних умов. Інші бічні стінки моделі виконані зі скла, з нанесенням на них сітки прямих горизонтальних і вертикальних ліній розміром 5×5 см, для візуального контролю й кількісно-якісної оцінки параметрів процесу випуску.

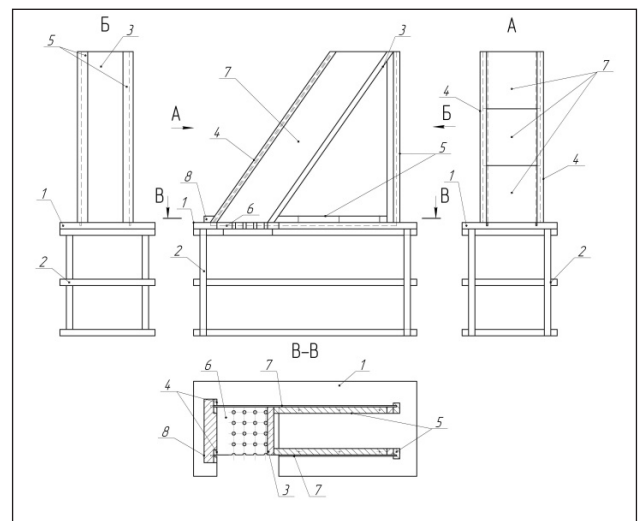


Рис. 1. Загальний вид об'ємної фізичної моделі: 1 – робочий стіл; 2 – платформа столу; 3 – задня стінка (лежачий бік) моделі; 4 – стійки передньої стінки (висячий бік) моделі; 5 – кронштейн опорний задньої стінки моделі; 6 – змінна касета днища моделі; 7 – набір скляних стінок моделі; 8 – підтримуюча планка передньої стінки моделі

У процесі проведення лабораторних досліджень як еквівалентний сипкий матеріал використовувались подрібнена руда й подрібнений граніт (таблиця 1).

Методика проведення експериментів полягає в такому.

Усі досліді щодо випуску руди виконувались до початку засмічення (вилучення чистої

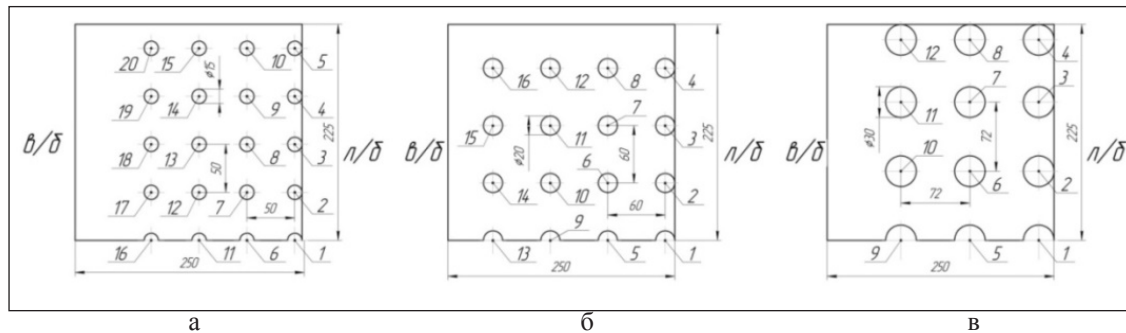


Рис. 2. Днища фізичної моделі: а – днище моделі з випускними отворами 15 мм і відстанню між ними 50 мм; б – днище моделі з випускними отворами 20 мм і відстанню між ними 60 мм; в – днище моделі з випускними отворами 32 мм і відстанню між ними 72 мм; 1–20 – номер випускного отвору; л/б і в/б – відповідно лежачий і висячий бік очисної панелі

Таблиця 1

Гранулометричний склад руди та подрібненого граніту

Сипкий матеріал	Уміст фракцій, %, при гранулометричному складі, мм				
	+0,5–1	+1–2	+2–3	+3–5	+5–7
Магнетитова руда	5,3	27,8	26,2	40,7	0
Подрібнений граніт	0	0	0	0	100

руди). Визначення коефіцієнта вилучення здійснювалось відповідно до встановленого масштабу моделювання для умов: ширина панелі – 25 м; довжина панелі – 25 м; висота панелі – 40 м. Висота засипки магнетитової руди для всіх дослідів становила 40 см без бокових контактів «обвалена руда – обвалені пусті породи». Для більшої наочності в міру засипання магнетитова руда укладалась шарами висотою 5 см з відділенням кожного лініями крейди. Після засипання магнетитової руди модель до верху заповнювалась подрібненим гранітом. Доза випуску в кожній стадії приблизно однакова й коливалась у межах 170–200 г, що дорівнює змінній нормі скреперної установки в масштабі моделювання при випуску руди за допомогою рівномірно-послідовного режиму, і 500–600 г – при випуску руди за допомогою лінійно-почергового режиму. Вага випущеної дози руди зважувалась на електронних лабораторних вагах з точністю до 1 грама.

1. Перша серія дослідів спрямована на визначення коефіцієнтів вилучення чистої руди з обваленого запасу панелі залежно від режиму випуску. У цьому випадку здійснювалось порівняння показників вилучення при застосуванні лінійно-почергового (дослід I, рис. 3, 4) і рівномірно-послідовного (дослід II) режимів випуску по всьому днищу моделі, коли діаметри випускних отворів, а також відстані за простяганням між ними й навхрест простяганням в обох випадках однакові та, відповідно, становлять 1,5 см; 5 см; 5 см (рис. 2а).

2. Друга серія дослідів спрямована на визначення коефіцієнта вилучення чистої руди з обваленого запасу панелі залежно від сітки розміщення та розмірів випускних отворів. У цьому випадку здійснювалось порівняння показників вилучення при застосуванні лінійно-почергового режиму випуску для різних діаметрів випускних отворів, відстані між ними за простяганням і навхрест простяганням, відповідно, 1,5 см; 5 см; 5 см (рис. 2а) (дослід III); 2 см; 6 см; 6 см (рис. 2б) (дослід IV).

3. Третя серія дослідів спрямована на визначення коефіцієнта вилучення чистої руди з обваленого запасу панелі від черги відпрацювання запасів панелі доставочними штреками. У цьому випадку здійснювалось порівняння показників вилучення при застосуванні лінійно-почергового режиму випуску, коли доставка руди здійснюється асиметричними зонами на половину кожного доставочного штреку (дослід V); лінійними зонами від лежачого до висячого боку рудного покладу (дослід VI); лінійними зонами від висячого до лежачого боку покладу (дослід VII). Діаметри випускних отворів, відстані між ними за простяганням і навхрест простяганням, відповідно, становлять 2,0 см; 6 см; 6 см (рис. 2б).

4. Дослід VIII (рис. 5 і 6) спрямований на визначення коефіцієнта вилучення чистої руди в разі відпрацювання запасів цілика, який оголоджує панель, почергово від висячого до лежачого боку через ряд випускних отворів діаметром

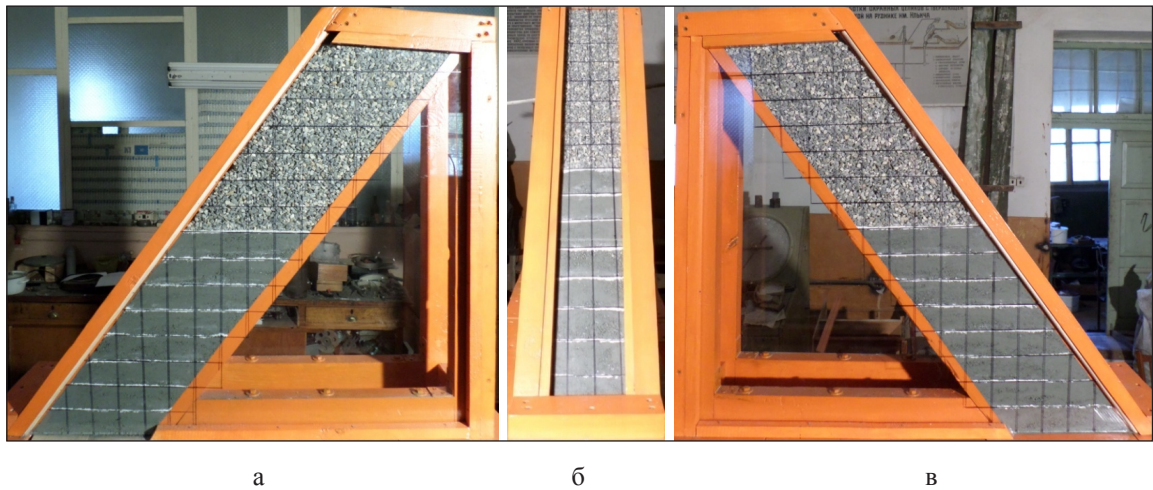


Рис. 3. Фізична модель очисної панелі після заповнення сипким матеріалом: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі

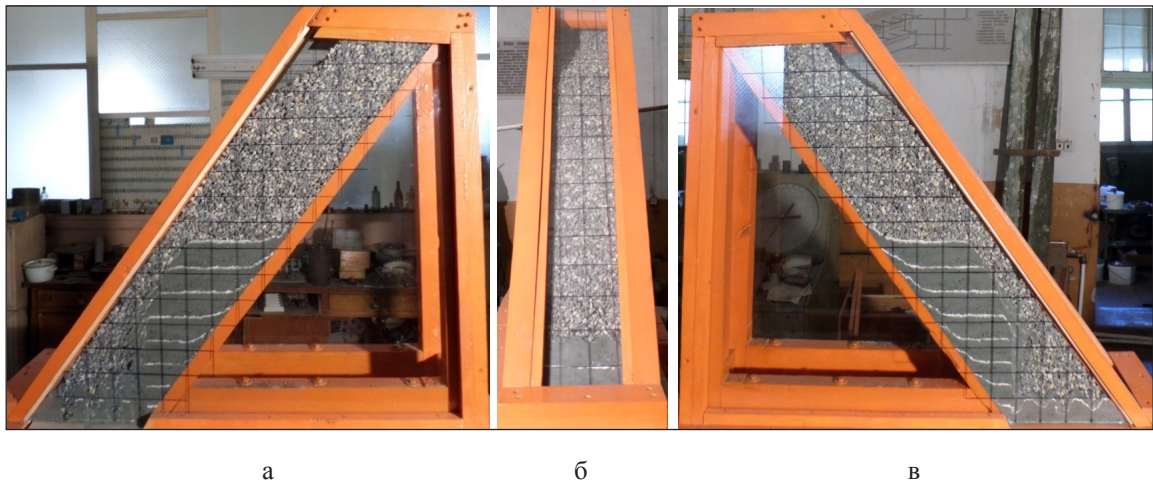


Рис. 4. Фізична модель після випуску чистої руди: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі

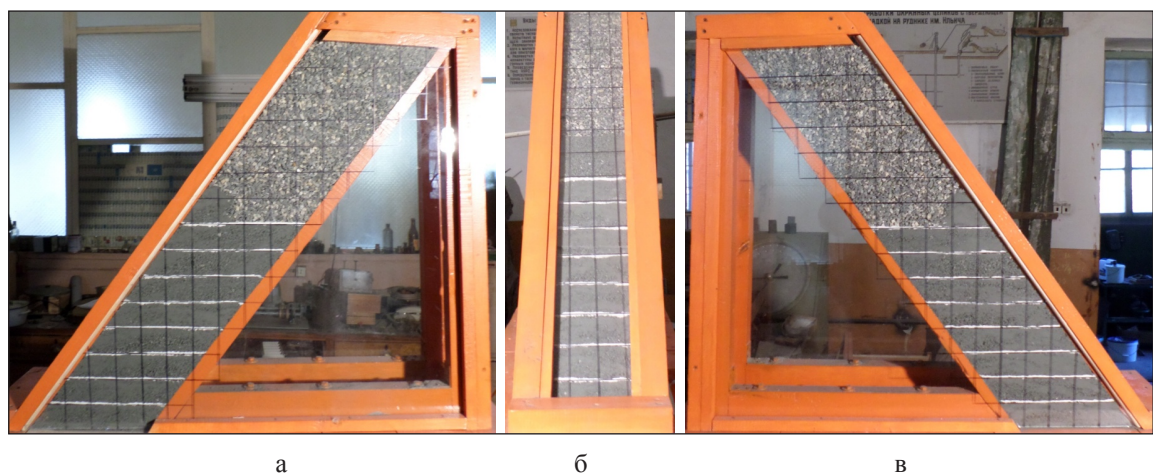


Рис. 5. Фізична модель відпрацювання цілика, що огорожує очисну панель: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі

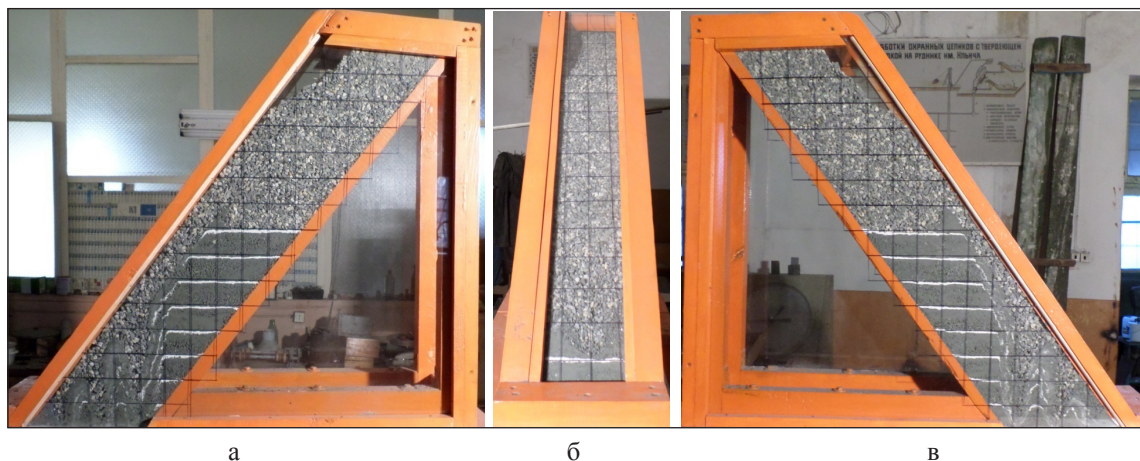


Рис. 6. Фізична модель після випуску чистої руди при відпрацюванні цілика, що огорожує очисну панель: а – вид з боку по пересіканню випускних отворів; б – вид з боку висячого боку; в – вид з боку по межі панелі

Таблиця 1

Основні показники при вилученні руди із застосуванням різних режимів випуску

Найменування показника	Позначення	Найменування дослідів							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Кількість засипаної руди	грам	40275	40327	41727	41592	41337	41564	41296	42255
Кількість випущеної руди	грам	13573	12340	14020	13850	12897	13924	13752	10775
Відносне вилучення	%	33,7	30,6	33,6	33,3	31,2	33,5	33,3	25,5
Відносні втрати руди	%	66,3	69,4	66,4	66,7	68,8	66,5	66,7	74,5

3,2 см, що розташовані в покрівлі навантажувально-доставочної виробки через кожні 7,2 см (рис. 2в).

У таблиці 1 наведені результати фізичного моделювання різних режимів процесу випуску запасів руди з очисної панелі через виробки днища.

З таблиці видно таке:

застосування лінійно-почергового режиму випуску руди (дослід I) забезпечує збільшення показників вилучення на 3,1% абс. порівняно з рівномірно-последовним режимом (дослід II);

у результаті пропорційного збільшення діаметра випускних отворів і відстані між ними по площі днища приймального горизонту (досліди I, III й IV) показники вилучення чистої руди залишаються приблизно однаковими, так як їх різниця становить 0,3–0,4% абс.;

найкращі показники вилучення забезпечуються, коли випуск руди здійснюється з усіх чотирьох випускних виробок рівномірними дозами з однаковою періодичністю по одній лінії виробки первинної доставки (досліди V, VI і VII);

у процесі відпрацювання запасів цілика, який огорожує очисну панель (дослід VIII), відстані між випускними отворами в покрівлі навантажувально-

вально-доставочної виробки необхідно диференціювати залежно від висоти шару руди.

Висновки. На основі проведених лабораторних досліджень установлено таке: застосування лінійно-почергового режиму випуску руди дасть змогу в практичних умовах збільшити показники вилучення щонайменше на 10%; пропорційне збільшення діаметра випускних виробок і відстані між ними по площі днища приймального горизонту не забезпечує підвищення показників вилучення руди, так як їх різниця в цьому випадку коливається в межах 0,9–1,2%; черга лінійно-почергового режиму випуску руди зонами від лежачого до висячого боку й навпаки суттєво не впливає на показники вилучення чистої руди, так як їх різниця в цьому випадку коливається в межах 0,6–1,2%, але за умови нестійких порід висячого боку, які здатні обвалюватись услід за відбитою рудою, що випускається, доцільно здійснювати випуск від лежачого до висячого боку рудного покладу; об'єм «загальної фігури випуску» руди з декількох випускних виробок при застосуванні лінійно-почергового режиму є більшим, ніж суми об'ємів фігур випуску (еліпсоїдів) з тих самих випускних виробок при застосуванні рівномірно-последовного режиму.

Список літератури:

1. Ступник Н.И., Письменный С.В. Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды. Вісник КНУ. 2012. Вип. 30. С. 6–10.
2. Письменный С.В. Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки. Гірничий вісник. 2014. № 97. С. 3–7.
3. Калиниченко В.А., Янов Е.К. Методика исследования напряженного состояния горного массива при формировании компенсационных пространств. Вісник КНУ. 2011. Вип. 29. С. 6–10.
4. Технология очистной выемки с учетом геомеханических процессов, возникающих на глубинах ниже 1200 м / Ф.И. Караманиц и др. Разработка рудных месторождений. 2005. Вип. 88. С. 75–80.
5. Сиротюк С.И. Геомеханическое обоснование возможности использования системы разработки с самообрушением руды на шахтах Кривбасса. Разработка рудных месторождений. 2011. Вип. 94. С. 3–6.
6. Федько М.Б., Зенюк Д.Ф. Підвищення якості рудної маси при вдосконаленні системи розробки підповерхового обвалення руди на підконсольний компенсаційний простір. Качество минерального сырья. 2011. С. 258–260.
7. Тарасюгін В.М., Косенко А.В. Фізичне моделювання технологічного процесу випуску руди для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу. Розвиток промисловості та суспільства: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (м. Кривий Ріг, 24–26 травня 2017 року). Кривий Ріг: КНУ, 2017. С. 67.
8. Kosenko A.V. Improving the efficiency of production process and shipping ore on the basis of the use of self-propelled load-delivery machines technology. Science in 2018: proceedings of XIV International scientific conference (Morrisville, USA, Jan 26 2018). Morrisville, 2018. P. 6–9.
9. Brown E.T. Block Caving Geomechanics. Queensland, 2002. 515 p.
10. Ступник Н.И., Кудрявцев М.И., Басов А.М. Пути совершенствования технологи подземной разработки богатых руд Кривбасса. Вісник КТУ. 2010. Вип. 26. С. 23–26.
11. Дослідження та удосконалення технології відпрацювання покладів з застосуванням самохідної доставочної техніки / В.О. Калініченко та ін. Гірничий вісник. 2015. Вип. 99. С. 100–104.
12. Kosenko A.V. Ways of increasing qualitative and quantitative recovery percentages of ore in conditions of deep horizons of the mines of Krivbass. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського: Серія «Технічні науки». 2018. Т. 29 (68). № 2. С. 245–250.
13. Чернокур В.Р., Шкребко Г.С., Шелегеда В.И. Добыча руды с поэтажным обрушением. Москва: Недра, 1992. 271 с.
14. Черненко А.Р., Черненко В.А. Подземная добыча богатых железных руд. Москва: Недра, 1992. 224 с.
15. Неверов С.А., Васичев С.Ю. Особенности влияния глубины горных работ на параметры выпуска руды под обрушенными породами. Форум гірників – 2012: матеріали Міжнародної конференції (Дніпропетровськ, 3–6 жовтня 2012 р.). Дніпропетровськ, 2012. Т. 1. С. 98–103.
16. Kosenko A.V. Definition and justification of rational parameters of technological schemes of delivery ore mass in the process of development of natural-rich iron ore of Krivbass. Scientific research in 2018: proceedings of XV International scientific conference of students and young scientists (Kramatorsk, Feb 9th 2018). Vinnytsya, 2018. P. 85–89.
17. Ломоносов Г.Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений: учебник для вузов по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело». 2-е изд. Москва: Горная книга, 2013. 517 с.
18. Прогрессивные ресурсосберегающие технологии раздельной очистной выемки разносортных железных руд шахт Кривбасса / В.М. Тарасюгін, А.В. Косенко, И.П. Кушнерёв, М.Б. Федько. Innovative technologies in science and education. European experience: International Conference (Vienna, Austria, November 21–24, 2017). Vienna, 2017. Volume 2. P. 368–380.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫПУСКА РУДЫ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В научной статье рассмотрена проблема снижения конкурентной способности подземных горных предприятий Кривбасса. Проанализированы возможные существующие пути решения проблемы и выделен ряд основных их недостатков. На основе этого разработан новый автоматизированный высокоинтенсивный линейно-поочерёдный режим выпуска. Приведены основные результаты физического моделирования разработанного режима выпуска обрушенной руды равномерными дозами из нескольких смежных выпускных отверстий, которые находятся на одной оси и в равномерно-последовательном режиме. Осуществлены их сравнительная оценка по факту извлечения чистой руды и теоретический анализ, на основе чего доказана целесообразность применения разработанного линейно-поочерёдного режима выпуска зонами от лежащей к висящей стороне рудной залежи, так как в этом случае достигаются наилучшие количественные показатели извлечения руды.

Ключевые слова: поэтажное обрушение, потери руды, разубоживание, выпуск руды, интенсивность выпуска руды, самоходная техника, режим выпуска, физическое моделирование, объемная физическая модель.

INVESTIGATION OF THE ORE DRAWING ON THE BASIS OF PHYSICAL SIMULATION

The scientific article considers the problem of reducing the competitive ability of the underground mining enterprises of Kryvbas. Analyzed possible existing solutions to the problem and identified a number of their main shortcomings. On the basis of what is developed a new automated high-intensive linear-alternate ore drawing. The main results of physical modeling of the developed ore drawing of the broken ore by uniform quota from several adjacent outlets which are on one axis and uniformly-consecutive ore drawing are resulted. Their comparative evaluation was carried out on the fact of extraction of headings and a theoretical analysis, on the basis of which it was proved expedient to use the developed linear-alternate ore drawing by zones from the bottom wall to the hanging wall. Since in this case the best quantitative degree of extraction are achieved.

Key words: *sub-level caving, ore loss, dilution, ore drawing, intensity of ore drawing, self-propelled machinery, condition of ore drawing, physical simulation, volumetric physical analog.*

МЕТАЛУРГІЯ

УДК 685.5.011

Зінченко В.Ю.

Запорізька державна інженерна академія

Іванов В.І.

Запорізька державна інженерна академія

Нестеренко Т.М.

Запорізька державна інженерна академія

Чепрасов О.І.

Запорізька державна інженерна академія

Каюков Ю.М.

Запорізька державна інженерна академія

ПРО УПРАВЛІННЯ СТАДІЙНИМ СПАЛЮВАННЯМ ПАЛИВА В МЕТОДИЧНИХ ПЕЧАХ

У статті з'ясовано причини обмеженого використання методу стадійного спалювання палива в методичних печах. Визначено вплив розподілу тиску в печі на можливість застосування зазначеного методу опалення. Розроблено метод стабілізації значення тиску в методичній печі на заданому рівні під час нагрівання металу комбінуванням складу змішаної паливної суміші. Запропоновано систему автоматичного управління тепловим навантаженням і тиском у робочому об'ємі методичної печі. Застосування такої системи дасть змогу забезпечити задані значення температури й тиску в кожній зоні печі за змінним тепловим навантаженням, а також мінімізувати теплообмін з довкіллям.

Ключові слова: методична піч, стадійне спалювання, змішана паливна суміш, комбінування її складу, управління.

Постановка проблеми. Найбільш перспективним застосуванням стадійного спалювання газоподібного палива в металургійній галузі є його використання в прокатних цехах під час опалювання нагрівальних печей [1, с. 64]. Упровадження пошарово-методичного режиму стадійного спалювання палива в печах зазначеного типу допомагає зменшити окиснення металу, знизити викиди оксидів азоту до атмосфери, а також підвищити якість поверхні прокату.

Стадійний режим спалювання газоподібного палива неодноразово випробовували в методичних печах традиційної конструкції. Проте така технологія опалювання не набула значного поширення через недосконалість роботи системи автоматичного управління, насамперед режимом тиску, що призводить до загазованості довкілля через потрапляння монооксиду вуглецю до атмосфери під час виштовхування пічних газів з робо-

чого об'єму печі. Найчастіше зазначений недолік проявляється в разі зниження темпу прокатки, за наявності вимушених простоїв обладнання, а також витримки в печі вже прогрітих слябів. Під час зниження теплового навантаження в печі система автоматичного управління неспроможна повністю стабілізувати тиск у її робочому об'ємі, а також виключити газообмін з довкіллям.

Вирішення такої проблеми під час простоїв печі здійснюють за рахунок застосування водяної пари, яку подають у канали пальників разом з газоповітряною сумішшю, а також змінювання конструкції методичних печей, зокрема герметизації робочих камер за допомогою додаткових кожухів тощо.

Постановка завдання. Відомо, що газообмін робочої камери методичної печі з довкіллям визначається насамперед значенням надлишкового статичного тиску в її робочому об'ємі. Так, викиди

пічних газів і потрапляння оксиду вуглецю на робочі місця обслуговуючого персоналу є за наявності позитивного тиску в робочому об'ємі печі. Розподіл тиску за довжиною печі визначається за інших рівних умов значенням об'ємної витрати нагрівальних газів, а його значення змінюється в процесі змінювання теплового навантаження печі. Водночас характер руху нагрівальних газів і розподіл тиску в робочому об'ємі печі визначається динамічною дією струменів, що витікають із пальників. У ділянках, що є прилеглими до вихідних отворів пальників, створюються зони розрідження, а в місцях, де відбуваються удари струменів об поверхню кладки печі та садки металу, тиск пічних газів підвищується. Неоднорідність розподілу тиску в робочому об'ємі печі, яка зумовлена динамічною дією струменів пічних газів, накладається на розподіл тиску, що пов'язаний з неоднорідним полем температури в печі.

Завданням системи автоматичного регулювання є підтримка нульового надлишкового тиску на заданому рівні. Відомо, що камери методичних печей є взаємопов'язаними, тому змінювання значення тиску в робочому об'ємі однієї з них впливає на його розподіл щодо всієї печі. З огляду на це, потрібно вирішити проблему забезпечення автономності управління гідродинамічним режимом у різних зонах печі.

Очевидно, що газообмін у печі можна мінімізувати тільки шляхом вибирання та забезпечення протягом усієї її роботи оптимального розподілу статичного тиску в робочому об'ємі, що забезпечує як найменше виштовхування пічних газів, так і мінімальне підсмоктування холодного атмосферного повітря. Першу частину проблеми переважно вирішують застосуванням фізичного моделювання процесу та подальшою перевіркою під час дослідно-промислової експлуатації, другу частину – шляхом оперативного управління режимом опалювання.

Завданням запропонованої роботи є вибір та обґрунтування методу управління стадійним спалюванням палива, що забезпечує стабілізацію тиску в різних зонах печі під час змінювання її теплового навантаження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вирішення поставленої проблеми можливе лише за схемами опалювання з управлінням об'ємом продуктів горіння. Відомим є метод опалювання печі [2], за яким змінювання теплової потужності виконують шляхом комбінування декількох видів паливних газів, коли за різних теплових навантажень печі об'єм продуктів горіння залишається постійним.

Щодо методичних печей стадійне спалювання можна реалізувати в процесі спалювання газоподібного палива в зонах томління й зварювання з коефіцієнтом витрати первинного повітря $\alpha_1 < 1$ та отриманням горючої суміші, що складається з продуктів неповного горіння, а також подальшого допалювання зазначеної суміші в методичній зоні з використанням додаткового вторинного повітря (або кисню), коефіцієнт витрати якого становить $\alpha_{II} > 1$.

Управління процесом стадійного спалювання передбачає змінювання теплового навантаження печі впродовж часу, що забезпечує задану температуру $T_{3,i}$ в її зонах, а також об'ємної витрати продуктів горіння, за якою розподіл статичного тиску в об'ємі окремих зон відповідає реалізації заданого коефіцієнта витрати повітря α_{II} , коли спалювання палива завершується в межах робочого об'єму печі.

Якщо припустити, що кількість теплоти, яку виділяють паливні гази з теплою згорання $[Q_H^p]_k$ під час їх спалювання, через нестачу первинного повітря зменшується в α_1 разів, то кількість теплоти, яку вводять до камери змішаною паливною сумішшю, можна подати у вигляді:

$$\sum_{k=1}^m \alpha_1 \cdot B_{\text{пал},k} \cdot [Q_H^p]_k + Q_{\text{пал}} + Q_{\text{пов}} = Q_i(T_{3,i}), \quad (1)$$

де $B_{\text{пал},k}$ – витрата k -го палива, що спалюють в i -ій зоні; $Q_{\text{пал}}$, $Q_{\text{пов}}$ – фізична теплота газоподібного палива та повітря відповідно.

За умови відсутності виштовхування пічних газів і підсмоктування холодного атмосферного повітря до робочого об'єму печі рівноважну температуру в її зонах $T_{3,i}$ можна обчислити за рівнянням теплового балансу для кожної зони:

$$Q_{i-1,i} + \sum_{k=1}^m \alpha_1 \cdot B_{\text{пал},k} \cdot [Q_H^p]_k + Q_{\text{пал}} + Q_{\text{пов}} = \\ = \alpha_{i,\Sigma} \cdot F_{\text{п},i} \cdot (T_{3,i} - T_{\text{п},i}) + Q_{i,i+1} + Q_{\text{втр}}, \quad (2)$$

де $Q_{i-1,i}$, $Q_{i,i+1}$ – відповідно теплота, що передають пічні гази до i -ої зони з попередньої ($i-1$)-ої зони, і теплота, яку передають пічні гази з i -ої зони до наступної ($i+1$)-ої зони відповідно; $k = 1, 2 \dots m$, $i = 1, 2 \dots n$; $\alpha_{i,\Sigma}$ – сумарний коефіцієнт тепловіддачі в i -ій зоні; $F_{\text{п},i}$, $T_{\text{п},i}$ – поверхня металу, що сприймає теплоту, і температура його поверхні в i -ій зоні відповідно; $Q_{\text{втр}}$ – втрати теплоти в i -ій зоні.

Об'ємні витрати продуктів горіння $V(P_i)$, які прямують через робочий об'єм i -ої зони печі та визначають надлишковий статичний тиск у ній, можна визначити за рівнянням матеріального балансу:

$$V_{i=1} + \sum_{k=1}^m \alpha_1 \cdot B_{\text{пал},k} \cdot L_{\text{пов},k}^1 = V(P_i), \quad (3)$$

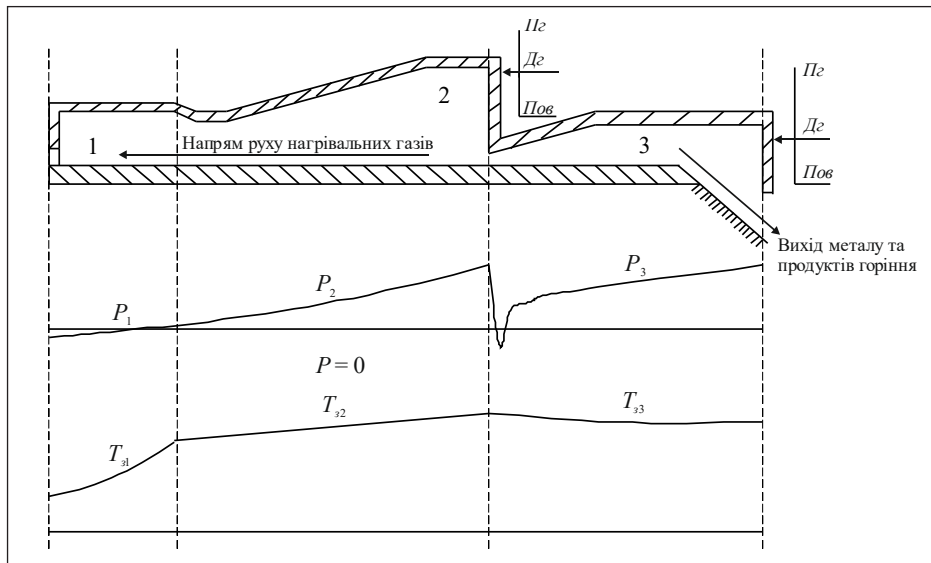


Рис. 1. Схема типової трizonної методичної печі, режими тиску й температури

де V_{i-1} – об’ємна втрата пічних газів у неопалювальній зоні.

Витрату повітря $L_{пов,i}^I$, що потрібно для реалізації першої стадії спалювання палива в i -ій зоні печі, визначають як

$$L_{пов,i}^I = \sum_{k=1}^m \alpha_k \cdot L_{0,k} \cdot B_{пал,i,k}, \quad (4)$$

де $L_{0,k}$ – теоретичний об’єм повітря, що потрібно для спалювання одиниці k -го палива.

За відсутності лінійної залежності між $[Q_n^p]_k$ і $V_{пов,i,k}$ під час розв’язання системи рівнянь (1) і (3) можна визначити комбінацію витрат паливних газів на управління температурою $Q_i(T_{з,i})$ і тиском $V(P_i)$.

Якщо $k = 2$, то розв’язання системи зазначених рівнянь є єдиним, якщо $k > 2$, то існує безліч вирішень. За допомогою методу лінійного програмування можна мінімізувати поточну вартість опалювання [2]. У роботі В.Ю. Зінченко [3, с. 23] показано, що цей метод управління можна застосовувати для паливних газів з різною природою горючих компонентів.

На другій стадії спалювання палива повітря (або кисень) подають до робочого об’єму печі через спеціальні сопла залежно від вмісту горючих компонентів у продуктах горіння газів. Стехіометрично необхідні витрати повітря на другій стадії спалювання можна визначити з використанням рівняння:

$$L_{пов,i}^{II} = \sum L_{0,k} \cdot B_{пов,k} \cdot (1 - \alpha_k). \quad (5)$$

Фактично поточні витрати повітря залежать від α_k й умов перемішування повітря з продуктами горіння газів.

Управління витратою повітря на другій стадії можливе згідно з рівнянням (4) за умови коригування вмісту кисню в продуктах горіння на виході з печі.

Приклад функціональної реалізації методу управління. Розглянуто стадійне опалювання трizonної методичної печі сумішшю природного та доменного газів.

Рациональний режим розподілу стагичного тиску в робочому об’ємі зазначеної печі задавали за результатами математичного моделювання як значення тиску в кожній із зон P_1, P_2, P_3 , а триступеневий режим температури в зонах – як $T_{з1}, T_{з2}, T_{з3}$.

Підведення природного та доменного газів до печі виконують окремо, а їх комбінування і змішування – безпосередньо перед подаванням до пальників.

На рис. 1 наведено подовжній переріз трizonної методичної печі. Пальники встановлено в торцевих стінках робочих камер. Змінювання швидкості течії пічних газів за довжиною робочих камер у процесі змінного подавання палива зумовлює несталий розподіл тиску в зонах печі, водночас можливим є підсмоктування холодного повітря, а також розрідження в зоні розташування пальників.

У такому разі рівняння (1) і (2) можуть бути подані у вигляді системи рівнянь для кожної опалювальної зони печі:

$$\begin{cases} \alpha_{i_1} \cdot B_{пр,i_1} \cdot [Q_n^p]_{пр} + \alpha_{i_2} \cdot B_{др,i_2} \cdot [Q_n^p]_{др} = Q_i(T_{з,i}), \\ \alpha_{i_1} \cdot B_{пр,i_1} \cdot V_{пр} + \alpha_{i_2} \cdot B_{др,i_2} \cdot V_{др} = V(P_i). \end{cases} \quad (6)$$

За режимом опалювання з постійним об’ємом $V(P_i)$ можна забезпечити змінювання тепло-

вого навантаження від максимального значення $Q_i(T_{3,i})_{\max}$ до мінімального $Q_i(T_{3,i})_{\min}$ відповідно до співвідношення [4, с. 41]:

$$U = \frac{Q_i(T_{3,i})_{\max}}{Q_i(T_{3,i})_{\min}} = \frac{[Q_H^p]_{нз}}{[Q_H^p]_{де}} \cdot \frac{V_{де}}{V_{нз}} \quad (7)$$

За $[Q_H^p]_{пр} = 33495$ кДж/м³ і $[Q_H^p]_{дг} = 3350$ кДж/м³ отримують $U = 1,5$.

Аналогічне співвідношення можна використувати під час управління значенням тиску в зонах за постійним тепловим навантаженням. Розширення діапазону регулювання можливе під час застосування третього паливного газу або водяної пари.

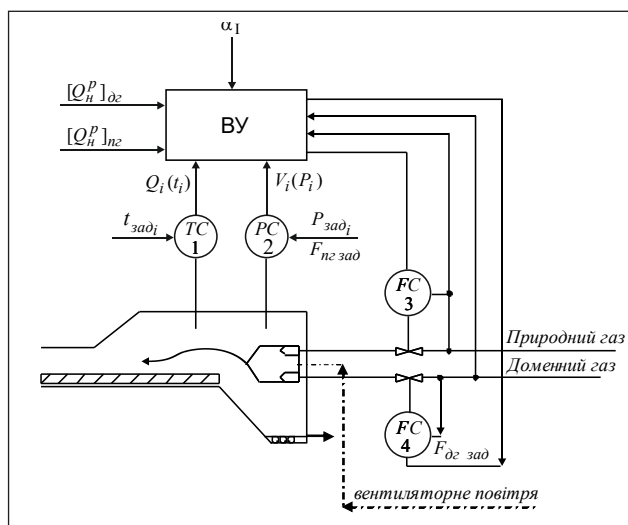


Рис. 2. Спрощена функціональна схема взаємопов'язаного каскадного управління тепловим навантаженням і тиском у методичній печі

На рис. 2 зображено спрощену функціональну схему взаємопов'язаного каскадного управління значенням теплового навантаження й тиску в одній із опалювальних камер методичної печі.

Регулятори температури 1 і тиску 2, залежно від відхилення регульованої величини щодо заданого

значення $T_{\text{зад},i}$ і $P_{\text{зад},i}$, формують дії $Q(t_i)$ і $V(P_i)$, які управляють. Обчислювальний пристрій, використовуючи рівняння (1) і (2), здійснює коригування завдання регуляторам витрати природного $F_{\text{пр зад}}$ (3) та доменного $F_{\text{д зад}}$ (4) газів. Виходячи з того, що об'єктами управління для регуляторів витрати 3 й 4 є ділянки трубопроводів, які розміщено між точками вимірювання та дроселювання, зазначені регулятори реалізують прості інтегральний або пропорційний закони регулювання. Регулювання горіння палива можна виконувати або типовими схемами співвідношення «паливо-повітря», або за допомогою спарованих дроселів, але з урахуванням того, що $\alpha_1 < 1$.

Загальна схема регулювання тиску в робочому об'ємі печі є типовою схемою управління з дією на положення загального шиберу в збірному борві. Водночас змінюється положення поверхні нульового тиску, а регулятор 2 виконує його коригування до необхідного значення в кожній зоні.

Реалізацію системи загалом здійснюють на типових мікропроцесорних засобах управління з можливістю включення до АСУ ТП нагрівання металу.

Завдання зонним регуляторам температури й тиску для кожного режиму роботи встановлюють залежно від інформації про перебіг процесу та тепловий стан металу, що нагрівають.

Висновки. Метод стадійного спалювання газоподібного палива в методичних печах з роздільним подаванням паливних газів і комбінуванням їх безпосередньо в процесі спалювання дає змогу підтримувати потрібний рівень температури й тиску в кожній зоні печі за змінним її тепловим навантаженням. Розроблено систему автоматичного управління тепловим навантаженням і тиском у робочому об'ємі методичної печі, що допоможе забезпечити її раціональний гідравлічний режим і мінімізувати газообмін з довкіллям.

Список літератури:

1. Шульц Л.А. По следам разработки и внедрения печей со стадийным сжиганием топлива и перспективы их развития в металлургии. Известия вузов. Серия «Черная металлургия». 2005. № 10. С. 62–69.
2. Патент України № 16114. UA МПК F 23 С 99/00. Спосіб опалення камерних газових печей / М.П. Ревун, В.Ю. Зінченко, О.П. Лютий та ін. Запорізька державна інженерна академія. Заява 27.02.2006. Зареєстр. ДРПУ 17.07.2006. Бюл. № 7.
3. Особенности стадийного сжигания топлива в пламенных печах камерного типа / В.Ю. Зинченко, В.И. Иванов, А.И. Чепрасов, Ю.Н. Каюков. Теплотехника, энергетика и экология в металлургии: труды Междунар. конф. 10.12.2017. Днепропетровск: НМетАУ, 2017. Кн. 2: Новая идеология. С. 21–25.
4. Управління стадійним спалюванням палива у методичних печах / В.Ю. Зінченко, В.І. Іванов, О.І. Чепрасов, В.К. Тарасов. Альянс наук: вчений вченому: зб. наук. праць XII Міжнар. науково-практ. конф. Дніпро. 26–27.02.2018. Дніпропетровськ: Вид. Біла К.О., 2018. С. 39–42.

ОБ УПРАВЛЕНИИ СТАДИЙНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

В статье уточнены причины ограниченного использования метода стадийного сжигания топлива в методических печах. Определено влияние распределения давления в рабочем объеме печи на возможность применения указанного метода отопления. Разработан способ стабилизации на заданном уровне давления в рабочем объеме методической печи при нагреве металла комбинированием состава смешанной топливной смеси. Предложена система автоматического управления тепловой нагрузкой и давлением в рабочем объеме методической печи. Применение такой системы позволяет обеспечить заданные значения температуры и давления в каждой зоне печи при переменной тепловой нагрузке, а также минимизировать теплообмен с окружающей средой.

Ключевые слова: методическая печь, стадийное сжигание, смешанная топливная смесь, комбинирование ее состава, управление.

ABOUT THE CONTROL OF STAGED FUEL COMBUSTION IN METHODOLOGICAL FURNACES

There are corrected the reasons of the limited application for stage fuel combustion method in methodical furnaces. There is determined influence of pressure distribution in furnace on possibility of the mentioned method of heating use. There is worked out the method of pressure stabilizing in methodical furnace at set level at metal heating by the combining composition mixed fuel mixture. The system of automatic control by thermal load and pressure in the working volume of continuous furnace is offered. Application of such system allows to provide the set temperature and pressure in every zone of methodical furnace at the variable thermal load and also to minimize a heat exchange with an environment.

Key words: methodical furnace, stage fuel combustion, mixed fuel mixture, combining of its composition, control.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК [663.8:634.323. 5]:57.017–056.13

Вікуль С.І.

Одеська національна академія харчових технологій

Антіпіна О.О.

Одеська національна академія харчових технологій

ГРЕЙПФРУТОВИЙ СІК ЯК БІОЛОГІЧНО АКТИВНИЙ СКЛАДНИК ФРЕШ-МІКСІВ

*Фреш-соки з різноманітної рослинної сировини завдяки вмісту корисних біологічно активних речовин популярні у споживачів, які прагнуть до здорового харчування. Особливу популярність мають фреш-соки із цитрусових плодів, яскравим представником яких є грейпфрут (*Citrus paradisi*). Ніжну м'якоть плода та сік використовують як додатковий компонент у складі слабоалкогольних коктейлів, смузі, драгледоподібних десертів, для надання стравам і напоям специфічних смакових якостей. Сік грейпфруту внаслідок своїх унікальних смакових і хіміко-біологічних особливостей дає змогу розглядати його як джерело біологічно активних сполук та отримувати на його основі напої профілактичного спрямування з підвищеною біологічною активністю. Наведені результати досліджень щодо застосування показника біологічної активності в різноманітних рецептурних складах фреш-міксів, отриманих із грейпфрутового, яблучного та виноградного соків. Вивчені хімічні й фізико-хімічні показники фреш-міксів і їх складників. Проведений сенсорний аналіз отриманих купажів методом «флейвор», відібрані зразки з найкращими смаковими якостями. Виявлені синергетичний та антагоністичний ефекти між-молекулярної взаємодії біологічно активних речовин складників фреш-міксів. За показником біологічної активності обрані зразки, найбільш цінні з фізіологічного погляду.*

Ключові слова: фреш-соки, купажування, антиоксиданти, біологічна активність, синергізм, антагонізм.

Постановка проблеми. Завдяки вмісту корисних біологічно активних речовин соки з рослинної сировини популярні у споживачів, які прагнуть до здорового харчування. Основні мотивації споживання соків розподіляються так: як джерело вітамінів – 48,3%; як натуральний продукт – 26,1%; як смачний напій – 8,6%; як продукт вітчизняного виробництва – 3,4%; як напій, що втамовує спрагу, – 3,0% [1; 2].

Крім того, українські споживачі, які надають перевагу здоровому способу життя, залишаються прихильниками напоїв власного приготування, тобто свіжо вичавленим (фреш) сокам.

У виробництві фреш-соків використовується як вітчизняна рослинна сировина (фруктова, ягідна та овочева), так і плодова сировина, яка в Україні не вирощується, з огляду на природно-кліматичні умови.

Особливу популярність мають фреш-соки із цитрусових плодів, яскравим представником яких є грейпфрут (*Citrus paradisi*).

Сік грейпфрута за смаковими характеристиками має підвищену кислотність і притаманну лише йому гіркоту, тому як монопродукт має обмежене коло прихильників, але в закладах ресторанного типу й барах його використовують як додатковий компонент у складі слабо- та безалкогольних коктейлів, смузі, драгледоподібних десертів, для надання стравам специфічних смакових якостей [2; 3; 4]. Мікси фреш-соків на основі грейпфрутового не мають відповідного пріоритету і практично відсутні в барних картах.

Однак унаслідок своїх унікальних смакових і хіміко-біологічних особливостей сік грейпфрута заслуговує на більшу увагу.

Користь грейпфрутового соку визначається його хімічним складом, насамперед великим умістом біологічно активних речовин.

Свіжі плоди грейпфруту містять глюкозу 1,77%, фруктозу 1,37%, сахарозу до 3,1%, вітамін С. Сахароза є домінуючим вуглеводом грейпфруту, а співвідношення фруктози до глюкози

становить 1:1 [5, с. 121]. За мінеральним складом сік грейпфруту може поступатися деяким фреш-сокам, однак він містить калій (7,5% добової потреби), кальцій, магній, натрій, ферум та інші мікроелементи [6, с. 20; 7, с. 167]. Водночас цей сік багатий на корисні речовини, що сприяють нормальній життєдіяльності організму людини, зокрема органічні кислоти, алкалоїди, флавоноїди, пектин, ефірні олії й антиоксиданти [8, с. 6].

Завдяки наявності поліфенолів плоди грейпфруту мають антиоксидантні та антибактеріальні властивості [9, с. 285; 10, с. 866; 11, с. 109].

Сік грейпфруту містить флавоноїди – нарингін, нарингенін, нарирутин, кверцетин, кемпферол, гесперидин, неогесперидин, дидумін, понцирин і сесквітерпени [12, с. 1213].

Такі біофлавоноїди, як рутин і кверцетин, є суттєвими інгібіторами процесів окиснення ліпопротеїнів низької густини, завдяки чому знижують ризик виникнення атеросклерозу [8, с. 5].

Сік грейпфруту у великій кількості містить специфічну речовину – на-рингін, що сприяє перетравленню їжі та прискорює спалювання жиру в організмі [13, с. 3]. Експериментальні дослідження показали, що нарингін зупиняє процес вимивання кальцію з кісткової тканини [14, с. 485].

За рахунок підвищеного вмісту глікозидів групи флавоноїдів, таких як гесперидин і нарингенін, сік грейпфруту має тонізуючі та лікувально-профілактичні властивості. Ці глікозиди володіють судиннозміцнювальними властивостями, а також здатні утворювати комплекси з іонами важких металів і прискорювати виведення їх з організму. Також нарингенін грейпфруту запобігає ураженню ниркової та печінкової тканин у хворих на цукровий діабет II типу [15, с. 1723; 16, с. 1627], йому притаманні антиоксидантні, протизапальні, протипухлинні, властивості [17, с. 339].

Антиоксидантні властивості соку грейпфруту пов'язані не тільки з уміс-том наргініну и гесперидину, а й наявністю низки інших біологічно активних сполук [8, с. 6].

Завдяки високому вмісту вітаміну С, глікозидів, що мають Р-вітамінну активність, та антоціанів, а також низькому вмісту вуглеводів, грейпфрут є цінним дієтичним харчовим продуктом, який позитивно впливає на процеси обміну речовин, кровообігу і травлення [9, с. 3].

З літературних джерел встановлено, що сік грейпфруту має велику кількість біологічно активних речовин з різноманітними властивостями, але внаслідок підвищеної кислотності й гіркого присмаку як монопродукт він не користу-

ється особливим попитом серед споживачів. Тому актуальним напрямом є створення фреш-міксів на основі грейпфрутового соку та купажів із його додаванням підвищеної антиоксидантної та біологічної активності.

Важливою характеристикою фреш-соків є антиоксидантна (антирадикальна) активність, що варто враховувати під час створення багатокомпонентних харчових систем.

Авторами [18, с. 33] визначена антирадикальна активність рослинної сировини, яку використовували для отримання соків прямого віджиму. За цим показником сировина розташована в такій послідовності: апельсин > грейпфрут > ківі > лимон > гранат > журавлина > яблуко > виноград.

Іншими дослідниками [19, с. 123] встановлено значення антиоксидантної активності натурального соку з вишні сорту «Флора» – 9,74 ммоль/л-екв, із яблук сорту «Дачная» – 2,05 ммоль/л-екв, із грейпфруту – 2,752 ммоль/л-екв. Вони рекомендують використовувати ягоди вишні з метою підвищення антиоксидантної активності раціону харчування та надавати перевагу у використанні таким рецептурним компонентам, як натуральні соки яблук і грейпфрута.

Порівняльну характеристику за антиоксидантною активністю свіжовичавлених соків із цитрусових провели Е.І. Тарун і В.І. Дудук [20, с. 57]. За ефективністю протекторної дії від активних радикалів плоди цитрусових можна розташувати в такій послідовності: мандарин IC₅₀ – 0,038% > апельсин IC₅₀ – 0,066% > грейпфрут IC₅₀ – 0,24% > лимон IC₅₀ – 0,316% > лайм IC₅₀ – 0,348% (індекс IC₅₀ – концентрація соку, при якій досягається 50% інгібування вільних радикалів; чим нижчий показник IC₅₀, тим вища антиоксидантна здатність) [21, с. 56].

Створення нових видів продуктів профілактичного та дієтичного призначення пов'язано з удосконаленням технологій, упровадженням нових форм контролю якості, що дають змогу підвищити харчову й біологічну цінність напоїв.

Найчастіше головними критеріями якості харчового продукту є органолептичні, хімічні та фізико-хімічні показники.

Сучасні методи оцінювання якості продуктів засновані на принципі адитивності і є однобічними. Вони розглядають продукт як механічну суміш різних біологічно-активних речовин і не пояснюють синергетичні й антагоністичні ефекти, що спостерігаються на практиці, а також системний вплив біологічно-активних компонентів на живий організм.

З погляду фізіологічної дії додатковим критерієм якості можна використати показник біологічної активності, величина якого враховує два основні фактори: міжмолекулярні взаємодії інгредієнтів, що входять до складу рослинної сировини, і кооперативний внесок біологічно-активних компонентів в інтенсивність електронного транспорту, що моделює енергетичний гомеостаз організму. Критерій оцінювання біологічної цінності рослинної сировини заснований на каталізі перенесення електрона продуктом у системі «відновлений нікотинамідаденіндинуклеотид-фериціанід калію». Основою методу оцінювання біологічної активності продукту прийнято електронно-транспортну модель $\text{NAD}\cdot\text{H}_2 - \text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (рис. 1).



Рис. 1. Електронно-транспортна модель $\text{NAD}\cdot\text{H}_2 - \text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Здатність різних біологічно активних компонентів рослинної сировини викликати неферментативне окиснення $\text{NAD}\cdot\text{H}_2$ до NAD і водночас відновлювати Fe^{+3} до Fe^{+2} показує, що ці речовини можуть підвищувати загальну неспецифічну опірність організму [21, с. 5]. Біологічну активність вимірюють за зміною швидкості окиснення $\text{NAD}\cdot\text{H}_2$ до NAD у контрольних і досліджуваних зразках. Кінетику реакції спостерігали з використанням фотоелектроколориметричного методу при $\lambda=320\text{нм}$, $\tau=2\text{хв}$ [22].

Тому для розширення асортименту фреш-міксів з включенням грейпфрутового соку з під-

вищеною біологічною цінністю актуальним у процесі купажування є застосування додаткового критерію якості – показника біологічної активності.

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування рецептурного складу соків з підвищеною біологічною активністю, отриманих прямим віджимом із грейпфрутів, яблук і винограду, і виявлення ефектів синергізму та антагонізму завдяки взаємодії біологічно активних речовин під час створення міксів з фреш-соків.

Для дослідження отримані фреш-соки методом прямого віджиму з грейпфруту, яблук, винограду, підготовлені зразки міксів: грейпфрутово-яблучні та грейпфрутово-виноградні.

Якість фреш-соків і міксів на їх основі оцінювали за змінами фізико-хімічних та органолептичних показників. У дослідженні використовували стандартні й загальноприйняті методи визначення: масову частку цукрів – фериціанідним методом за ДСТУ 4954; титровану кислотність – титруванням лугом за ДСТУ 4957; цукрово-кислотний індекс – відношенням масової частки цукрів до органічних кислот; біологічну активність [22]; дегустацію фреш-міксів проводили закритим способом за 5-бальною шкалою (ISO 6564:1985).

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробка рецептури фреш-міксів полягала у знаходженні відсоткового співвідношення соків в експериментальних зразках з метою забезпечення водночас належних смакових якостей і максимальної величини електронно-транспортної активності купажу в системі $\text{NAD}\cdot\text{H}_2 - \text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Таблиця 1

Склад і фізико-хімічні показники купажованих соків і їх складників

№ зразка	вид соку та масова частка складників у купажі, %	Досліджувані зразки			
		грейпфрутово-виноградний		грейпфрутово-яблучний	
		кислотність, %	цукор, %	кислотність, %	цукор, %
1	90:10	2,4	11,2	2,4	10,8
2	80:20	2,2	12,4	2,3	11,2
3	70:30	2,0	13,6	2,2	11,7
4	60:40	1,8	14,9	1,9	12,0
5	50:50	1,6	16,0	1,7	12,4
6	40:60	1,5	16,6	1,6	13,1
7	30:70	1,3	17,4	1,4	13,5
8	20:80	1,0	18,8	1,2	14,8
9	10:90	0,8	19,9	1,1	15,4
	сік грейпфрутовий	2,6	10,0	2,6	10,0
	сік виноградний	0,6	22,0		
	сік яблучний			0,8	15,6

На першому етапі досліджено вміст кислот і цукру у фреш-соках, отриманих методом прямого віджиму з грейпфруту, яблук, винограду, та купажів на їх основі: грейпфрутово-яблучних і грейпфрутово-виноградних. Дані експерименту й номери зразків купажів у відсотковому співвідношенні представлені в таблиці 1.

У результаті купажування фреш-соків грейпфрутового з виноградним і яблучним відбувається зміна хімічного складу та фізико-хімічних показників купажів. Установлено, що при збільшенні об'ємної частки виноградного соку в суміші грейпфрут-виноград порівняно з грейпфрутовим соком кислотність купажів закономірно зменшується у 1,08 (зразок 1) до 3,25 разів (зразок 9), а вміст цукру збільшується в 1,12 і 1,99 разів відповідно. При купажуванні грейпфрутового та яблучного соків зниження кислотності (у 1,08–2,36 разів) і зростання вмісту цукру (у 1,08–1,54 разів) відбувається не так різко, як у попередньому випадку.

Оптимальне співвідношення цукру й кислот, яке залежить від ступеня досягання плодів, зумовлює гармонійні смакові властивості подово-ягідної сировини, що характеризують цукрово-кислотним індексом [23]. Чим вищий цей показник, тим кращі

смакові якості плодів і ягід; для яблучного соку оптимальні значення цукрово-кислотного індексу є 15–25, а для виноградного – 22–28.

Значення цукрово-кислотного індексу фреш-соків і купажів на їх основі представлені на рис. 2, 3.

Найвищий цукрово-кислотний індекс має сік із винограду (38), що вказує на підвищений вміст цукру, який надає соку істотно-солодкий смак. Значення цукрово-кислотного індексу яблучного соку входить в інтервал оптимальних значень для цього показника, сік має гармонійні смакові властивості з погляду як кислотності, так і солодкості. Сік із грейпфруту є дуже кислим, його цукрово-кислотний індекс дорівнює лише 3,8.

У разі збільшення масової частки виноградного соку в купажах відбувається зростання цукрово-кислотного індексу в 6 разів, а яблучного соку – в 5 разів (рис. 3).

Для грейпфрутово-виноградних купажів за значенням цукрово-кислотного індексу найкращими є суміші з найменшою масовою часткою грейпфрутового соку. Це зразки 8 і 9: у відсотковому співвідношенні складників 20:80 і 10:90 відповідно.

У разі купажування грейпфрутового соку з яблучним значення цукрово-кислотного індексу є нижчим, ніж рекомендоване для яблучного соку.

Основною характеристикою при споживанні соків є смакові пріоритети споживачів. Соки, які були обрані для створення фреш-міксів, мають різні смаки: від дуже кислого – грейпфрутовий, до дуже солодкого – виноградний.

З метою порівняння сенсорних характеристик зразки отриманих купажів поділені на дві групи: купажі зі значним вмістом грейпфрутового соку (90–50%) – вони розглядалися як купажі, що покращують його смакові властивості; купажі соків з низьким вмістом грейпфрутового соку (40–10%), у цьому випадку останній підвищує біологічну цінність виноградного та яблучного соків.

Дегустацію отриманих фреш-міксів проводили в лабораторії сенсорного

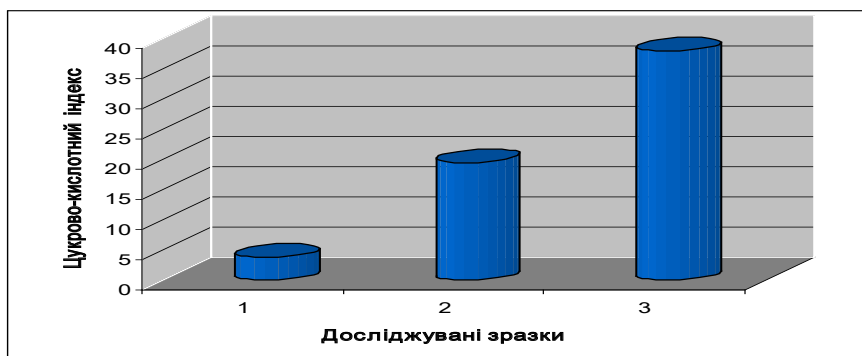


Рис. 2. Цукрово-кислотний індекс фреш-соків: 1 – грейпфрутовий, 2 – яблучний, 3 – виноградний

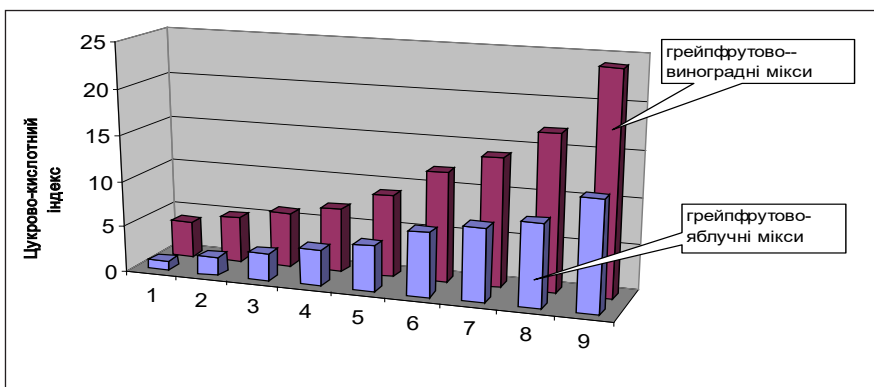


Рис. 3. Цукрово-кислотний індекс купажів. 1–9 зразки купажів (масова частка складників таблиці 1)

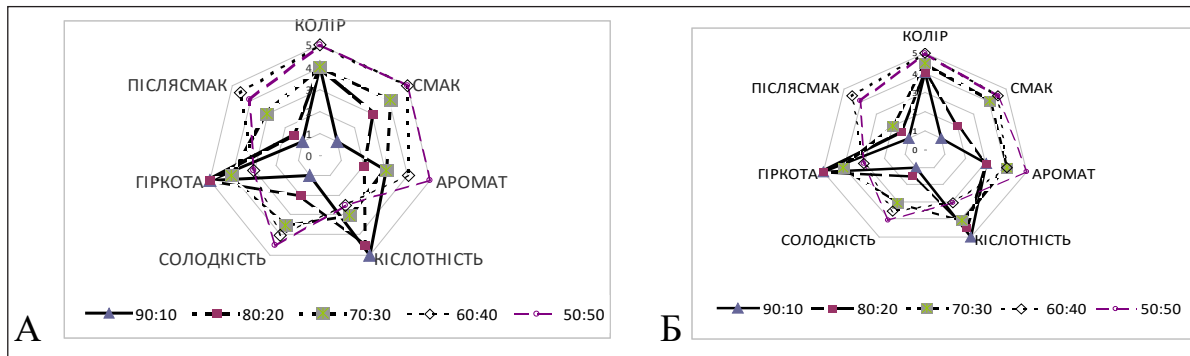


Рис. 4. Профілограма органолептичних показників грейпфрутово-виноградних (А) та грейпфрутово-яблучних (Б) фреш-міксів

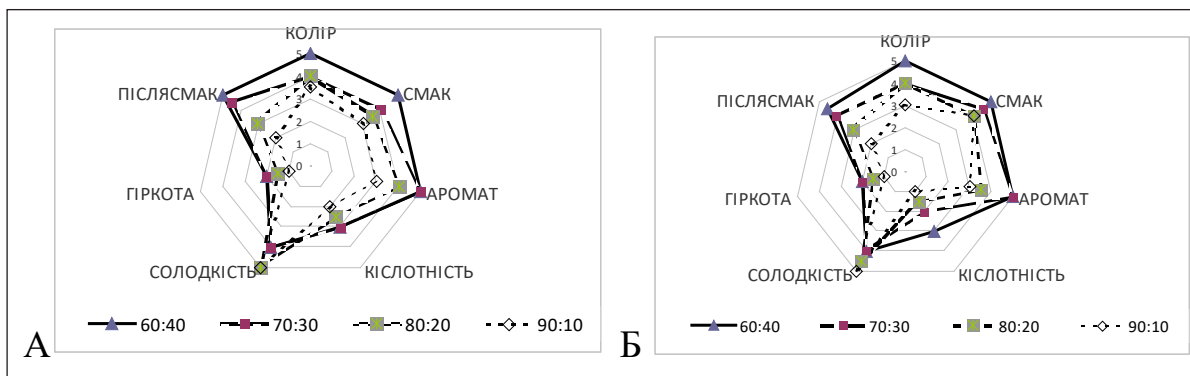


Рис. 5. Профілограма органолептичних показників виноградно-грейпфрутових (А) та яблучно-грейпфрутових (Б) фреш-міксів

аналізу Одеської національної академії харчових технологій профільним методом «флейвор». Головними критеріями якості обрані колір, смак, аромат, кислотність, солодкість, гіркота, післясмак. Оцінювання отриманих купажів проводили саме за цими показниками, використовуючи 5-бальну шкалу (0 – ознака відсутня; 1 – майже відчутна; 2 – досить відчутна; 3 – помірної інтенсивності; 4 – сильної інтенсивності; 5 – дуже сильної інтенсивності).

Дані дегустаційного оцінювання фреш-міксів першої групи, отримані на основі грейпфрутового соку, представлені на профілограмі (рис. 4 А, Б).

У разі купажування грейпфрутового соку з яблучним і виноградним соками відбувається поліпшення смакових якостей грейпфрутового соку, зменшується відчуття гіркої смаку, яке згладжується за рахунок збагачення соку цукрами більш солодких складників. Мікси набувають приємних змішаних ароматів грейпфруту й винограду або яблука.

Підрахунки загального дегустаційного оцінювання купажів показали переваги зразків з умістом грейпфрутового соку 70%, 60%, 50%, що мають значення цукрово-кислотного індексу

для грейпфрутово-виноградного 6,6; 8,2; 10,0, а для грейпфрутово-яблучного – 5,3; 6,3; 7,3 відповідно. Обрані фреш-мікси за смаковими якостями можна зарахувати до десертних напоїв з низьким цукрово-кислотним індексом.

Дані дегустаційного оцінювання фреш-міксів другої групи, отриманих на основі виноградного та яблучного соків із додаванням грейпфрутового, представлені на профілограмі (рис. 5 А, Б).

При купажуванні виноградного та яблучного соків із грейпфрутовим соком знижується надмірна солодкість виноградного соку, проте з'являються приємна гірчинка та післясмак. Мікси набувають приємних змішаних ароматів яблук винограду і грейпфруту.

Підрахунки загального дегустаційного оцінювання для виноградно-грейпфрутових купажів показали переваги зразків з умістом грейпфрутового соку 40%, 30%, що мають значення цукрово-кислотного індексу 11,0; 13,4, а для яблучно-грейпфрутових з умістом грейпфрутового соку 40%, 30%, 20%, що мають значення цукрово-кислотного індексу 8,2; 9,6; 12,3 відповідно.

На другому етапі досліджена біологічна активність фреш-соків грейпфруту, яблук, винограду

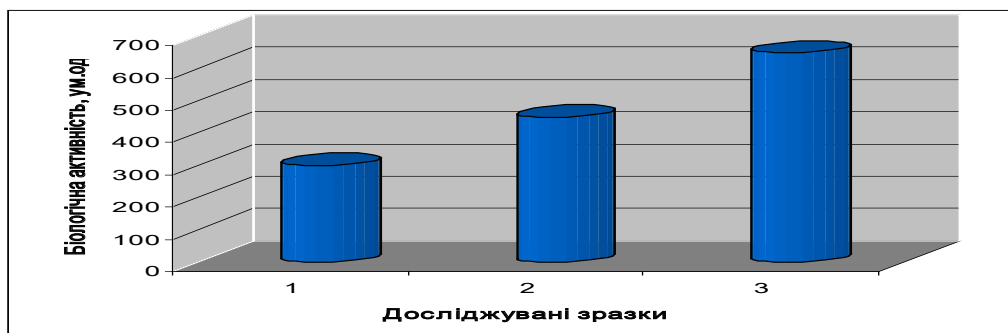


Рис. 6. Біологічна активність фреш-соків:
1 – грейпфрутовий, 2 – яблучний, 3 – виноградний

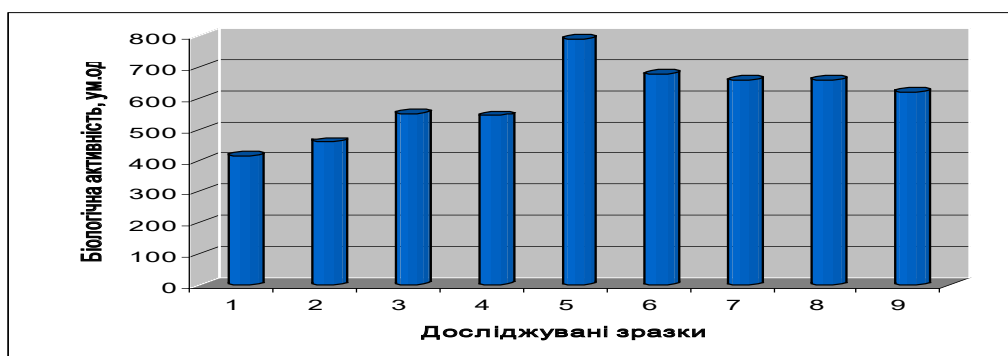


Рис. 7. Біологічна активність грейпфрутово-виноградних фреш-міксів:
1–9 зразки купажів (масова частка складників таблиці 1)



Рис. 8. Біологічна активність грейпфрутово-яблучного фреш-міксів:
1–9 зразки купажів (масова частка складників таблиці 1)

та їх купажів. Дані експерименту представлені на рис. 6, 7, 8.

Експериментальні дані визначення біологічної активності свідчать, що здатність біологічно активних речовин фреш-соків окислювати $NAD \cdot H_2$ до NAD є різною. Усі соки мають велику біологічну активність, оскільки швидкість перенесення електрону в системі $NAD \cdot H_2 - K_3Fe(CN)_6$ збільшується за їх наявності в 50–200 разів, що свідчить про наявність антиоксидантної дії рослин. Найбільшу біологічну активність має

виноградний сік – 650 у.о., та яблучний – 450 у.о., найменшу грейпфрутовий – 300 у.о.

У разі купажування соків з різної сировини можливі синергетичні й антагоністичні ефекти внаслідок взаємодії біологічно активних речовин складників, що спостерігаються під час визначення показника біологічної активності.

Результати варіантного аналізу залежності біологічної активності від відсоткового співвідношення соків грейпфрутового з виноградним і яблучним представлені на рис. 7, 8.

З експериментальних даних (рис. 7) встановлено, що в разі додавання в грейпфрутовий сік виноградного соку в кількості 10–40% (зразки 1–4) біологічна активність міксу збільшується у 1,38–1,83 рази щодо активності грейпфрутового соку. При співвідношенні складників 50:50% (зразок 5) спостерігається синергетичний ефект, біологічна активність купажу становить 750 у.о. Ефект антагонізму в цьому випадку не зафіксовано.

У разі додавання грейпфрутового соку до виноградного соку в кількості 10–40% (зразки 9–6) відбувається зовсім незначне підвищення біологічної активності виноградного соку (у 1,04–1,02 рази). У випадку співвідношення складників 90:10% зафіксовано ефект антагонізму: біологічна активність купажу на 5% знижується порівняно з чистим виноградним соком.

У разі купажування грейпфрутового соку з яблучним у відсотковому співвідношенні яблучного соку в купажі 10–50% (зразки 1–5) збільшення біологічної активності відбувається не так значно, як у попередньому купажуванні з виноградним соком (рис. 8). Так, біологічна активність купажів збільшилась у 1,28–1,65 разів порівняно з грейпфрутовим соком.

У разі купажування яблучного та грейпфрутового соків встановлено ефект антагонізму: при відсотковому співвідношенні складників 90:10% (зразок 9) біологічна активність становила 240 у.о, ефект синергізму при співвідношенні складників 60:40% (зразок 6) – біологічна активність становила 1075 у.о. В останніх випадках при співвідношенні складників 70:30 і 80–20% біологічна активність соку зростає незначно – у 1,07 та 1,06 рази відповідно.

З обраних зразків фреш-міксів за органолептичними показниками найбільшу біологічну активність має яблучно-грейпфрутовий мікс, при відсотковому співвідношенні складників 60:40 – 1075 у.о., а для грейпфрутово-виноградного міксу при співвідношенні складників 50:50 – 785 у.о.

Висновки. Використання різних підходів до оцінювання якості купажованих соків визначає комплексний підхід до створення якісних продуктів оздоровчого та профілактичного спрямування. Встановлення залежності цукрово-кислотного індексу і смакових якостей дає змогу підібрати оптимальне співвідношення компонентів суміші соків для отримання продуктів високої якості з позицій органолептики.

У результаті купажування грейпфрутового соку з виноградним і яблучним соками значно покращуються його смакові якості: знижується кислотність, зменшується відчуття гіркого смаку, яке згладжується за рахунок збагачення соку цукрами більш солодких складників. Окрім цього, відбувається підвищення біологічної активності грейпфрутового соку в 1,28 рази при купажуванні з яблучним і в 1,65 разів при купажуванні з виноградним. Ці купажі рекомендуються як десертні напої.

Унаслідок купажування при взаємодії біологічно активних речовин можливі прояви антагоністичних і синергетичних ефектів.

У разі додавання грейпфрутового соку до яблучного та виноградного соків біологічна активність останніх підвищується незначно, а в деяких випадках зафіксований антагоністичний ефект (при співвідношенні складників 10:90%).

У разі купажування грейпфрутового соку з яблучним і виноградним соками встановлений ефект синергізму: для яблучно-грейпфрутового міксу при відсотковому співвідношенні складників 60:40% – 1075 у.о.; для грейпфрутово-виноградного міксу при співвідношенні складників 50:50% – 785 у.о.

Тому застосування показника біологічної активності в розробці рецептурного складу фреш-міксів дає змогу не лише обрати найліпший варіант за органолептичними показниками та вмістом біологічно активних речовин, а й отримати продукт найбільш цінний із фізіологічного погляду.

Список літератури:

1. Давиденко Б.Г. Аналіз ринку соків в Україні. URL: <https://works.doklad.ru/view/bVfJpP479lo.html> (дата звернення: 03.07.2018).
2. URI: <http://www.ukrstat.gov.ua> – Офіційний Інтернет-сайт Державного комітета статистики України (дата звернення: 17.07.2018).
3. URI: <http://www.cocktailsbook.com/category/sok-grejpfruta/> (дата звернення: 01.06.2018).
4. URI: http://smoothie.ru/recipes/fruktovie_smuzi/greipfrutovii_sok/ (дата звернення: 01.06.2018).
5. Determination of sugars, organic acids, aroma components, and carotenoids in grapefruit pulps / H. Zheng, Q. Zhang, J. Quan, Q. Zheng, W. Xi. Food Chem. 2016. Aug 15. P. 112–121.
6. Нихарадзе Етери. Проблема фальсификации цитрусовых соков и методы ее обнаружения: монография / Государственный университет Шота Руставели. Батуми, 2011. С. 198.
7. Караматов И.Д. Простые лекарственные средства. Бухара, 2012.

8. Антиоксидантная активность цитрусовых плодов / Н.В. Макарова, А.В. Зюзина, Ю.И. Мирошкина. Известия вузов. Пищевая технология. 2010. № 1. С. 5–8.

9. Owira P.M., Ojewole J.A. The grapefruit: an old wine in a new glass? Metabolic and cardiovascular perspectives. Cardiovasc. J. Afr, 2010, Sep-Oct. № 21 (5). 280–285.

10. Phenolic compositions and antioxidant activities of grapefruit (*Citrus paradise* Macfadyen) varieties cultivated in China / W. Xi, G. Zhang, D. Jiang, Z. Zhou. Int. J. Food Sci. Nutr. 2015. № 66 (8). P. 858–866.

11. Phytochemical, antimicrobial, and antioxidant activities of different citrus juice concentrates / E.I. Oikeh, E.S. Omoregie, F.E. Oviasogie, K. Oriakhi. Food Sci. Nutr. 2015. Jul 30. № 4 (1). P. 103–109.

12. Harapu C.D., Miron A., Cuciureanu M., Cuciureanu R. [Flavonoids –bioactive compounds in fruits juice] – Rev. Med. Chir. Soc. Med. Nat. Iasi. 2010, Oct-Dec., 114 (4). С. 1209–1214.

13. Кипиани Н.Д., Саникид зе Д.Д. Новости в селекции грейпфрута. Экономика: экономика и сельское хозяйство. 2018. № 3 (27). URL: <http://aeconomy.ru/science/agro/novosti-v-selektsiiigreyppfruta/>.

14. Naringin promotes osteoblast differentiation and effectively reverses ovariectomy-associated osteoporosis / N. Li, Y. Jiang, P.H. Wooley, Z. Xu, S.Y. Yang. J. Orthop. Sci, 2013, May. № 18 (3). P. 478–485.

15. Up-regulation of PPAR γ , heat shock protein-27 and -72 by naringin attenuates insulin resistance, β -cell dysfunction, hepatic steatosis and kidney damage in a rat model of type 2 diabetes / A.K. Sharma, S. Bharti, S. Ojha, J. Bhatia, N. Kumar, R. Ray, S. Kumari, D.S. Arya. Br. J. Nutr. 2011, Dec. № 106 (11). P. 1713–1723.

16. Roulet L., Asseray N., Mottier M.L., Chiffolleau A., Potel G., Lapeyre-Mestre M., Ballereau F. [Grapefruit consumption and food-drug interaction hazard] – Therapie 2011, Sep-Oct. № 66 (5). P. 421–429.

17. A naringenin-tamoxifen combination impairs cell proliferation and survival of MCF-7 breast cancer cells / T. Hatkevich, J. Ramos, I. Santos-Sanchez, Y.M. Patel. Exp. Cell. Res. 2014. Oct 1. № 327 (2). P. 331–339.

18. Антирадикальная активность фруктовых соков в реакции с дефинилликрилгидразилом / Н.И. Белая, А.Н. Николаевский, Т.Н. Ивлева, О.Г. Шептура. Химико-аналитический журнал. 2009. Том 43. № 6. С. 32–35.

19. Вяткин А.В., Чугунова О.А. Напитки антиоксидантной направленности как метод борьбы с окислительным стрессом. Известия вузов. Серия «Прикладная химия и биотехнология». 2016. Т. 6. № 4. С. 119–126.

20. Тарун Е.И., Дудук В.И. Антиоксидантная активность цитрусовых плодов. Экологический вестник. 2017. № 1 (39). С. 53–58.

21. Велинский Н.Н., Пархомец П.К. Роль окислительно-восстановительного состояния никотинамидных коферментов в регуляции клеточного метаболизма. Витамины. 1976. Вып. 9. С. 3–15.

22. 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 107506 С2, МПК G 01N 33/00 (2015.01), заява 04.03.2013; опубл. 12.01.2015; Бюл. № 1/2015.

23. Осипова З.Ф. Соки из плодов и ягод. Тула: Приокское кн. изд-во, 1986. 63 с.

СОК ГРЕЙПФРУТА КАК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ФРЕШ-МИКСОВ

*Фреш-соки из различного растительного сырья благодаря содержанию полезных биологически активных веществ популярны у потребителей, которые стремятся к здоровому питанию. Особую популярность имеют фреш-соки из цитрусовых плодов, ярким представителем которых является грейпфрут (*Citrus paradisi*). Нежную мякоть плода и сок используют как дополнительный компонент в составе слабоалкогольных коктейлей, смузи, желеобразных десертов, для придания блюдам и напиткам специфических вкусовых качеств. Сок грейпфрута вследствие своих уникальных вкусовых и химико-биологических особенностей позволяет рассматривать его как источник биологически активных соединений и получать на его основе напитки профилактического направления с повышенной биологической активностью. В статье приведены результаты исследований по применению показателя биологической активности в разработке рецептурных составляющих фреш-миксов, полученных из грейпфрутового, яблочного и виноградного соков. Изучены химические и физико-химические показатели фреш-миксов и их составляющих. Проведен сенсорный анализ полученных купажей в соответствии с методом «флейвор», отобраны образцы с лучшими вкусовыми качествами. Выявлены синергетический и антагонистический эффекты межмолекулярного взаимодействия биологически активных веществ составляющих фреш-миксов. По показателю биологической активности выбраны образцы наиболее ценные с физиологической точки зрения.*

Ключевые слова: фреш-соки, купажирование, антиоксиданты, биологическая активность, синергизм, антагонизм.

GRAPEFRUIT JUICE AS A BIOLOGICALLY ACTIVE PART OF FRESH-MIXES

*Fresh juices from various vegetable raw materials due to the content of useful biologically active substances are popular among the consumers who aspire to keep a healthy diet. Especially are popular fresh juices from citrus fruits, bright representative of which is a grapefruit (*Citrus paradisi*). Delicate pulp of fruit and juice are very commonly used as an additional ingredient for low-alcohol cocktails, smoothies, gelatinous desserts, to provide the dishes a specific taste qualities. Grapefruit juice due to its unique characteristics, as flavor and chemico-biological, allows to consider it as a source of biologically active compounds, and to receive on its basis drinks of prophylactic direction with a high biological activity. The results of researches on the use of indicator of biological activity during the development of prescription composition of fresh-mixes obtained from grapefruit, apple and grape juice are presented. The chemical and physico-chemical parameters of fresh mixes, and their constituents, were studied. The sensory analysis of the obtained blends according to the "flavour" method were carried out, and the best samples were selected according to the taste properties. The synergetic and antagonistic effects of an intermolecular interaction of biologically active substances of the components of selected fresh mixes were revealed. According to the indicator of biological activity selected samples are the most valuable from the physiological point of view.*

Key words: *fresh juices, blending, antioxidants, biological activity, synergism, antagonism.*

УДК 504.5:628.33

Гомеля Н.Д.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Иванова В.П.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Иваненко Е.И.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Галимова В.М.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАРОМЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ В ПРОЦЕССАХ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В статье исследованы процессы извлечения тяжелых металлов из разбавленных растворов с использованием обратноосмотической мембраны Filmtec TW 30-1812-50. Показано, что при фильтровании раствора сульфата меди с концентрацией меди от 2 мг/дм³ до 5 мг/дм³ удалось достичь полного ее извлечения. Установлена зависимость продуктивности мембраны от степени отбора пермиата. Селективность мембраны по ионам цинка и никеля составила 60,51–80,74% и 71–95% соответственно. При использовании комплексона удалось достичь эффективного извлечения кадмия, селективность мембраны составила 91–95%. Данную методику можно использовать при концентрировании проб для анализа содержания кадмия в воде.

Ключевые слова: обратный осмос, тяжелые металлы, мембрана, пермиат, концентрат.

Постановка проблемы. В настоящее время остро стоит проблема загрязнения окружающей среды ионами тяжелых металлов. Кроме токсического воздействия на живые и растительные организмы, ионы металлов имеют тенденцию к накоплению в пищевых цепях, что усиливает их опасность для человека. Попадая в водоемы, они длительное время находятся в наиболее опасной ионной форме и, даже переходя в связанное состояние (коллоидную форму, донные осадки или другие малорастворимые соединения), продолжают представлять потенциальную угрозу для биологических объектов [1, с. 19]. Тяжелые металлы при избыточном попадании в объекты окружающей среды ведут себя как токсиканты и экотоксиканты, негативное воздействие которых проявляется уже при низких концентрациях. Специалистами по охране природных ресурсов среди металлов-токсикантов выделена приоритетная группа. В нее входят кадмий, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, цинк и хром как наиболее опасные металлы для здоровья чело-

века и животных. Из них ртуть, свинец и кадмий наиболее токсичны [2, с. 183].

Анализ последних исследований и публикаций. Для удаления ионов тяжелых металлов из водных сред чаще всего используют химическое осаждение, ионный обмен, сорбцию на природных и синтетических материалах, а также мембранные и электрохимические методы. В качестве сорбентов часто используют углеродные сорбенты, кремнеземы, золы, карбонатсодержащие техногенные отходы, а также угли, полученные при сжигании твердых органических отходов. Недостатком донных методов является образование большого количества высокотоксичных элюатов, которые необходимо подвергать дополнительному обезвреживанию и утилизации. Кроме того, возникает проблема и по утилизации отработанного сорбционного материала [3, с. 128]. Привлекают методы ионного обмена с использованием природных и синтетических материалов. Основным недостатком метода является необходимость подачи на ионообменные установки сточных вод, предвари-

тельно очищенных от взвешенных веществ, ионов железа и других органических веществ, и с малой временной жесткостью, а также образование после регенерации растворов, которые необходимо подвергать дополнительному обезвреживанию. Среди электрохимических методов наибольшее распространение получили электрокоагуляция, электрофлотация и гальванокоагуляция, которые характеризуются высокой производительностью и малой чувствительностью к изменениям условий проведения процесса очистки. Необходимо отметить, что данные методы не всегда обеспечивают требуемую степень очистки при снижении концентрации ионов в растворе, что сопровождается увеличением энергетических затрат [4, с. 9; 5, с. 102]. Широкое применение получили мембранные методы, основанные на контакте раствора, который подлежит разделению, с полупроницаемой мембраной с одной ее стороны. Так обратноосмотический метод используется для глубокой очистки и деминерализации воды. Обратноосмотические мембраны по селективным свойствам самые избирательные и эффективные по коэффициенту разделения растворов. У них самые малые поры. Средний процент задерживания обратноосмотическими мембранами – 97–99% всех растворенных веществ. Как правило, они используются в этапах доочистки природной и сточной воды [6, с. 195; 7, с. 348].

Нерешенной частью научной проблемы является изучение процессов очистки воды от тяжелых металлов и их концентрирования при фильтровании растворов через обратноосмотическую мембрану. Известно, что на поверхности мембраны задерживается значительное количество не только ионов жесткости, но и ионов натрия, калия и других однозарядных катионов и анионов. Поэтому концентрирование ионов тяжелых металлов из растворов в природных, водопроводных или сточных водах является более сложной проблемой.

Постановка задачи. Целью работы является оценка эффективности обратноосмотической мембраны в процессах извлечения и концентрирования тяжелых металлов из разбавленных растворов.

Изложение основного материала исследования. При изучении процессов обратноосмотического извлечения ионов меди из разбавленных водных растворов использовали растворы сульфата меди объемом 5–15 дм³ с концентрацией меди от 2 мг/дм³ до 5 мг/дм³. Концентрацию тяжелых металлов определяли с помощью метода инверсионной хронопотенциометрии [8, с. 680].

Растворы фильтровали через мембрану низкого давления Filmtec TW 30-1812-50. Как видно из рис. 1,

при концентрации меди 1,00–4,75 мг/дм³ и рабочем давлении 0,3 МПа достигнуто полное извлечение меди из воды.

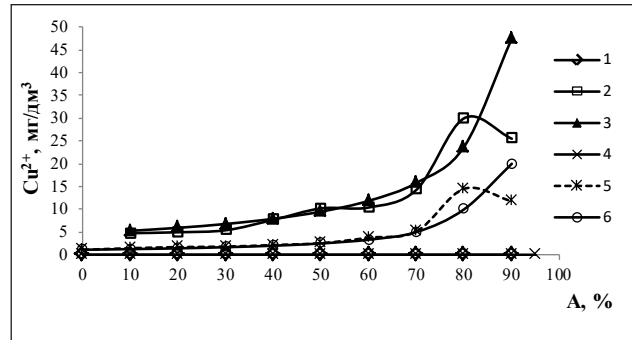


Рис. 1. Зависимость концентрации ионов меди в пермиате (1, 2), в концентрате (3, 4), теоретически рассчитанной в концентрате (5, 6) от степени отбора пермиата при фильтровании раствора сульфата меди в дистиллированной воде с концентрацией меди 4,75 (1; 3, 5) и 1,0 (2, 4, 6) мг/дм³ (P = 0,3 МПа) через обратноосмотическую мембрану низкого давления Filmtec TW 30-1812-50

При этом при фильтровании растворов до степени отбора пермиата 70% практически полностью совпадали значения концентрации ионов меди в концентратах с теоретически рассчитанными. В предпоследней пробе отмечено повышение концентрации меди в концентрате, по сравнению с расчетным значением. Скорее всего, это связано с вымыванием ионов меди с примембранного слоя вследствие концентрационной поляризации.

О концентрировании ионов меди на мембране можно судить по снижению производительности мембраны с повышением степени отбора пермиата (рис. 2). Снижение производительности при степени отбора пермиата 90% достигает ~3 дм³/м²·ч. Селективность мембраны при этом была неизменной и составляла 100%.

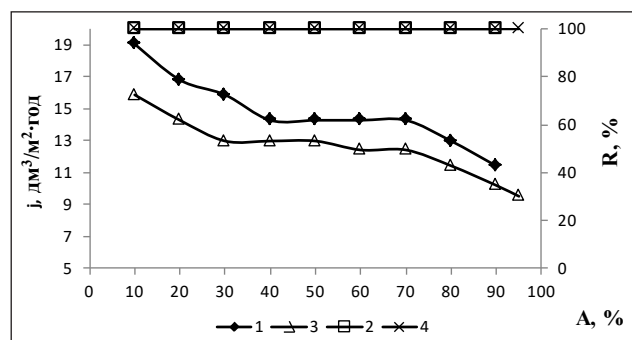


Рис. 2. Зависимость производительности (1, 2) мембраны низкого давления Filmtec TW 30-1812-50 и ее селективности (3, 4) по ионам меди от степени отбора пермиата при фильтровании раствора сульфата меди в дистиллированной воде с концентрацией меди 4,75 (1, 3) и 1,0 (2, 4) мг/дм³ (P = 0,3 МПа)

Подобные результаты получены при фильтровании раствора меди в дистиллированной воде с концентрацией по Cu^{2+} 2,54 мкг/дм³. В данном процессе также достигнуто полное извлечение ионов меди из воды. При этом реальные концентрации меди в концентрате практически совпадали с теоретически рассчитанными значениями до степени отбора пермиата 70%. В данном случае также наблюдалось значительное снижение производительности мембраны, что можно объяснить процессами гелеобразования на мембране.

Для предотвращения гелеобразования на мембране в исходный раствор добавляли трилон Б с концентрацией 5 ммоль/дм³. Необходимо отметить, что при использовании комплексона производительность мембраны практически такая же, как и без использования комплексонов.

При извлечении ионов цинка, кадмия и никеля из водопроводной воды происходило значительное ее умягчение. Кроме того, даже при использовании комплексона – оксиэтилендиенфосфоновой кислоты (ОЭДФК) не достигнуто полного извлечения ионов тяжелых металлов. Так, при извлечении ионов цинка из водопроводной воды при начальных концентрациях цинка 0,1687 мг/дм³ и 0,1625 мг/дм³ при дозе ОЭДФК 50 мг/дм³ концентрация цинка в процессе ионного обмена снижалась до 32–66 мкг/дм³, жесткость снижалась до 0,12–0,40 мг-экв/дм³ (рис. 3).

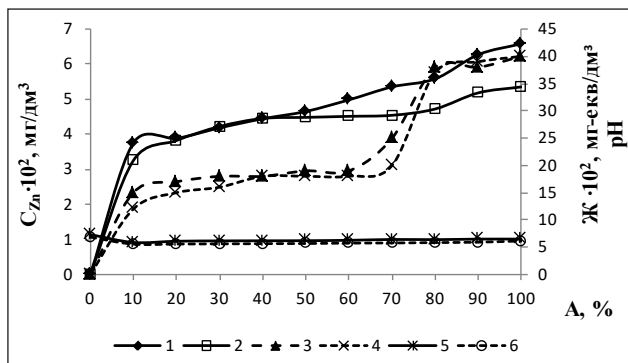


Рис. 3. Зависимость концентрации ионов цинка (1, 2) и жесткости (3, 4) в пермиате и pH (5, 6) от степени отбора пермиата при фильтровании растворов через обратноосмотическую мембрану низкого давления Filmtec TW 30-1812-50 с концентрацией цинка 0,1625 мг/дм³ (1, 3, 5) (pH = 7,32, Ж = 5,00 мг-экв/дм³) и 0,1687 мг/дм³ (2, 4, 6) (pH = 6,85, Ж = 5,50 мг-экв/дм³) (P = 0,4 МПа) при использовании комплексона ОЭДФК с концентрацией 50 (2, 4, 6) мг/дм³

Однако в данном случае получено высокий уровень соответствия реального химического состава концентратов теоретически расчи-

танному. Это касается как концентрации ионов цинка, так и концентрации ионов жесткости. В случае ионов цинка максимальное отклонение реальных концентраций от рассчитанных составляло 0,065 мг/дм³ (относительная погрешность 36%), среднее отклонение – 0,001 мг/дм³ (относительная погрешность 2%).

Продуктивность мембраны падала с увеличением степени отбора пермиата. Селективность мембраны по ионам цинка достигала 60,51–80,74%, по ионам жесткости ~ 99,6%. Несмотря на относительно хорошее соответствие реального и теоретически рассчитанного состава концентратов, учитывая низкую селективность мембраны по цинку, данную методику нецелесообразно применять в процессах концентрирования цинка для повышения точности химического анализа.

Подобные результаты получены при извлечении никеля из водопроводной воды. В процессе извлечения ионов никеля с исходной концентрацией никеля 0,1582 мг/дм³ концентрация в пермиате снизилась до 9–45 мкг/дм³. При использовании комплексона НТМФК с концентрацией 50 мг/дм³ остаточная концентрация никеля составила 8,5–25,2 мкг/дм³. Скорее всего, эффективному извлечению ионов никеля мешают гидрокарбонат ионы и ионы жесткости. Учитывая низкую селективность мембраны по ионам никеля (71–95%), данную методику также не рекомендуется использовать при концентрировании данных ионов из разбавленных растворов.

Достаточно сложной и важной на сегодняшний день является проблема очистки воды от ионов кадмия. Исходя из его высокой токсичности и канцерогенных свойств, сегодня действующие с 2010 года на Украине санитарные нормы и правила регламентируют содержание кадмия на уровне 1 мкг/дм³ и ниже. Большинство существующих технологий не обеспечивают необходимый уровень очистки. Поэтому важно проверить эффективность бытового обратноосмотического фильтра при очистке воды от кадмия.

Как видно из рис. 4, остаточные концентрации кадмия в пермиате без использования комплексона ОЭДФК достигают 5,150–40,50 мкг/дм³, что в разы превышает допустимый уровень. При использовании ОЭДФК в концентрации 50 мг/дм³ уровень концентраций кадмия в пермиате достигает 4,3–9,4 мкг/дм³, что в 4–9 раз выше допустимого. Но это при исходных концентрациях кадмия 101–127 мкг/дм³.

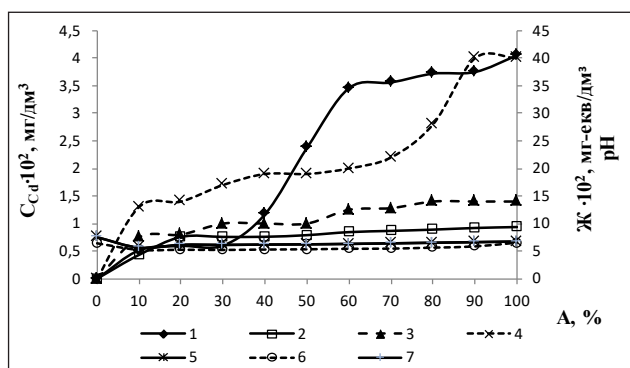


Рис. 4. Залежність концентрації іонів кадмія (1, 2) та жорсткості (3, 4) в перміаті та рН (5, 6) від ступеня отбору перміату при фільтруванні розчинів через оберотноосмотичну мембрану низького тиску Filmtec TW 30-1812-50 з концентрацією кадмія 0,1273 мг/дм³ (1, 3, 5) (рН = 7,52, Ж = 4,64 мг-екв/дм³) і 0,1012 мг/дм³ (2, 4, 6) (рН = 6,42, Ж = 4,40 мг-екв/дм³) (Р = 0,4 МПа) при використанні комплексу ОЕДФК з концентрацією 50 (2, 4, 6) мг/дм³

Если исходные концентрации будут на порядок ниже, то при селективности 91–95% для случая с использованием ОЕДФК остаточные концентрации кадмия будут близки к 1 мкг/дм³.

Очевидно, для полного извлечения ионов кадмия исходный раствор необходимо предварительно профильтровать перед обратным осмосом через анионообменный фильтр.

При концентрировании ионов кадмия и ионов жесткости на обратноосмотической мембране Filmtec TW 30-1812-50 уровень реальных концентраций кадмия в концентрате отклоняется от теоретически рассчитанного не более чем на 9%. При селективности мембраны 91–95% данные результаты являются вполне удовлетворительными, а метод может быть использован при концентрировании проб для анализа содержания кадмия в воде.

Выводы. Показано, что обратноосмотическая мембрана низкого давления Filmtec TW 30-1812-50 обеспечивает высокую эффективность очистки от ионов тяжелых металлов. Селективность мембраны при фильтровании растворов металлов была высокой, производительность мембраны падала с увеличением степени отбора пермиата. Установлено, что использование комплексонов не повлияло на производительность мембраны при извлечении ионов меди, цинка, никеля и кадмия.

При очистке водопроводной воды от ионов цинка и никеля остаточные их концентрации удалось снизить до норм ПДК. Несмотря на соответствие реального и теоретически рассчитанного состава концентратов, данную методику целесообразно использовать для повышения точности анализа по данным металлам.

При извлечении ионов кадмия селективность мембраны составила 91–96%.

Список литературы:

1. Алексеева А.А., Шайхiev И.Г., Степанова С.В. Очистка вод от ионов тяжелых металлов биосорбционными материалами на основе опала листовных деревьев. Известия уфимского научного центра Ран. 2015. № 3. С. 19–30.
2. Тепла Г.А. Важкі метали як фактор забруднення навколишнього середовища. Астраханський вісник екологічної освіти. 2013. Т. 23. № 1. С. 182–192.
3. Strategies based on silica monoliths for removing pollutants from wastewater effluents: A review / D. Rodrigues, T.A.P. Rocha-Santos, A.C. Freitas, A.M.P. Gomes, A.C. Duarte. Science of The Total Environment. 2013. V. 461–462. № 9. P. 126–138.
4. Никифорова Л.О., Белопольский Л.М. Влияние тяжелых металлов на процессы биохимического окисления органических веществ: теория и практика. Москва, 2007. 78 с.
5. Филатова Е.Г. Обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах. Известия вузов. Серия «Прикладная химия и биотехнология». 2015. № 2 (13). С. 97–109.
6. Свитцов А.А. Введение в мембранные технологии. Москва, 2007. 280 с.
7. Развитие мембранных технологий и возможность их применения для очистки сточных вод предприятий химии и нефтехимии / А.Г. Баландина, Р.И. Хангильдин, И.Г. Ибрагимов, В.А. Мартяшева. Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2015. № 5. С. 336–375.
8. Определение тяжелых металлов в водных экосистемах методом инверсионной хронопотенциометрии / И.В. Суровцев, В.М. Галимова, В.М. Манк, В.А. Копилевич. Химия и технология воды. 2009. Т. 31. № 6. С. 677–687.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БАРОМЕМБРАННИХ МЕТОДІВ У ПРОЦЕСАХ ГЛИБОКОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

У статті досліджено процеси вилучення важких металів із розбавлених розчинів з використанням зворотноосмотичної мембрани Filmtec TW 30-1812-50. Показано, що під час фільтрування розчину сульфату міді з концентрацією міді від 2 мкг/дм³ до 5 мг/дм³ вдалося досягти повного її вилучення. Установлено залежність продуктивності мембрани від ступеня відбору перміату. Селективність мембрани по іонах цинку й нікелю становить 60,51–80,74% і 71–95% відповідно. При використанні комплексона вдалось досягти ефективного вилучення кадмію, селективність мембрани становила 91–95%. Цю методику можна використовувати під час концентрування проб для аналізу вмісту кадмію у воді.

Ключові слова: зворотній осмос, важкі метали, мембрана, перміат, концентрат.

EFFICIENCY OF USING BAROMEMBRANE METHODS IN THE PROCESSES OF DEEP WATER TREATMENT FROM IONS OF HEAVY METALS

The processes of heavy metals extraction from dilute solutions using the reverse osmosis membrane Filmtec TW 30-1812-50 were studied. It was shown when the copper sulfate solution was filtered with copper concentration from 2 µkg/dm³ to 5 mg/dm³, it was possible to achieve its full extraction. The dependence of the membrane productivity on the degree of permiate selection was established. The membrane selectivity for zinc and nickel ions amounted to 60.51 to 80.74% and 71 to 95%, respectively. With the use of complexone, it was possible to achieve an effective recovery of cadmium, the membrane selectivity was 91–95%. This technique can be used in concentrating samples for the analysis of cadmium content in water.

Key words: reverse osmosis, heavy metals, membrane, permiate, concentrate.

УДК 628.161.2: 628.31: 628.16.094:621.359.7

Гомеля М.Д.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Петриченко А.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Шаблій Т.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ АМОНІЮ З ВОДИ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ**

У статті досліджено процеси електрохімічного окислення іонів амонію у двокамерному електролізері. Проведено оцінювання ефективності процесу залежно від складу вихідного розчину та катодної щільності струму й часу електролізу. Показано, що хлориди в аноліті навіть у незначних концентраціях каталізують процеси окислення амонію. Водночас підвищення концентрації сульфатів у розчині призводить до сповільнення деструкції аміаку. При цьому спостерігається збільшення витрат електроенергії.

Ключові слова: іони амонію, електроліз, анодне окислення, окислювально-відновлювальні процеси, вихід речовини за струмом, питома електропровідність.

Постановка проблеми. У природних водах сполуки азоту представлені іонами амонію, нітритами та нітратами. Їх наявність у водах зумовлена розкладанням органічних речовин тваринного й рослинного походження. Крім того, іони амонію потрапляють у природні води з промисловими стоками.

У ДСанПіН 2.2.4-171-10 [1] для водопровідної води встановлено, що вміст амонію не повинен перевищувати 0,5 мг/дм³.

Всесвітня організація охорони здоров'я вміст амонію в питній воді не нормує, так як не визначено шкідливого впливу цього іону на здоров'я людини. Проте зазначається, що при його концентраціях, більших за 1,5 мг/дм³, спостерігається погіршення запаху води, а при концентраціях, більших за 35 мг/дм³, – погіршення смаку води.

Стандартами США вміст амонію в питній воді також не нормується. Але для країн ЄС концентрація іонів амонію в питній воді не повинна перевищувати 0,5 мг/дм³.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На тепер найчастіше для вилучення іонів амонію з води застосовують реагентні [2, с. 881; 3, с. 395; 4, с. 116; 5, с. 413; 6, с. 297; 7, с. 2741; 8, с. 1; 9, с. 463], сорбційні [10, с. 115; 11, с. 380; 12, с. 93], іонообмінні [13, с. 351; 14, с. 264] та біологічні [15, с. 667; 16, с. 165; 17, с. 308; 18, с. 840; 19, с. 144] методи. Усі ці методи мають переваги та недоліки.

Наприклад, біологічні методи добре себе зарекомендували під час очищення стічних вод при певних концентраціях необхідних біогенних речовин і мікроелементів. Проте для очищення природних вод, які містять незначні концентрації амонію, ці методи складно застосовувати. Крім того, біологічні методи вимагають тривалого часу обробки.

Реагентні методи ефективні лише при очищенні стічних вод, які характеризуються високими концентраціями амонію. Проте цей процес супроводжується значними витратами реагентів і, відповідно, вторинним забрудненням води.

Для вилучення іонів амонію з природних вод краще використовувати іонний обмін. Проте під час очищення природних вод, що містять у значних концентраціях іони жорсткості, за умови, що їх повне пом'якшення не потрібно, іонообмінне очищення води від амоній-іонів неефективне.

Застосування сорбційних методів з використанням природних сорбентів також має низку обмежень, а саме: дуже повільний процес, велика тривалість контакту води із сорбентом, мала сорбційна ємність при низьких концентраціях амонію у воді, малоефективне очищення в динамічних умовах.

У разі використання електродіалізу або зворотного осмосу [20] виникають проблеми з утилізацією утворених концентратів.

Зміна концентрації іонів NH_4^+ та рН в аноліті двокамерного електролізера (мембрана МА-41) від часу електролізу NH_4Cl у розчині водопровідної води та концентрації луку в католіті 50 мг-екв/дм³ (0,05 Н) (щільності струму 431 А/м²)

№ з/п	Час, τ, хв.	Аноліт		рН	Сила струму, I, А	Напруга, U, В	Вихід за струмом, В, %
		[Cl ⁻], мг/дм ³	[NH ₄ ⁺], мг/дм ³				
1	0	100	50,0	5,6	–	–	–
2	30		8,0	2,0	0,5	40	5,56
3	60		0,0	2,0	0,5	30	3,31
4	80		0,0	3,0	0,5	50	0,00
1	0	2088	1000,0	5,4	–	–	–
2	30		590,0	2,0	0,5	14	54,30
3	60		175,0	2,0	0,5	15	54,63
4	90		8,6	2,0	0,5	26	43,76
5	120		0,0	2,0	0,5	45	33,11

На основі аналізу наукових публікацій останніми роками встановлено, що справді ефективних методів видалення іонів амонію з води є дуже мало.

Серед перспективних сучасних методів видалення амонію з води є електрохімічний метод. Застосування електрохімічних методів призводить до вилучення сполук азоту [21, с. 17] з використанням ємнісної деіонізації, при якій амоній виділяється з води та концентрується завдяки різниці концентрацій між електродними камерами й робочою камерою. Проте невивченими залишаються процеси електрохімічного окислення амонію. Тому дослідження, проведені в роботі, є вчасними й актуальними.

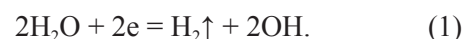
Постановка завдання. Метою роботи є дослідження процесів електрохімічного окислення амонію в двокамерному електролізері залежно від складу вихідного розчину та концентрації луку в католіті, часу електролізу, щільності струму.

Виклад основного матеріалу дослідження. Першим етапом роботи є визначення ефективності очищення води від амонію в двокамерному електролізері, в якому катодна та анодна ділянки розділені аніонною мембраною МА-41. Для цього використовували розчини хлориду амонію з концентраціями по амонію 50 та 1000 мг/дм³. При цьому концентрація хлоридів в аноліті сягала 100 та 2088 мг/дм³ (таблиця 1). У катодній камері розміщували 0,1 Н розчин луку. Щільність струму становила близько 431 А/м² (I=0,5 А). Напруга в менш концентрованому розчині коливалась у межах 30–50 В, а в більш концентрованому – 14–45 В. Це пов'язано зі зниженням електропровідності в менш концентрованих розчинах.

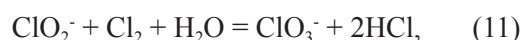
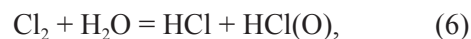
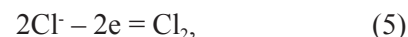
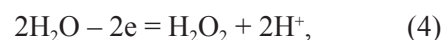
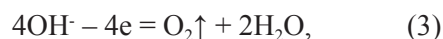
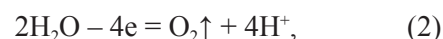
Як видно з таблиці 1, при концентраціях 100 та 2088 мг/дм³ досягнуто повне очищення води від іонів амонію. Зменшення концентрації іонів

амонію відбувалось за рахунок окислення азоту в молекулах аміаку киснем, перекисними сполуками, сполуками окисленого хлору, які утворюються на аноді. Вихід за струмом по окисленому азоту в більш концентрованому розчині майже на порядок вищий, ніж у розведеному розчині. Це пов'язано зі зниженням виходу по окисленому азоту в розведеному розчині та витратами енергії на синтез значного надлишку окислювальних агентів на аноді.

У двокамерному електролізері можливе проходження окислювально-відновних реакцій. На катоді головним чином відбувається утворення водню та гідроксид аніонів під час відновлення води:



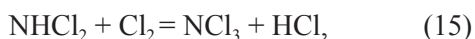
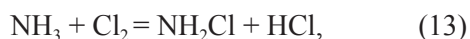
На аноді можливе утворення таких сполук:



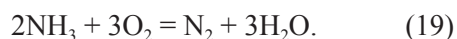
У лужному або нейтральному середовищі проходять в основному реакції 1–4, а в нейтральному, кислому та слабокислому середовищі краще

проходять реакції 5–11, хоча утворення ClO^- , ClO_2^- та ClO_3^- краще проходить у слаболужному середовищі (реакції 7, 9, 12).

З огляду на те що рН середовища в аноліті змінювався в межах 5,6–2,0, можна сказати, що основними окисниками були кисень, пероксидні сполуки, активний хлор і, можливо, гіпохлорид аніон. Імовірно у цьому випадку було утворення хлорамінів за реакціями 13–18:



Судячи з рН середовища, ймовірно, відбуваються процеси, описані реакціями 13–18. Проте в проведених дослідях не відмічалось суттєвого підвищення концентрації активного хлору, що повинно було б відбуватися в разі отримання переважно хлорамінів. Концентрацію активного хлору визначали за зниженням концентрацій сульфату натрію при змішуванні з анолітом або за виділенням йоду під час обробки аноліту розчином йодиду калію. Імовірно, в цьому випадку аміак окислюється до азоту сполуками кисню, а активний хлор видаляється з розчину в результаті дегазації:



На першому етапі під час проведення електролізу розчинів хлориду амонію вміст хлоридів не контролювали (таблиця 1), тому складно визначити їх вплив на процеси окислення аміаку. Проте в подальших дослідженнях (рис. 1) при електролізі розчинів хлориду амонію (10–50 мг/дм³ по амонію) в аноліті контролювали як залишковий вміст амонію, так і концентрацію хлоридів.

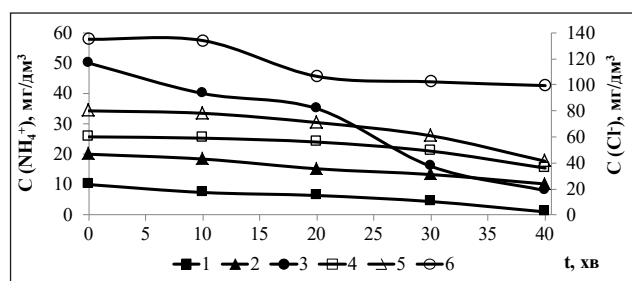


Рис. 1. Залежність концентрації іонів амонію (1, 2, 3) та хлорид-іонів (4, 5, 6) в аноліті двокамерного електролізера (мембрана МА-41) від часу електролізу при щільності струму 86,2 А/м² та вихідних концентрацій амонію і хлоридів відповідно, мг/дм³: 10, 60 (1, 4); 20, 80 (2, 5); 50, 135 (3, 6)

Як видно з рис. 1, при густині струму 86,2 А/м² за 40 хвилин електролізу відмічено суттєве зниження концентрації іонів амонію у воді. Одночасно вміст хлоридів у воді знизився на 30–50 мг/дм³. Очевидно, що утворений активний хлор частково призводив до окислення аміаку, а частково у вигляді Cl_2 та ClO_2 видалявся з розчину в результаті дегазації.

Аналізуючи отримані результати (рис. 1), варто відзначити, що за таких умов вміст хлоридів у мольному відношенні знижується повільніше, ніж концентрація аміаку. Це можна пояснити окисленням іонів амонію утвореними в результаті електролізу киснем і перекисними сполуками, а також частковим переходом окислених сполук хлору в хлориди в разі окислення аміаку.

Необхідно відмітити, що з підвищенням вихідної концентрації амонію у воді з 10 до 50 мг/дм³ інтенсивність окислення іонів амонію зростає. Так, при початковій концентрації 10 мг/дм³ за 40 хвилин електролізу вміст амонію знизився на 9 мг/дм³ (до 1 мг/дм³). За тих самих умов (об'єм розчину, щільність струму, час електролізу) в розчині з вихідною концентрацією амонію 50 мг/дм³ його вміст знизився на 42 мг/дм³ (до 8 мг/дм³).

Це свідчить про те, що в першому випадку (10 мг/дм³) енергія головним чином витрачалась на побічні процеси – окислення хлоридів, електроліз води, нагрівання розчинів тощо, а в другому випадку (50 мг/дм³) основна частина енергії витрачалась саме на окислення аміаку. Це підтверджується й виходом за струмом окисленого аміаку (рис. 2), і витратою електроенергії (таблиця 2). Якщо при вихідній концентрації амонію 50 мг/дм³ швидкість його окислення була більше як у 4 рази вищою, ніж швидкість окислення при початковій концентрації 10 мг/дм³, то й вихід за струмом був вищий у 4–5 разів при концентрації амонію 50 мг/дм³ порівняно з концентрацією 10 мг/дм³. Відмічалось також і зниження енерговитрат на окислення амонію в 4–6 разів при підвищенні його концентрації з 10 до 50 мг/дм³ (таблиця 2).

Виходячи з результатів, представлених у таблиці 1 і на рис. 2, варто відзначити, що при концентрації іонів амонію у воді на рівні 10–50 мг/дм³ значно знизився вихід за струмом по окисленому азоту (рис. 2) порівняно з концентрованим розчином хлориду амонію (таблиця 1), хоча за концентрації іонів амонію 50 мг/дм³ при щільності струму 86,2 А/м² вихід за струмом значно вищий (15–22%) порівняно з виходом за струмом при щільності струму 431 А/м² (3–5%).

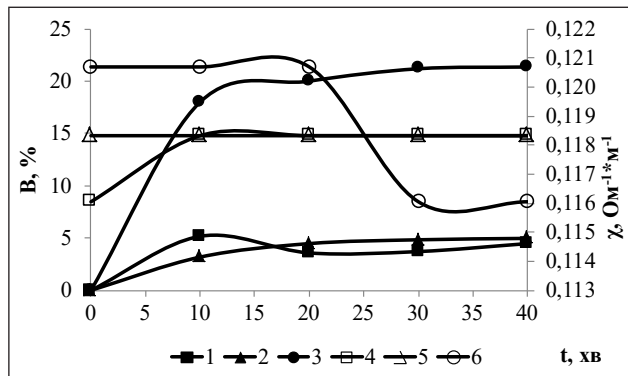


Рис. 2. Залежність виходу за струмом при окисненні амонію (1, 2, 3) та питомої електропровідності (4, 5, 6) у двокамерному електролізері (мембрана МА-41) від часу електролізу при щільності струму 86,2 А/м² та вихідних концентрацій амонію і хлоридів відповідно, мг/дм³: 10, 60 (1, 4); 20, 80 (2, 5); 50, 135 (3, 6)

концентрації амонію у воді в 10 разів швидкість його окислення та вихід за струмом зростають приблизно в стільки ж разів (рис. 1–4).

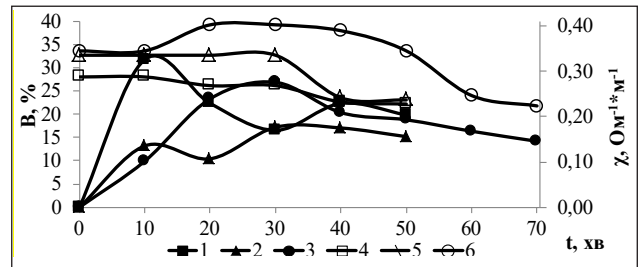


Рис. 4. Залежність виходу за струмом при окисненні амонію (1, 2, 3) та питомої електропровідності (4, 5, 6) у двокамерному електролізері (мембрана МА-41) від часу електролізу при щільності струму 172,4 А/м², фіксованої вихідної концентрації амонію 100 мг/дм³ та змінних концентрацій сульфатів у розчині, мг/дм³: 16 (1, 4), 84 (2, 5), 150 (3, 6)

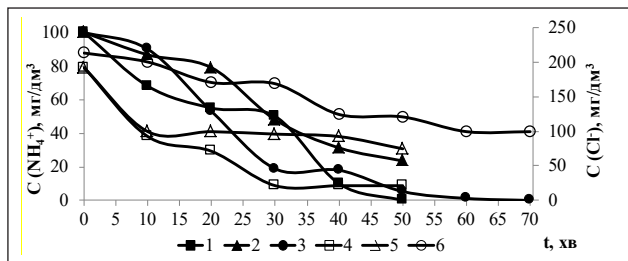


Рис. 3. Залежність концентрації амонію (1, 2, 3) та хлорид-іонів (4, 5, 6) в аноліті двокамерного електролізера (мембрана МА-41) від часу електролізу при щільності струму 172,4 А/м², фіксованої вихідної концентрації амонію 100 мг/дм³ та змінних концентрацій сульфатів у розчині, мг/дм³: 16 (1, 4), 84 (2, 5), 150 (3, 6)

При вихідній концентрації амонію 100 мг/дм³ (рис. 3) спостерігалась досить висока інтенсивність його окислення. За 40 хвилин процесу при густині струму 172,4 А/м² вміст іонів амонію зменшився на 90 мг/дм³. Повністю амоній видалився з води за 50 хвилин. За цих вихідних умов вихід за струмом сягав 16–32% (рис. 4). Це значно вище, ніж при концентрації амонію 10 мг/дм³. Отже, необхідно відмітити, що в разі підвищення

У разі наявності у воді сульфатів відмічається, що при збільшенні до певної міри концентрації сульфатів в аноліті зростає й електропровідність (рис. 4). Проте швидкість окислення амонію та вихід за струмом окисленого амонію знижуються (рис. 3, 4), тоді як витрата електроенергії дещо зростає (таблиця 2). При вихідних концентраціях амонію у воді на рівні 5–10 мг/дм³ вихід за струмом є зовсім низьким (таблиця 3).

Як видно з таблиці, при проведенні електролізу у водопровідній воді, яка містить хлориди в концентраціях 19–59 мг/дм³, за наявності у воді сульфатів у концентраціях 100–300 мг/дм³ або хлоридів у концентрації 170 мг/дм³ іони амонію окислювались повністю за 10–20 хвилин при силі струму 0,2А (J=172,4 А/м²). Вихід за струмом сягав 8,44% ([NH₄⁺]_{поч}=10 мг/дм³) та 4,97% ([NH₄⁺]_{поч}=5 мг/дм³). Відмічено, що за цих умов підвищення концентрації сульфат-іонів у розчині не впливало на ефективність окислення амонію, а також не сприяло суттєвому підвищенню елек-

Таблиця 2

Вплив складу розчину та часу електролізу на витрату електроенергії на окислення амонію в розчині хлориду амонію

t, хв.	Витрата електроенергії, кВт·год/г-екв					
	[NH ₄ ⁺]/[Cl ⁻], мг/дм ³			[NH ₄ ⁺]/[Cl ⁻]/[SO ₄ ²⁻], мг/дм ³		
	10/60	20/80	50/135	100/209/16	100/209/84	100/209/150
10	26,47	43,01	6,75	3,54	7,30	9,44
20	38,23	30,58	8,99	5,40	9,25	3,44
30	36,86	28,28	6,58	7,29	5,60	2,99
40	30,58	27,52	6,53	6,24	7,86	4,08
50				7,15	8,99	4,99
60						8,03
70						10,20

Зміна концентрацій амонію, хлоридів, активного хлору та рН в аноліті двокамерного електролізера (мембрана МА-41) від часу електролізу хлориду амонію в розчині водопровідної води з наявності в аноліті хлоридів (I) і сульфатів (II, III, IV) ($[\text{NaOH}] = 200 \text{ мг-екв/дм}^3$ в католіті)

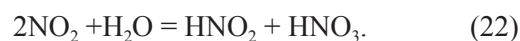
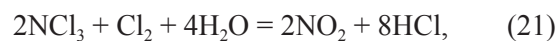
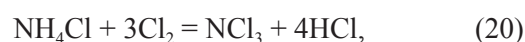
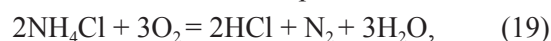
№	з/п	Час, хв.	Концентрація в аноліті, мг/дм ³ / мг-екв/дм ³				рН	I, А	U, В	В, %
			SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Cl ₂				
I	1	0	-	170,0	10,0	0,0/0,0	7,6	-	-	-
	2	0		170,0	1,5	96,0/2,7	6,0	0,2	52	8,44
	3	20		127,8	0,0	177,5/5,0	6,0	0,2	53	4,97
	4	35		106,5	0,0	255,6/7,2	5,0	0,2	51	0,00
	5	50		78,1	0,0	301,8/8,5	5,0	0,1	51	0,00
	6	65		53,3	0,0	284,0/8,0	5,0	0,1	53	0,00
II	1	0	100	59,0	5,0	0,0/0,0	8,0	-	-	-
	2	5		17,0	0,0	95,9/2,7	7,0	0,2	55	3,31
	3	30		14,2	0,0	177,5/5,0	7,0	0,1	51	0,00
	4	45		8,9	0,0	255,6/7,2	7,0	0,1	55	0,00
III	1	0	200	19,0	5,0	0,0/0,0	8,1	-	-	-
	2	15		14,2	0,0	18,5/0,52	7,0	0,2	52,5	3,31
	3	30		12,0	0,0	23,4/0,66	7,0	0,2	43,0	0,00
	4	45		4,8	0,0	35,5/1,00	7,0	0,2	52,5	0,00
IV	1	0	300	49,0	5,0	0,0/0,0	7,6	-	-	-
	2	10		42,6	0,0	60,4/1,7	7,0	0,2	52,0	4,97
	3	20		35,5	0,0	63,9/1,8	7,0	0,2	51,0	0,00
	4	35		42,6	0,0	67,5/1,9	7,0	0,2	51,0	0,00
	5	45		43,3	0,0	78,1/2,2	7,0	0,2	50,0	0,00
	6	55		28,4	0,0	117,2/3,3	7,0	0,0	52,0	0,00

тропроводності системи. Імовірно, це пов'язано із суттєвим зростанням умісту активного хлору (окислених сполук хлору) в аноліті, що призводило до втрати електропроводності мембрани.

У всіх дослідах уміст активного хлору зростає із часом електролізу та значно перевищував еквівалентну кількість окислених хлоридів. Це пояснюється утворенням разом із Cl₂ інших окислених сполук хлору, таких як ClO⁻, ClO₂⁻, ClO₂, ClO₃⁻. Саме цим пояснюється аномально високий уміст активного хлору в розчині й низький вихід за струмом при окисленні амонію.

У всіх випадках при анодному окисленні амонію відбувалось підкислення аноліту. Хоча, якщо врахувати, що католітом був розчин лугу та під час проведення електролізу відбувалась постійна дифузія гідроксиду аніонів із катодної ділянки, видається дивним суттєве зниження рН в аноліті. Адже на кожен молекулу активного хлору, що утворюється на аноді (реакція 5), утворювались дві гідроксидні групи на катоді, які через аніонну мембрану потрапляли в анодну ділянку. За реакцією 2 відбувалось утворення протонів в еквівалентній кількості гідроксид-аніонам у католіті. Лише в разі використання хлориду амонію в розчині водо-

проводної води за концентрації амонію всього 5 мг/дм³ та концентрації хлориду й сульфату натрію 150–450 мг/дм³ підкислення розчину було незначним. В інших випадках спостерігалось зниження рН з 5,6 до 2,0 (таблиця 1), що зумовлено окисленням амонію до діоксиду азоту з утворенням азотної кислоти за схемою, описаною реакціями 19–22:



Імовірно, кислотність розчину при цьому могла суттєво зростати, а рН падати значно нижче за 2. Проте варто врахувати, що в разі підкислення розчину з нього видаляються внаслідок дегазації Cl₂ та ClO₂ (реакції 5 та 10), хлористий водень та окисли азоту. Унаслідок установаження динамічної рівноваги між згаданими процесами рН середовища сягає 2.

Висновки. У результаті проведених досліджень установлено, що навіть незначний уміст хлорид-іонів в аноліті каталізує процес окислення амонію. Водночас зростання концентрації сульфа-

тів дещо сповільнює деструкцію аміаку, що збільшує витрату електроенергії. З огляду на суттєвий вплив хлоридів на процеси окислення амонію у воді, виникають певні сумніви щодо застосування

цього методу в разі малих концентрацій хлоридів. Тому в подальшому передбачається проведення дослідження щодо використання сульфату амонію.

Список літератури:

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Київ, 2010. 25 с.
2. Zhang Tao, Qiucheng Li, Lili Ding, Hongqiang Ren, Ke Xu, Yonggang Wu, Dong Sheng. Modeling assessment for ammonium nitrogen recovery from wastewater by chemical precipitation. *Journal of Environmental Sciences*. 2011. V. 23. № 6. P. 881–890.
3. Yun-nen Chen, Chun-hua Liu, Jin-xia Nie. Chemical precipitation and biosorption treating landfill leachate to remove ammonium-nitrogen. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2013. V. 15. № 2. P. 395–399.
4. Patel Ishanee A., Hemangi H. Desai. Ammonium Removal from Landfill Leachate by Chemical Precipitation. *International Journal of Innovative Research and Development*. 2014. V. 3. № 7. P. 116–126.
5. Escudero A., Blanco F., Lacalle A., Pinto M. Struvite precipitation for ammonium removal from anaerobically treated effluents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2015. V. 3. № 1. P. 413–419.
6. Jia Guangan, Hu Zhang, Joerg Krampe, Tim Muster, Baoyu Gao, Nanwen Zhu, Bo Jin. Applying a chemical equilibrium model for optimizing struvite precipitation for ammonium recovery from anaerobic digester effluent. *Journal of Cleaner Production*. 2017. V. 147. P. 297–305.
7. Haiming Huang, Xianming Xiao, Liping Yang, Bo Yan. Recovery of nitrogen from saponification wastewater by struvite precipitation. *Water Science and Technology*. 2010. V. 61. № 11. P. 2741–2748.
8. Haiming Huang, Xianming Xiao, Liping Yang, Bo Yan. Removal of ammonium as struvite using magnesite as a source of magnesium ions. *Water Practice and Technology*. 2010. V. 5. № 1. P. 1–9.
9. Tulaydan Y., Malovanyy M., Kochubei V., Sakalova H. Treatment of high-strength wastewater from ammonium and phosphate ions with the obtaining of struvite. *Chemistry and Chemical Technology*. 2017. V. 11. № 4. P. 463–468.
10. Widiastuti N., Wu H., Ang H.M., Zhang D. Removal of ammonium from greywater using natural zeolite. *Desalination*. 2011. V. 277. № 1. P. 15–23.
11. Yusof A.M., Keat L.K., Ibrahim Z., Majid Z.A., Nizam N.A. Kinetic and equilibrium studies of the removal of ammonium ions from aqueous solution by rice husk ash-synthesized zeolite Y and powdered and granulated forms of morденіте. *Journal of hazardous materials*. 2010. V. 174. № 1. P. 380–385.
12. Malovanyy A., Sakalova H., Tulaydan Y., Yatchyshyn N., Plaza E., Malovanyy M. Concentration of ammonium from municipal wastewater using ion exchange process. *Desalination*. 2013. V. 329. P. 93–102.
13. Sica M., Duta A., Teodosiu C., Draghici C. Thermodynamic and kinetic study on ammonium removal from a synthetic water solution using ion exchange resin. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2014. V. 16. № 2. P. 351–359.
14. Yingxin Zhao, Yingnan Yang, Shengjiong Yang, Qinghong Wang, Chuanping Feng, Zhenya Zhang. Adsorption of high ammonium nitrogen from wastewater using a novel ceramic adsorbent and the evaluation of the ammonium-adsorbed-ceramic as fertilizer. *Journal of colloid and interface science*. 2013. V. 393. P. 264–270.
15. Nozhevnikova A.N., Simankova M.V., Litti Y.V. Application of the microbial process of anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) in biotechnological wastewater treatment. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2012. V. 48. № 8. P. 667–684.
16. Mousavi S.A., Ibrahim S., Aroua M.K. Effect of carbon source on acclimatization of nitrifying bacteria to achieve high-rate partial nitrification of wastewater with high ammonium concentration. *Applied Water Science*. 2017. V. 7. № 1. P. 165–173.
17. Han M., Zhao Z., Cui F., Gao W., Liu J., Zeng Z.Q. Pretreatment of contaminated raw water by a novel double-layer biological aerated filter for drinking water treatment. *Desalination and Water Treatment*. 2012. V. 37. № 1. P. 308–314.
18. Su Jung-Jeng, Chang Yuan-Chie, Huang Shun-Ming. Ammonium reduction from piggery wastewater using immobilized ammonium-reducing bacteria with a full-scale sequencing batch reactor on farm. *Water Science and Technology*. 2014. V. 69. № 4. P. 840–846.
19. Malovanyy A., Plaza E., Trela J., Malovanyy M. Combination of ion exchange and partial nitritation/Anammox process for ammonium removal from mainstream municipal wastewater. *Water Science and Technology*. 2014. V. 70. №1. P. 144–151.
20. Ваганов І.І., Масєвська І.В., Попович М.М. Інженерна геологія та охорона навколишнього середовища: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2014. 267 с.

21. Shiting Ren, Mengchen Li, Jianyu Sun, Yanhong Bian, Kuichang Zuo, Xiaoyuan Zhang, Peng Liang, Xia Huan. A novel electrochemical reactor for nitrogen and phosphorus recovery from domestic wastewater. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2017. V. 11. № 4. P. 17.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ АММОНИЯ ИЗ ВОДЫ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ

В работе исследованы процессы электрохимического окисления ионов аммония в двухкамерном электролизере. Проведена оценка эффективности процесса в зависимости от состава исходного раствора и католита, плотности тока и времени электролиза. Показано, что хлориды в анолите даже в незначительных концентрациях катализируют процессы окисления аммония. В то же время повышение концентрации сульфатов в растворе приводит к замедлению деструкции аммиака. При этом наблюдается увеличение расхода электроэнергии.

Ключевые слова: ионы аммония, электролиз, анодное окисление, окислительно-восстановительные процессы, выход вещества по току, удельная электропроводность.

REMOVAL OF AMMONIUM IONS FROM WATER BY ELECTROLYSIS

In this work the processes of electrochemical oxidation of ammonium ions in a two-chamber electrolyzer are investigated. An estimation of efficiency of the process, depending on the composition of the initial solution and the catholyte, current density and time of electrolysis is carried out. It has been shown that chlorides in anolyte even catalyze the processes of ammonium oxidation, even at low concentrations. At the same time, an increase in the concentration of sulfates in the solution leads to a deceleration of ammonia destruction. At the same time there is an increase in electricity consumption.

Key words: ammonium ions, electrolysis, anodic oxidation, oxidation-reduction processes, current output, specific electrical conductivity.

УДК 504.45.058:628.3

Петриченко А.И.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Гомеля Н.Д.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Радовенчик Я.В.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

УДАЛЕНИЕ ФОСФАТОВ ИЗ ВОДЫ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

В статье исследуются процессы удаления фосфатов из воды с помощью реагентного осаждения и электрокоагуляции. Установлено, что осаждение солями алюминия и железа не целесообразно при незначительных концентрациях фосфатов. Процесс электрокоагуляции позволяет полностью высадить фосфаты без загрязнения воды ионами металлов.

Ключевые слова: фосфаты, осаждение, алюминий, железо, электрокоагуляция.

Постановка проблемы. Сегодня в мире остро стоит проблема загрязнения природных водоемов, которые являются основными источниками питьевой воды. Особо стоит обратить внимание на загрязнения водоемов биогенными веществами, особенно соединениями азота и фосфора. Их избыток в водной среде при соответствующих температурах приводит к эвтрофикации. Эвтрофикация является сложным процессом в пресных и морских водах, где бурное развитие определенных типов микроводорослей нарушает равновесие водных экосистем.

Поступления биогенных элементов происходит за счет промышленных предприятий, сточных вод с сельскохозяйственных угодий, животноводческих комплексов, коммунально-бытовых стоков и природных факторов [1, с. 1074]. Поэтому актуальным является вопрос очистки сточных вод от фосфатов, а также решение проблемы выбора лучшего метода очистки. Этот метод должен обеспечивать эффективное и малоотходное удаление фосфат-ионов из воды [2, с. 83].

Анализ последних исследований и публикаций. В рамках данного исследования нас интересовало извлечение небольших концентраций фосфатов из воды, то есть её доочистка.

В технологиях очистки воды от биогенных элементов чаще всего применяют биологический метод [3, с. 552]. Недостатком данного метода является сложность и длительность процесса.

Для доочистки воды от фосфатов распространёнными являются реагентные методы [4, с. 245]. Однако выделение фосфатов таким способом усложняет дальнейшую доочистку воды, повышая ее себестоимость. Также возможно использование обратноосмотических фильтров [5, с. 237], что требует применения дорогих полупроницаемых мембран. А недостаточная очистка воды перед баромембранными процессами снижает производительность мембран и ухудшает их селективность. Основным недостатком обратного осмоса является образование концентратов, которые достаточно сложно утилизировать [6, с. 69]. Ионный обмен достаточно эффективен и популярен, но при небольших концентрациях фосфатов в воде и в присутствии сульфатов эффективность процесса значительно снижается.

Поэтому необходимо разработать иной метод доочистки воды от фосфатов, который будет эффективен при незначительных расходах.

Постановка задания. Целью работы было определение эффективности удаления фосфатов из воды с помощью осаждения. Поэтому для достижения поставленной цели решались такие задачи:

- исследование процессов осаждения фосфатов солями алюминия и железа;
- изучение процессов электрокоагуляции фосфатов в однокамерном электролизере при использовании стального и алюминиевого анодов;

Таблица 1

Зависимость эффективности осаждения фосфатов из растворов с начальной концентрацией фосфатов 100 мг/дм³ от расхода сульфата алюминия

№ п/п	Соотношение [PO ₄ ³⁻]:[Al ³⁺], моль/ моль	Расход Al ₂ (SO ₄) ₃ , мг-экв/дм ³	C(PO ₄ ³⁻), мг/дм ³	C(Al ³⁺), мг/дм ³	pH	E, %
–	–	–	100,00	–	9,611	–
1	1:1,0	3,159	25,00	8,5	4,100	75,0
2	1:1,1	3,474	19,05	25,4	3,868	81,0
3	1:1,2	3,789	21,25	28,5	3,781	78,8
4	1:1,5	4,737	23,00	37,5	3,627	77,0
5	1:2,0	6,316	28,50	50,7	3,534	71,5

Таблица 2

Зависимость эффективности осаждения фосфатов из раствора о-фосфата натрия (C(PO₄³⁻) = 100 мг/дм³) от расхода хлорида железа (III)

№ п/п	Соотношение [PO ₄ ³⁻]:[Fe ³⁺], моль/ моль	Расход FeCl ₃ , мг-экв/дм ³	C(PO ₄ ³⁻), мг-экв/дм ³	C(Fe ³⁺), мг/дм ³	pH	E, %	
						[PO ₄ ³⁻]	[Fe ³⁺]
–	–	–	3,16	–	9,611	–	–
1	1:1,0	3,159	1,66	2,88	2,684	47,5	8,9
2	1:1,1	3,474	1,74	3,00	2,556	44,9	14,3
3	1:1,2	3,789	1,85	3,60	2,506	41,6	5,3
4	1:1,5	4,737	2,33	4,50	2,488	26,3	6,3
5	1:2,0	6,316	2,50	5,81	2,325	20,9	7,9

– определение оптимальных условий удаления фосфатов из воды методом электрокоагуляции.

Изложение основного материала исследования. Самым простым методом удаления фосфатов из водных растворов является реагентный метод, основанный на их осаждении при обработке растворов солями железа и алюминия. Однако данный способ предусматривает добавление в растворы солей алюминия и железа, что приводит к дополнительному загрязнению воды хлоридами или сульфатами. Более того, при значительных концентрациях фосфатов соли металлов используются в переизбытке, что приводит к значительному окислению воды вследствие их гидролиза (табл. 1 и 2). При этом степень удаления фосфатов не превышает 81% при использовании сульфата алюминия и меньше 15% при использовании хлорида железа (III). В этих условиях происходит значительное загрязнение воды ионами металлов. В случае алюминия их концентрация достигает 8,5–50,7 мг/дм³, а в случае железа – превышает 54 мг/дм³. Лучших результатов можно достичь при доведении pH среды до 7,5–8,5, но при этом в воду необходимо добавлять щелочные реагенты.

Значительно лучшие результаты были достигнуты при использовании методов электрокоагуляции. Так, при обработке о-фосфата натрия в однокамерном электролизере из стальным (сталь 20) и

алюминиевым (АД-О) анодами было достигнуто эффективного осаждения фосфатов. За 2,5 часа электролиза при плотности тока 1,3 А/дм² концентрация фосфатов снизилась до 0,5 и 1,0 мг/дм³ (рис. 1). Правда, при этом pH растворов вырос до 11,4, что является нежелательным.

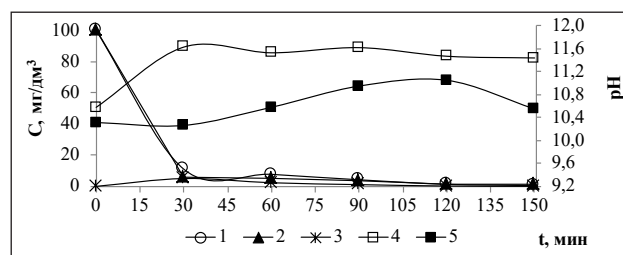


Рис. 1. Зависимость концентрации фосфатов (1; 2), ионов железа (3) и pH среды (4; 5) от времени электролиза раствора о-фосфата натрия (C(PO₄³⁻) = 100 мг/дм³) в дистиллированной воде при плотности тока 1,3 А/дм² в однокамерном электролизере при использовании катода из нержавеющей стали и анодов из стали 20 (1; 3; 4) и алюминия АД-О (2; 5)

Такое значительное ошелачивание среды обусловлено высокими значениями pH исходных растворов, так как фосфат натрия при гидролизе вызывает повышение pH среды. Так, начальные значения pH были на уровне 10,58. Кроме того, в процессе электролиза на катоде при выделении водорода образуются гидроксид анионы.

Анодные процессы проходят с окислением металлов и переходом в раствор катионов Fe^{2+} и Al^{3+} . Ион Fe^{2+} в дальнейшем окисляется кислородом, который образуется на аноде, до Fe^{3+} . Кроме того, при выбранной плотности тока металлы растворяются в надэквивалентном количестве, что приводит к загрязнению воды металлами. Поэтому в дальнейшем плотность тока снизили до $0,45 \text{ А/дм}^2$ и проводили осаждение фосфатов электрокоагулированием при начальных рН растворов 3,23 и 7,34 (рис. 2, 3).

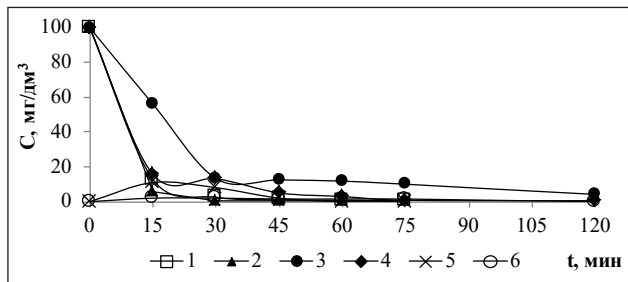


Рис. 2. Влияние времени электролиза растворов о-фосфорной кислоты (2; 4; 6) и дигидрофосфата натрия (1; 3; 5) ($C(PO_4^{3-}) = 100 \text{ мг/дм}^3$) в дистиллированной воде на остаточные концентрации фосфатов (1; 2; 3; 4) и железа (5; 6) от времени электролиза в однокамерных электролизерах со стальными (сталь 20) (1; 3; 5; 6) и алюминиевыми (АД-О) (2; 4) анодами при плотности тока $0,45 \text{ А/дм}^2$

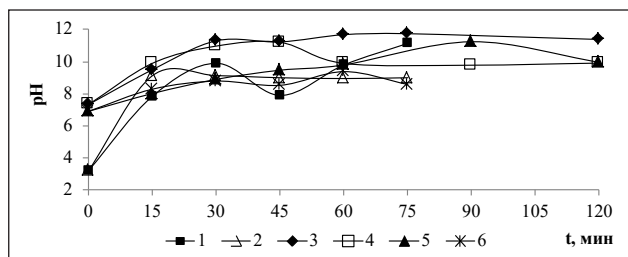


Рис. 3. Изменение рН среды растворов H_3PO_4 (1; 2) и NaH_2PO_4 (3; 4; 5; 6) ($C(PO_4^{3-}) = 100 \text{ мг/дм}^3$) в дистиллированной (1; 2; 3; 4) и водопроводной (5; 6) воде со временем электролиза в однокамерных электролизерах со стальными (сталь 20) (1; 3; 5) и алюминиевыми (АД-О) (2; 4; 6) анодами при плотности тока $0,45 \text{ А/дм}^2$

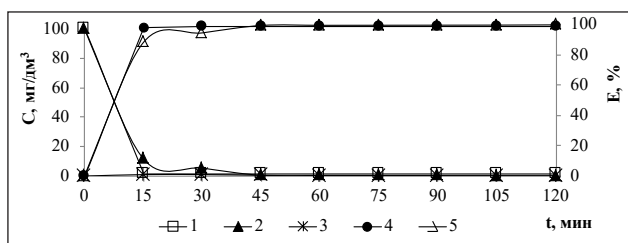


Рис. 4. Зависимость остаточных концентраций фосфатов (1; 2) и железа (3), степени очистки воды от фосфатов (4; 5) от времени электролиза раствора дигидрофосфата натрия ($C(PO_4^{3-}) = 100 \text{ мг/дм}^3$) в водопроводной воде при плотности тока $0,45 \text{ А/дм}^2$ в однокамерном электролизере при использовании анода из стали 20 (1; 3; 4) и алюминия АД-О (2; 5)

Как видно из рисунка 2, при данных условиях удалось добиться эффективного удаления фосфатов за 30–45 минут электролиза. При этом при использовании алюминиевого анода при начальном рН раствора в дистиллированной воде 3,23 фосфаты были практически полностью удалены за 30 минут. Концентрация фосфатов снизилась с 100 до $0,8 \text{ мг/дм}^3$. За то же время при использовании железного анода концентрация фосфатов снизилась до $2,5 \text{ мг/дм}^3$ при концентрации железа в растворе на уровне $8,0 \text{ мг/дм}^3$. В дальнейшем при росте рН раствора до 8,9, а дальше до 9,8 содержание фосфатов снизилось до 1,0 и $0,8 \text{ мг/дм}^3$. Концентрация железа снизилась до $2,0 \text{ мг/дм}^3$ за 45 минут, а через час железо осадилось полностью.

Стоит отметить, что процесс электрокоагулирования проходит, как минимум, в две стадии: растворение анода с образованием катионов железа и алюминия и образование малорастворимых фосфатов железа и алюминия. В случае стального анода таких стадий может быть три. Это связано с образованием на первой стадии катионов Fe^{2+} и последующим их окислением в слабощелочной среде в Fe^{3+} . Именно поэтому осаждение фосфатов при использовании алюминиевых анодов происходит быстрее.

Однако при изначальном рН раствора фосфатов в дистиллированной воде на уровне 7,34 процесс осаждения фосфатов замедляется не только в случае использования стального, но и алюминиевого анодов. Возможно, в данном случае происходит пассивирование анодов при напряжении 30–50 В, что замедляет растворение анодов. В дальнейшем при повышении рН до 10–11 растворимость алюминия в воде возрастает, вследствие его амфотерности, что приводит к повышению эффективности осаждения фосфатов. При росте рН также ускоряется реакция окисления железа (II) до железа (III), что также способствует как осаждению фосфатов, так и удалению железа из воды. В данном случае концентрация железа в растворе не превышает $2,0 \text{ мг/дм}^3$, а за 105 минут железо из воды удаляется полностью.

Следует отметить, что первоначальное подкисление растворов до рН = 3,23 обеспечивает допустимые уровни рН очищенной воды. При использовании железных анодов с начальным значением рН = 7,34 реакция среды очищенной воды достигает 9,98, что превышает допустимый уровень.

При очистке методом электрокоагуляции растворов фосфатов в водопроводной воде с начальным значением рН = 6,92 и концентрации

фосфатов 100 мг/дм^3 было достигнуто эффективной очистки воды как при использовании алюминиевого, так и железного анодов (рис. 4).

При этом при использовании железного анода основная масса фосфатов выделилась уже через 15 минут, а при использовании алюминиевого анода – через 45 минут. В первую очередь это связано с тем, что в водопроводной воде всегда присутствуют хлориды, которые препятствуют пассивации анодов и способствуют повышению скорости их растворения. Через 45 минут из раствора также удаляются ионы железа, а pH воды при использовании стальных анодов не превышает 9,95, а для алюминиевых анодов pH находится практически в допустимых пределах 8,29–8,58. Степень очистки фосфатов при использовании железных анодов за 15 минут достигает 98% и в дальнейшем возрастает до 99% за 1,5 часа электролиза. Для алюминиевых анодов степень извлечения фосфатов достигает 89% за 15 минут, а за 45 минут – 99,5%. Во всех предыдущих случаях (рис. 5) при изъятии фосфатов из растворов в дистиллированной воде степени извлечения фосфатов были также достаточно высокими, но только в случае электролиза слабых растворов они приближались к результатам, полученным в водопроводной воде.

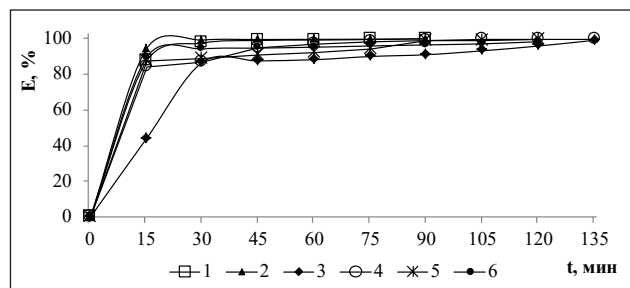


Рис. 5. Зависимость степени очистки растворов H_3PO_4 (1; 2), NaH_2PO_4 (3; 4) и Na_3PO_4 (5; 6) в дистиллированной воде ($C(\text{PO}_4^{3-}) = 100 \text{ мг/дм}^3$) от времени электролиза в однокамерных электролизерах при использовании анодов из стали (ст. 20) (1; 3; 5) и алюминия АД-О (2; 4; 6) при плотности тока $0,45 \text{ А/м}^2$ (1; 2; 3; 4) и $1,3 \text{ А/м}^2$ (5; 6)

Это можно объяснить тем, что в слабкокислой среде или в присутствии хлоридов в водопроводной воде электроды не пассивируются и растворения анодов проходит быстрее. Во всех других случаях процесс электрокоагуляции замедляется за счет частичной пассивации анодов.

Расход электроэнергии в процессе электрокоагуляции увеличивается со временем проведения электролиза. При этом наибольший расход был при электролизе о-фосфата натрия. Так, при использовании стального анода (ст. 20) расход энергии достигал $83 \text{ кВт}\cdot\text{ч/г-экв}$, а при использовании алюминиевого анода (АД-О) – $67,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч/г-экв}$. В то же время при использовании H_3PO_4 и NaH_2PO_4 расход электроэнергии при использовании стального анода был в пределах $18\text{--}25 \text{ кВт}\cdot\text{ч/г-экв}$, а для алюминиевого анода – в пределах $9\text{--}24 \text{ кВт}\cdot\text{ч/г-экв}$. В общем, если сравнивать стальной и алюминиевый аноды, то использование алюминиевого анода сопровождается несколько более низкими издержками электроэнергии во всех процессах электролиза.

Увеличение расхода электроэнергии на осаждение фосфатов со временем электролиза обусловлено снижением при данных условиях концентрации фосфатов в растворах, что вызывает необходимость в увеличении избытка ионов металлов.

Выводы. В работе исследована эффективность извлечения фосфатов из растворов в виде осадка при использовании реагентного метода и электрокоагуляции. Показано, что реагентный метод не годится для осаждения незначительных концентраций фосфат-ионов. Электрокоагуляция обеспечивает 99% извлечения фосфатов при использовании стального и алюминиевого анодов. Стоит отметить, что осаждение фосфатов проходит лучше при использовании алюминиевых анодов по сравнению со стальными. Показано, что в слабкокислой среде или при наличии хлоридов в растворе электроды не пассивируются, что ускоряет процесс электрокоагуляции.

Список литературы:

1. Cornel, P. Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs. *Water Science and Technology*. 2009. 59(6). P. 1069–1076.
2. Прокопчук О.І., Грубінко В.В. Фосфати у водних екосистемах. *Наук. зап. Терноп. нац. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Біол.* Тернопіль: ТНПУ, 2013. 3(56). С.78–85.
3. *Biological wastewater treatment* / C. L. Grady Jr, G. T. Daigger, N. G. Love, C. D. Filipe – CRC press., 2011. 962 p.
4. *Очистка сточных вод* / М. Хенце, П. Армозс, Й. Ля-Кур-Ясен, Э. Арван. Москва: Мир, 2009. 480 с.
5. *Waker R. W. Membrane technology and applications* / R. W. Backer – WILEY, Third ed, 2012. 588 p.
6. Семинская О.О., Балакина М.Н., Кучерук Д.Д., Гончарук В.В. Основные закономерности обратнo-осмотического дефосфотирования воды. *Химия и технология воды*. 2016. 38, № 1. С. 67–76.

ВИДАЛЕННЯ ФОСФАТІВ ІЗ ВОДИ МЕТОДОМ ХІМІЧНОГО І ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ОСАДЖЕННЯ

У статті досліджуються процеси видалення фосфатів із води за допомогою реагентного осадження і електрокоагуляції. Установлено, що осадження солями алюмінію і заліза недоцільно при незначних концентраціях фосфатів. Процес електрокоагуляції дозволяє повністю висадити фосфати без забруднені води іонами металів.

Ключові слова: *фосфати, осадження, алюміній, залізо, електрокоагуляція*

REMOVAL OF PHOSPHATES FROM WATER BY CHEMICAL AND ELECTROLYTIC DEPOSITION

The article studies the processes of phosphate removal from water by means of reagent precipitation and electrocoagulation. It was established that precipitation of phosphates by aluminum and iron salts is unacceptable at insignificant concentrations of phosphates. The electrocoagulation process allows the phosphates to be completely disposed of without contaminating water with metal ions.

Key words: *phosphates, precipitation, aluminum, iron, electrocoagulation.*

УДК 666.293.522.53

Фролова Л.А.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Півоваров О.А.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ СИНТЕЗУ СИНЬОГО АЛЮМОКОБАЛЬТОВОГО ПІГМЕНТУ

Досліджено процес гідроксидного осадження в системі $Co_2+ - Al^{3+} - SO_4^{2-} - H_2O$ за стехіометричного співвідношення катіонів $Al^{3+}/Co^{2+} = 2$. Установлено можливість співосадження гідроксидів кобальту та алюмінію, оптимальний інтервал значень рН для одержання осадів, що є прекурсорами синтезу синього пігменту. Визначено температурні режими проведення термолізу.

Ключові слова: шпінель, співосадження, синій пігмент, колірні характеристики.

Постановка проблеми. Кобальтові пігменти – це велика група яскраво забарвлених нерозчинних у воді сполук кобальту. Із кобальтових пігментів найбільше значення мають сполуки кобальту з алюмінієм, цинком, оловом і хромом [1].

Алюмінат кобальту ($CoAl_2O_4$) – оксид шпінелевого типу AB_2O_4 , де А та В (дво- та тривалентні катіони відповідно) [1]. Структура та технологічні властивості зумовлюють широку сферу застосувань $CoAl_2O_4$ (пігменти, каталізатори, сенсори) [1–3]. Використання алюмінату кобальту пігментом зумовлене поєднанням насиченого кольору та хімічної стабільності. $CoAl_2O_4$ успішно використовується у фарбах, декоративних і захисних покриттях, а також для забарвлення керамічних матеріалів [4].

Натепер розроблено багато методів синтезу $CoAl_2O_4$. Усі технології можна поділити на три групи: твердо-, рідко- та газофазні. Звичайним способом виготовлення $CoAl_2O_4$ є твердофазна реакція, проте технологія має низку недоліків. Одержання $CoAl_2O_4$ шляхом прямого прожарювання оксидів кобальту й алюмінію складне через необхідність використання високих температур (~1300°C) і низкоефективне через лімітовану розчинність, наприклад, оксиду кобальту в Al_2O_3 . Крім того, використання керамічних методів сприяє агрегації алюмінату кобальту під час високотемпературного прокалювання, що призводить до ускладнень на стадії диспергування фарб та чорнил. Наприклад, автори [5] синтезували кобальт синій, використовуючи прекурсорами $\alpha-Al_2O_3$ та $\gamma-Al_2O_3$. Газофазні реакції не отримали необхідного застосування внаслідок складності апаратного оформлення. Рідкофазні реакції активно досліджуються багатьма вченими. Наприклад, у

роботі [6] досліджували синтез нанодисперсного алюмінату кобальту золь-гель методом, але метод вимагає великої кількості додаткових реагентів та додаткового часу для гелеутворення. Автори синтезували $CoAl_2O_4$ за допомогою модифікованого золь-гель методу із застосуванням розчину етиленгліколю, лимонної кислоти та іонів металу [7], але цей процес був малопотужним.

Привабливим є використання некоштовних реагентів з одержанням якісного продукту. Тому вивченню механізму утворення гідроксидів, оксигідроксидів та оксидів кобальту і алюмінію приділяється багато уваги [8; 9]. Це зумовлено тим, що саме сполуки кобальту є достатньо стабільними та здебільшого цільовими продуктами.

Процес утворення складного гідроксиду кобальту-алюмінію мало вивчений. Однак немає сумніву, що саме на стадії утворення полігідроксокомплексів кобальту й алюмінію формуються первинні частинки, які зумовлюють морфологію та макро- і мікроструктуру частинок кінцевої сполуки [9; 10].

Крім того, розмір частинок є важливим технологічним параметром, тому для отримання вискодисперсного порошку алюмінату кобальту з прогнозуємим розміром частинок необхідним є знання кінетики і механізму утворення полігідроксокомплексів кобальту і алюмінію, вплив умов гідролізу на процес утворення дисперсної фази.

Постановка завдання. У роботі головною метою є вивчення процесу осадження полігідроксокомплексів кобальту й алюмінію з розчинів кобальт сульфату і алюміній сульфату ідким натром і вивчення процесу перетворення гідроксиду кобальту і гідроксиду алюмінію до алюмінату кобальту та перевірка його властивостей.

Методика експеримент

Процес осадження в системі $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ вивчали методами рН-метричного титрування, хімічного аналізу, вимірювання електропровідності та оптичної густини.

Потенціометричне титрування проводилося на рН-метрі-мільвольтметрі рН-150. Вимірювальним використовували скляний електрод марки ЕСЛ-15-11. Порівняльним електродом – хлорсрібний марки ЕВЛ-1Г4. Похибка вимірювань величини рН складала $\pm 0,02$ одиниці. Для отримання порівнюваних результатів і спрощення інтерпретації кривих об'єм NaOH , який додавали, приводили в молярне співвідношення $[\text{OH}^-/(\text{Co}^{2+}, \text{Al}^{3+})]$. Електропровідність вимірювали за допомогою мостика Кольрауша. Також використовували метод вимірювання об'ємів осаду, заснований на тому, що за достатньо малої розчинності осаду його максимальний об'єм зазвичай відповідає співвідношенню реагуючих компонентів, які визначають склад осаду. Гідроксид кобальту і гідроксид алюмінію отримували шляхом сумісного осадження із суміші розчинів сульфату кобальту і сульфату алюмінію гідроксидом натрію з відповідним співвідношенням розчинів сульфатів 1:2. Концентрацію кобальту, алюмінію й іонів OH^- визначали за стандартними методиками [11].

Результати та їх обговорення

Метою рН-метричних досліджень є встановлення закономірностей осадження гідроксидів Co^{2+} і Al^{3+} (рис.1). На кривій титрування індивідуального розчину сульфату алюмінію після додавання перших порцій лугу спостерігається буферна зона (рН=2,5-3), яка відповідає гідролізу катіона. Утворення алюміній гідроксиду відбувається при рН=5 і закінчується при рН=10. За умов подальшого додавання відбувається утворення розчинного натрій алюмінату, що відображається на кривих титрування.

Результати дослідження системи $\text{CoSO}_4 - \text{NaOH} - \text{H}_2\text{O}$ потенціометричним методом (рис. 1) показують, що за співвідношення $[\text{OH}^-/\text{Co}^{2+}]=2$ відбувається повне осадження у вигляді кобальт гідроксиду $\text{Co}(\text{OH})_2$.

На кривій титрування розчину $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+}$ зі співвідношенням $\text{Co}^{2+}/\text{Al}^{3+} = 1:2$, яке відповідає шпінельному, одразу після додавання перших крапель лугу починається буферна зона, що відповідає процесу утворення полігідросокомплексів, яка знаходиться при рН $\approx 4,0 - 4,5$ (рис. 2). Буферна зона завершується стрибком при $n \approx 3$, який відповідає повному перетворенню в склад-

ний гідроксид. Після закінчення стрибка спостерігається коротка буферна зона рН $\approx 6,0-6,5$, що завершується другим стрибком при $n \approx 4$.

Перебіг кривих титрування та перших похідних показує, що лужний гідроліз відбувається за механізмом утворення алюміній гідроксиду. Найявність двох піків чітко спостерігається на кривих 2 та 3(рис. 1).

Для дослідження процесу гідроксидного осадження в системі $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ було також проведено методом вимірювання висоти осаду (рис. 2).

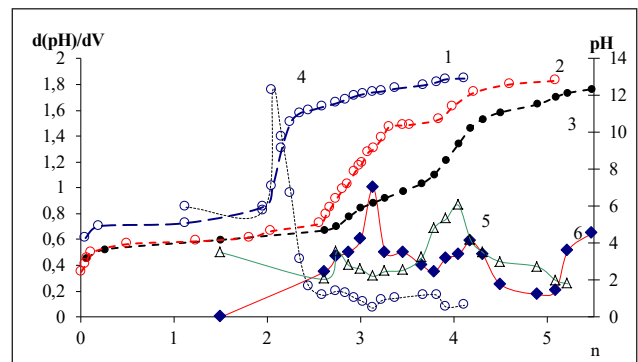


Рис. 1. Криві рН-метричного титрування розчинів (1,2,3) та залежність першої похідної від об'єму доданого лугу (4,5,6): 1,4 – кобальт сульфат, 2,5 – алюміній сульфат, 3,6 – кобальт сульфат і алюміній сульфат

Під час порівняння кривих рН-метричного титрування й аналізу висоти осаду виявили, що висота осаду змінюється за рахунок утворення розчинення осадів або утворення кристалічного осаду, а значення рН визначається декількома процесами. Порівнюючи отримані криві, можна графічно уточнити оптимальний інтервал значень рН, за якого осадження стає майже повним. Для цього потрібно визначити точку на кривій $V = f(\text{pH})$, яка відповідає максимальному значенню. Саме у вказаній точці значення рН осад має найбільший об'єм, швидко осідає і легко фільтрується, тобто є найбільш кристалічним і щільним. Таким чином, з урахуванням отриманих даних оптимальним являється інтервал значень $n = 3,8 - 4,0$.

Оптимальний інтервал значень рН, в якому відбувається практично повне осадження Co^{2+} і Al^{3+} , складає 7,8–8,5, що відповідає другому стрибку на кривій титрування (рис. 2).

Під час визначення остаточних концентрацій Co^{2+} , Al^{3+} і OH^- груп було з'ясовано, що при додаванні лугу проходить поступове утворення осадів, що супроводжується зменшенням концентрації вихідних розчинів.

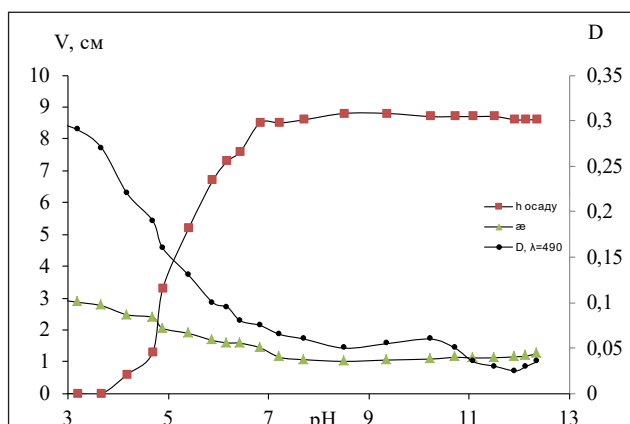


Рис. 2. Криві залежності висоти осаду, електропровідності, оптичної густини від рН в системі $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

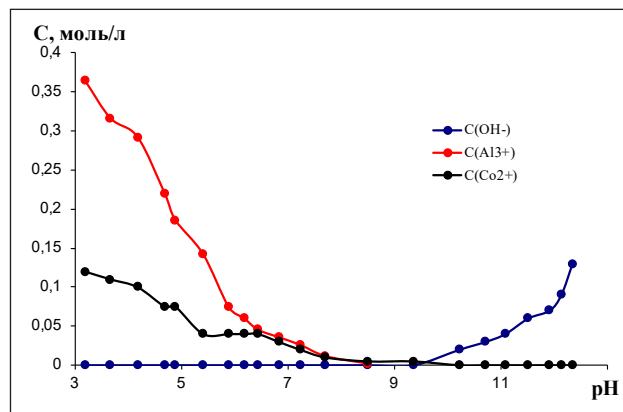


Рис. 3. Криві залежності залишкових концентрацій іонів Co^{2+} , Al^{3+} і OH^- груп в системі $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Таблиця 1

Колірні характеристики пігментів системи Co – Al – O

№ п/п	Склад	КДВ, %	X	Y	Z	x	y	λ , нм	P, %
до прожарювання									
2	1/3 Co + 2/3 Al	79,97	93,96	82,33	28,73	0,4582	0,4015	698	5
після прожарювання									
2	1/3 Co + 2/3 Al	19,16	26,84	21,62	22,58	0,3777	0,3043	400	1

Відомо, що за високого значення рН в індивідуальному розчині алюміній гідроксид починає розчинятися, тому що має амфотерну природу. Тому до значення рН ≈ 8 осад утворюється і його кількість збільшується, а при рН $\approx 8-10$ осад починає інтенсивно розчинятися. Під час розчинення осаду концентрація іонів Al^{3+} в розчині збільшується і відповідно зменшується об'єм (рис. 2). Відсутність розчинення осаду в системі $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ добре помітна також на кривих залишкових концентрацій іонів Co^{2+} , Al^{3+} і OH^- груп, оскільки під час розчинення гідроксиду алюмінію збільшується концентрація іонів Al^{3+} (рис. 3).

Також проводили вимірювання електропровідності розчинів з осадами гідроксиду кобальту і гідроксиду алюмінію. Крива залежності електропровідності від співвідношення компонентів має декілька помітних стрибків, які відбуваються під час збільшення об'єму осаду рН₁ $\approx 4,8$, рН₂ $\approx 8,5$ (рис. 2). Сталість електропровідності для системи $\text{Co}^{2+} - \text{Al}^{3+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ в діапазоні рН=8-12 підтверджує це. Якщо проаналізувати всі наведені графіки, то можна сказати, що в процесі сумісного осадження проходить хімічна взаємодія іонів. Таким чином, під час збільшення значення рН не визначається розчинення утвореного осаду. Залежність оптичної густини від рН збігається з кривою зміни електропровідності.

Термогравіметричний аналіз показав, що під час термообробки до 1000°C втрата маси зразків, синтезованих у вказаних оптимальних умовах, складає 41,0–43,0 %. Процес втрати маси завершується за більш низької температури порівняно з іншими даними, особливо для осадів, отриманих із розчинів (950°C замість $1300-1400^\circ\text{C}$). Більш того, зразки, які прожарені за температури 620°C , вже містять піки з міжплощинними відстанями, що характерні для шпінелі CoAl_2O_4 , а температура прожарювання $980-1000^\circ\text{C}$ забезпечує утворення алюмінату кобальту.

За допомогою спектрофотометричного методу були отримані колірні характеристики пігментів системи $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CoO}$ до та після прожарювання. Результати наведено в таблиці 1 (X, Y, Z – координати кольору; x, y – координати колірності; КДВ – коефіцієнт дзеркального відбиття, %; λ – довжина хвилі, нм; P – чистота кольору, %).

Найбільший показник КДВ свідчить про добрий блиск ($100\% \text{ Al}_2\text{O}_3 = 94,25-94,62$).

Колірний тон отриманих пігментів характеризується значеннями переважної довжини хвилі і знаходиться в межах 690–700 нм. Комбінації катіонів алюмінію з кобальтом після прожарювання забезпечують яскравий синій колір.

Висновки. Застосовуючи сукупність незалежних методів дослідження встановлений оптимальний інтервал значень рН для одержання осадів, що

є прекурсорами синтезу алюмокобальтової шпінелі. Утворення шпінелей із гідроксидів кобальту й алюмінію (спільне осадження) протікає набагато легше і за більш низької температури, ніж під час використання прекурсорами оксидних систем. Це пояснюється більш значним ступенем змішування вихідних фаз за спільного осадження катіонів, ніж під час механічного перемішуванні вихідних речовин.

Результати проведених досліджень дозволяють розробити наукові основи синтезу алюмокобальту з хімічно осаджених сумішей, що забезпе-

чить одержання його у високодисперсному стані за умов високого ступеня перетворення та можливості різкого зниження температури спікання матеріалів на його основі.

Сукупністю незалежних методів дослідження був установлений оптимальний інтервал значень рН для отримання осадів – прекурсорів синтезу алюмокобальтової шпінелі. Показано, що із осадів, отриманих в оптимальних умовах, в процесі подальшого термічного оброблення утворюється єдина фаза – алюмокобальтова шпінель.

Список літератури:

1. Cavalcante P. M. T. et al. Colour performance of ceramic nano-pigments. *Dyes and pigments*. 2009. Т. 80. №. 2. С. 226–232.
2. Zawadzki M. et al. CoAl₂O₄ spinel catalyst for soot combustion with NO_x/O₂. *Catalysis Communications*. 2011. Т. 12. №. 13. С. 1238–1241.
3. Michel C. R. CO and CO₂ gas sensing properties of mesoporous CoAl₂O₄. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2010. Т. 147. №. 2. С. 635–641.
4. Melo D. M. A. et al. Evaluation of CoAl₂O₄ as ceramic pigments. *Materials Research Bulletin*. 2003. Т. 38. №. 9–10. С. 1559–1564.
5. Bolt P. H., Habraken F. H. P. M., Geus J. W. Formation of nickel, cobalt, copper, and iron aluminates from α - and γ -alumina-supported oxides: a comparative study. *Journal of Solid State Chemistry*. 1998. Т. 135. №. 1. С. 59–69.
6. Salavati-Niasari M., Farhadi-Khouzani M., Davar F. Bright blue pigment CoAl₂O₄ nanocrystals prepared by modified sol-gel method. *Journal of sol-gel science and technology*. 2009. Т. 52. №. 3. С. 321–327.
7. Salavati-Niasari M., Farhadi-Khouzani M., Davar F. Bright blue pigment CoAl₂O₄ nanocrystals prepared by modified sol-gel method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2009. Т. 52. №. 3. С. 321–327.
8. Frolova L., Pivovarov A., Butyrina T. Synthesis of pigments in Fe₂O₃-Al₂O₃-CoO by co-precipitation method. *Pigment & Resin Technology*. 2017. Т. 46. №. 5. С. 356–361.
9. Колодяжний О.Т., Фролова Л.А., Макаренко Н.П., Прокопенко О.М. Дослідження лужного гідролізу хлориду кобальту. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2004. Т. 5. № 1. С. 153–157.
10. Fernández A. L., de Pablo L. Formation and the colour development in cobalt spinel pigments. *Pigment & Resin Technology*. 2002. Т. 31. №. 6. С. 350–356.
11. Петрухин О.М. Аналитическая химия. Химические методы. Москва: Химия. 1993. 308 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА СИНЕГО АЛЮМОКОБАЛЬТОВОГО ПИГМЕНТА

Исследован процесс гидроксидных осаджения в системе $Co^{2+} - Al^{3+} - SO_4^{2-} - H_2O$ при стехиометрическом соотношении катионов $Al^{3+} / Co^{2+} + = 2$. Установлена возможность соосаждения гидроксидов кобальта и алюминия, оптимальный интервал значений рН для получения осадков, являются прекурсорами синтеза синего пигмента. Определены температурные режимы проведения термолитиза.

Ключевые слова: шпінель, соосаждение, алюминат кобальта, цветовые характеристики.

STUDYING CONDITIONS OF SYNTHESIS OF BLUE COBALT ALUMINATE PIGMENT

The process of hydroxide deposition in the system of $Co^{2+} - Al^{3+} - SO_4^{2-} - H_2O$ at the stoichiometric ratio of cations $Al^{3+} / Co^{2+} + = 2$. The possibility of co-precipitation of cobalt and aluminum hydroxides, an optimum pH range for the preparation of precipitates of blue pigment synthesis, has been established. The temperature regimes of thermolysis are determined.

Key words: spinel, coprecipitation, aluminate cobalt, color characteristics.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.681

Дорохович А.М.

Національний університет харчових технологій

Горзей О.В.

Національний університет харчових технологій

ВИКОРИСТАННЯ ДИ- І МОНОСАХАРИДІВ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ФРУКТОВОЇ НАЧИНКИ ДЛЯ МАФІНІВ

У статті проведено аналіз хімічного складу абрикосового пюре й установлено доцільність його використання під час виробництва начинок для мафінів. Визначено оптимальне співвідношення рецептурних компонентів і їх вплив на органолептичні та фізико-хімічні властивості рецептурної суміші начинки. З'ясовано структурно-механічні властивості рецептурних сумішей на основі абрикосового пюре, цукру білого кристалічного, глюкози, фруктози й лактулози. Установлено вплив цукрів на ефективну в'язкість начинки.

Ключові слова: мафін, абрикосове пюре, сахароза, фруктоза, глюкоза, лактулоза, ефективна в'язкість.

Постановка проблеми. В асортименті борошняної кондитерської продукції важливе місце посідають мафіни, популярність яких постійно зростає за рахунок привабливого зовнішнього вигляду та різноманітного смаку.

Мафіни – один із нових для українських споживачів кондитерський виріб. Зовні мафіни схожі на кекси, вони поєднують у собі легку, ніжну структуру бісквіту, пористість кексів, але мають свою індивідуальність: замість маргарину або вершкового масла, які в кексів є основним структуроутворювачем, у технології мафінів використовується рослинна олія, котра багата на поліненасичені жирні кислоти й не містить транс-ізомерів жирних кислот [1, с. 57].

Зазвичай мафіни виготовляють на основі традиційної сировини (борошна, цукру білого кристалічного, меланжу) з додаванням спеціальної суміші, до складу якої входить сухий меланж, вологоутримуючі компоненти, сухе знежирене молоко, крохмаль, пекарські порошки Е 450; Е 500, емульгатори Е 472 і Е 471, Е 475, сіль, барвник тощо.

Мафіни можуть виготовляти з начинкою і без начинки. Найбільшим попитом користуються мафіни з драглеподібними начинками на основі фруктового пюре. Найбільш популярними є начинки, виготовлені з абрикосового пюре, яке має високі органолептичні показники та цінний

хімічний склад. Пюре з абрикос є джерелом вуглеводів, біологічно активних речовин і мінеральних сполук (таблиця 1).

Аналіз українського та закордонного ринку показує, що під час виробництва фруктово-ягідних начинок в основному використовують цукор білий кристалічний (сахарозу), однак мафіни є продуктом, який полюбляють діти, тому доцільно в рецептурі сахарозу замінити на глюкозу.

Останнім часом у світі дуже поширилося захворювання на цукровий діабет. Людям із цією хворобою не рекомендується вживати вуглеводи з високим глікемічним індексом (глікемічний індекс сахарози становить 68, глюкози – 100, фруктози – 20). Тому у виробництві мафінів, які можна споживати хворим на цукровий діабет, доцільно використовувати моносахарид фруктозу.

Сахароза, глюкоза, фруктоза за фізико-хімічними властивостями мають суттєві відмінності, безумовно, вони по-різному будуть впливати на структурно-механічні властивості начинки на основі абрикосового пюре.

Для надання мафінам статусу «функціональний харчовий продукт» доцільно під час їх виробництва застосовувати фізіологічно-функціональні інгредієнти (вітаміни, мінеральні речовини, пребіотики, пробіотики, рослинні волокна тощо). Кращим пребіотиком у світі визнано лактулозу, але даних щодо впливу лактулози на структурно-

Хімічний склад абрикосового пюре

Хімічний склад	Кількість у 100 г продукту	Хімічний склад	Кількість у 100 г продукту
Вода, г	87,0	Натрій, мг	3,0
Білки, г	1,2	Фосфор, мг	24,0
Вуглеводи, г	13,9	Сірка, мг	5,0
Органічні кислоти, г	1,0	Хлор, мг	1,0
Пектинові речовини, г	0,9	<i>Мікроелементи</i>	
Зола	0,4	Залізо, мг	0,6
<i>Вітаміни</i>		Цинк, мг	0,08
Бета-каротин, мг	3,0	Кремній, мг	4,0
Вітамін А (ретинол), мкг	500	Йод, мкг	0,5
Вітамін В ₁ (тіамін), мг	0,02	Алюміній, мкг	364,0
Вітамін В ₂ (рибофлавін), мг	0,03	Бор, мкг	120,0
Вітамін В ₃ (Ніацин), мг	0,03	Ванадій, мкг	22,0
Вітамін С, мг	5,0	Мідь, мкг	130,0
Вітамін РР, мг	0,7	Марганець, мг	0,2
<i>Макроелементи</i>		Молібден, мкг	7,0
Кальцій, мг	26,0	Нікель, мкг	30,0
Калій, мг	283,0	Фтор, мкг	10,0
Магній, мг	7,0	Хром, мкг	0,8

механічні властивості фруктової начинки для мафінів немає.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналітичний огляд літератури показав відсутність праць, присвячених розробленню мафінів з начинками дієтичного та функціонального призначення. Для надання мафінам з начинкою статусу «функціональний продукт» вирішено в начинку додавати пребіотик лактулозу. Для забезпечення мафінам статусу «дієтичний продукт» у рецептурах начинки сахарозу замінено на фруктозу, яка є доступною по ціні й має глікемічний індекс, утричі менший, ніж у цукру білого кристалічного.

Дисахарид лактулоза у світі визнаний найкращим пребіотиком. Завдяки тому, що в організмі людини відсутні ферменти, які б гідролізували лактулозу до галактози і фруктози, вона проходить через шлунково-кишковий тракт незміненою й доходить до товстої кишки, де сприяє розмноженню мікроорганізмів (кишкової флори), корисних для здоров'я людини. Використання лактулози надає функціональні властивості харчовим продуктам [2, с. 251].

Лактулоза володіє цінними властивостями: високою біфідогенною активністю, можливістю відновлювати захисну мікрофлору кишечника, сприяє лікуванню шлунково-кишкових, печінкових хвороб, пригнічує розвиток патогенної та

умовно патогенної мікрофлори, токсичних метаболітів, збільшує адсорбцію мінералів, зміцнює кістковий скелет людини. Добова норма ефективного вживання лактулози дорівнює 2–10 г.

Проведено велику кількість досліджень щодо раціонального використання пребіотика лактулози під час виробництва харчових продуктів. Проте даних щодо використання лактулози у виробництві начинок драгледоподібної структури й впливу лактулози на їх реологічні характеристики не знайдено.

Постановка завдання. Метою статті є визначення впливу дисахаридів (сахарози, лактулози) і моносахаридів (глюкози, фруктози) на структурно-механічні й органолептичні властивості фруктових начинок, які доцільно використовувати під час виробництва мафінів функціонального призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Начинку на основі абрикосового пюре готували, виходячи зі співвідношення між пюре та сахарозою 1,3:1. При заміні сахарози на глюкозу та фруктозу проводили перерахунок цукрів за вмістом сухих речовин: у 100 г цукру білого кристалічного вміст вологи становить 0,15 г, у 100 г фруктози – 2 г, у 100 г глюкози – 9 г.

Доцільно було визначити, як різна кількість цукрів (з урахуванням однакового вмісту сухих речо-

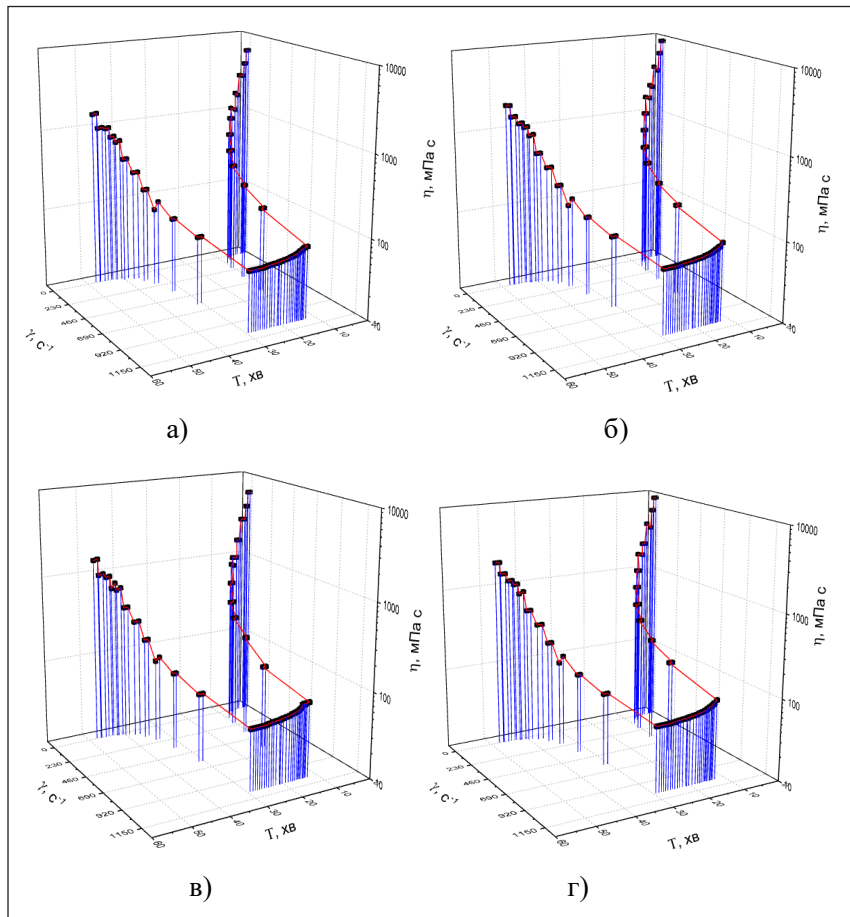


Рис. 1. Залежність ефективної в'язкості, мПа·с від швидкості зсуву, с⁻¹:
 а – рецептурна суміш на сахарозі; б – рецептурна суміш на фруктозі;
 в – рецептурна суміш на глюкозі; г – рецептурна суміш
 на глюкозі зі зменшенням на 30% умістом глюкози

вин) впливатиме на ефективну в'язкість рецептурної суміші. На рис. 1 показано вплив цукрів (сахарози, глюкози, фруктози) на значення ефективної в'язкості рецептурних сумішей $\eta_{ef} = f(\dot{\gamma})$, де швидкість зсуву змінюється в межах від 2,54 до 1073 с⁻¹.

Результати досліджень реологічних властивостей рецептурних сумішей подано в таблиці 2.

Аналіз отриманих даних показав, що в'язкість рецептурної суміші на основі фруктози і глюкози на 45,7% і 54,9%, відповідно, більша, ніж в'язкість рецептурної суміші на сахарозі. Підвищення ефективної в'язкості рецептурної суміші, отриманої на моносахаридах глюкозі та фруктозі відносно сахарози, пояснюємо різницею молекулярної маси цукрів: сахарози – 342, глюкози та фруктози – 180. Це свідчить про те, що кількість молекул глюкози та фруктози в рецептурній суміші буде в 1,9 разів більше відносно кількості молекул сахарози, тому й число водневих зв'язків з молекулами пектину

яблучного пюре буде більшим, що сприяє збільшенню в'язкості рецептурної суміші [3, с. 158].

З рецептурної суміші готують начинку з вологістю 30%. У процесі зберігання начинки встановлено, що через 10 год. при температурі 20°C (293 К) в начинці на глюкозі з'явилися кристали, а через добу начинка повністю кристалізувалась. На нашу думку, причиною кристалізації глюкози є її низька розчинність (таблиця 3).

У готовій начинці при температурі 333 К (60°C) кристалів не було, оскільки при цій температурі розчинність глюкози дорівнює розчинності сахарози, а при 20 °С розчинність стала меншою й розчин перейшов із насиченого в перенасичений стан. Тому для запобігання кристалізації глюкози прийнято рішення зменшення її дозування. Проведено комплекс досліджень і встановлено, що зменшення кількості глюкози в рецептурній суміші на 30% запобігає утворенню криста-

Реологічні характеристики рецептурних сумішей

Рецептурна суміш на	Значення реологічних характеристик, Па·с	
	η_1 – в'язкість непорушеної структури	η_2 – в'язкість порушеної структури
Сахарозі	15,3	0,042
Фруктозі	22,3	0,048
Глюкозі	23,7	0,048
Зменшене дозування глюкози на 30%	13,8	0,039

Розчинність сахарози, глюкози, фруктози залежно від температури

Назва цукрів	Розчинність залежно від температури, %				
	293 К (20° С)	303 К (30° С)	313 К (40° С)	323 К (50° С)	333 К (60° С)
Сахароза	67,09	68,7	70,42	72,65	74,18
Глюкоза	47,72	54,61	61,83	70,91	74,73
Фруктоза	78,94	81,64	84,34	86,90	89,10

Ефективна в'язкість

Абрикосова начинка на	$\eta_{\text{эф}}^0$, Па·с	$\eta_{\text{эф}}^p$, Па·с	$\eta_{\text{эф}}^b$, Па·с	$\eta_{\text{эф}}^b/\eta_{\text{эф}}^0$, %
Сахарозі та лактулозі	63,01	1,08	20,5	32,5
Фруктозі та лактулозі	82,1	1,7	36,7	44,7
Глюкозі та лактулозі	84,1	0,85	37,7	44,8
Глюкозі зі зменшенням її кількості на 30% і лактулозі	68,5	1,05	20,7	30,2

лів. Визначено ефективну в'язкість рецептурної суміші зі зменшеним умістом глюкози (рис. 1 г, таблиця 2). Отримані дані свідчать, що ефективна в'язкість рецептурної суміші зі зменшеним умістом глюкози приблизно дорівнює ефективній в'язкості рецептурної суміші на сахарозі. Установлено раціональне співвідношення рецептурних компонентів: абрикосове пюре: сахароза/фруктоза 1,3:1; абрикосове пюре: глюкоза 1,5:1.

Рецептурну суміш уварювали у відкритому варочному котлі до вологості 30%, яку визначали за допомогою рефрактометра. У кінці уварювання вводили лимонну кислоту та пребіотик лактулозу. Прийнято рішення вносити лактулозу в кількості 10% до маси начинки. Оскільки начинку дозуватимуть у мафін у кількості 30 г, то в готовому мафіні буде міститись 3 г лактулози, що надасть продукту функціональних властивостей.

Готову начинку охолоджували до 20°С і визначали в ній залежність ефективної в'язкості від градієнта зсуву (рис. 2).

У таблиці 4 наведені реологічні характеристики абрикосової начинки: $\eta_{\text{эф}}^0$ – ефективна в'язкість непорушеної структури; $\eta_{\text{эф}}^p$ – ефективна в'язкість порушеної структури; $\eta_{\text{эф}}^b$ – ефективна

в'язкість відновленої структури; T – коефіцієнт тиксотропії (співвідношення $\eta_{\text{эф}}^b/\eta_{\text{эф}}^0$).

Аспірантом А.В. Мурзіним під керівництвом д. т. н., проф. А.М. Дорохович розроблена методика оцінювання тиксотропії за площею петлі гістерезису й запропоновано класифікацію тиксотропних властивостей, згідно з якою тиксотропія всіх зразків начинки заслуговує на оцінку «добре» та «задовільно» [4, с. 67–68].

У виробничих умовах дуже часто бувають випадки, коли через низку причин відбувається передчасне формування структури начинки, тобто утворюється міцний гель, котрий складно дозувати. На виробництві таку начинку піддають механічному порушенню, але при невеликих швидкостях зсуву (3–5 с⁻¹). Хороші тиксотропні властивості свідчать про те, що після такого порушення структура начинки буде відновлюватись.

Висновки. У результаті проведеного комплексу досліджень установлено, що цукри (сахароза, глюкоза, фруктоза) мають різний вплив на структурно-механічні властивості рецептурної суміші та начинки на основі абрикосового пюре. Глюкоза і фруктоза збільшують ефективну в'язкість начинки щодо сахарози.

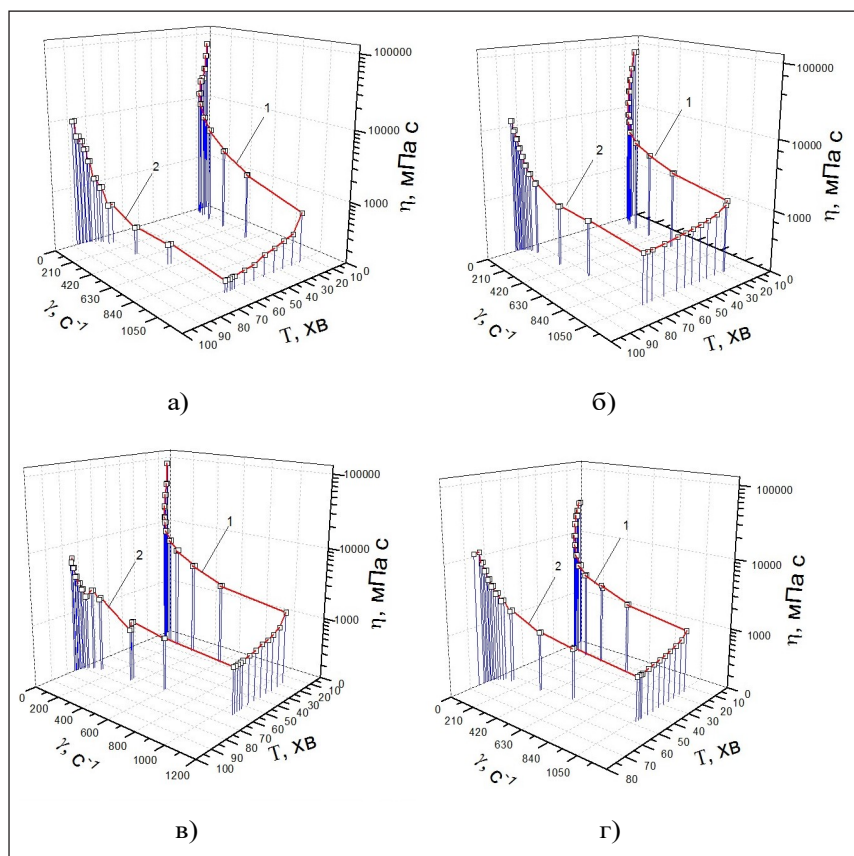


Рис. 2. Реологічні криві фруктової начинки:

а) з використанням сахарози та лактулози; б) з використанням фруктози та лактулози; в) з використанням глюкози та лактулози; г) з використанням глюкози зі зменшеним її дозуванням і лактулози

Крива 1 – пряма залежність, крива 2 – зворотна залежність.

Завдяки своїй низькій розчинності глюкоза сприяє процесу кристалізації, тому встановлено доцільність зменшення її кількості в рецептурній суміші на 30%, що забезпечує значення ефективної в'язкості, наближене до ефективної в'язкості на сахарозі.

Функціональні властивості абрикосової начинки на основі сахарози, глюкози та фруктози забез-

печує додавання пребіотика лактулози в кількості 10% до маси начинки, щоб 100 г готового мафіну з начинкою забезпечували добову потребу в лактулозі на 30%. У такому випадку мафін з начинкою на основі сахарози та лактулози, глюкози та лактулози заслуговує на статус «функціональний харчовий продукт», а на основі фруктози та лактулози – «дієтично-функціональний харчовий продукт».

Список літератури:

1. Дорохович А.Н., Лазоренко Н.П. Маффины функционального и диетического назначения. Научные труды на УХТ. 2012. № LIX. Том 59. С. 108–112.
2. Дорохович А.Н., Мурзин А.В., Пасечник Е.В. Использование пребиотика лактулозы при производстве фруктово-ягодных начинок. Новое в технологии и техника функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: матер. V Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж. гос. ун-та инж. технол., 4–5 июня 2015 года. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 250–253.
3. Горзей О.В., Дорохович А.М. Фруктовая начинка для маффинов функционального назначения. Продо-вольчі ресурси: зб. наук. пр. / НААН України; Ін-т прод. ресурсів НААН України. Луцьк: СПД Гадяк Жанна Володимирівна друкарня «Волиньполіграф»™, 2016. № 7. С. 157–162.
4. Мурзін А.В. Оздоблювальні напівфабрикати типу суфле для тортів і тістечок спеціального призначення: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.01 / Нац. ун-т харч. технологій. Київ, 2014. 200 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИ- И МОНОСАХАРИДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФРУКТОВОЙ НАЧИНКИ ДЛЯ МАФФИНОВ

В статье проведен анализ химического состава абрикосового пюре и установлена целесообразность его использования при производстве начинок для маффинов. Определено оптимальное соотношение рецептурных компонентов и их влияние на органолептические и физико-химические свойства рецептурной смеси начинки. Установлены структурно-механические свойства рецептурных смесей на основе абрикосового пюре, сахара белого кристаллического, глюкозы, фруктозы и лактулозы, влияние сахаров на эффективную вязкость начинки.

Ключевые слова: маффин, абрикосовое пюре, сахароза, фруктоза, глюкоза, лактулоза, эффективная вязкость.

THE USING OF DI- AND MONOSACCHARIDES IN THE PRODUCTION OF FRUIT FILLING FOR MUFFINS

The analysis of chemical composition of apricot puree has been carried out and the expediency of its using in the manufacture of fillings for muffins has been established. The optimal ratio of of prescription components and their influence on the organoleptic and physicochemical properties of prescription mixture have been determined. The structural and mechanical properties of prescription mixtures based on apricot puree, saccharose, glucose, fructose and lactulose are investigated. The influence of sugars on the effective viscosity of a jellylike stuffing has been established.

Key words: muffin, apricot puree, saccharose, glucose, fructose, lactulose, effective viscosity.

УДК 621.37:637.142

Маринін А.І.

Національний університет харчових технологій

Прохоренко Ж.І.

Національний університет харчових технологій

Святненко Р.С.

Національний університет харчових технологій

Мартиненко Т.А.

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ЕГО НА МІКРОФЛОРУ СОКОСТРУЖКОВОЇ СУМІШІ

Важливим показником мікробіологічної безпеки, якості, рівня санітарно-гігієнічних умов харчових виробництв є мікрофлора. У разі перевищення допустимого титру мікроорганізми можуть спричиняти псування готового продукту й навіть призвести до харчового отруєння. У Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій проведені експериментальні дослідження з метою вивчення дії впливу електрогідралічного оброблення (ЕГО) на контамінаційну мікрофлору, а саме на дріжджі, бактерії й мікроміцети.

Ключові слова: електрогідралічне оброблення (ЕГО), дріжджі, бактерії, мікроміцети, соко-стружкова суміш.

Постановка проблеми. Стружка цукрового буряку, дифузійний сік, трубопроводи й обладнання є сприятливим середовищем для великої кількості шкідливих мікроорганізмів, які під час обміну речовини споживають цукрозу. Особливо бурхливо розвиваються мікроорганізми у верхній частині дифузійного апарату, забруднюючи жомопресову воду.

У мікрофлорі сокостружкової суміші виявлено бактерії та дріжджі грибів *Lactobacterium brevis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuc. Dextranicus* Bac, *Megatherium*, дріжджові гриби *Sacch. Cerevisiae* та *Fragilis*. Особливо сприятливі умови для розвитку молочнокислих бактерій *Lact breve*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Dextranicus*. Вони утворюють із цукрози декстрини й особливу драглеподібну оболонку (капсулу).

Основним методом боротьби з мікроорганізмами в бурякоцукровому виробництві є використання технічного формаліну, який має досить токсичну дію, негативно впливає на наступні технологічні процеси та підвищує втрати цукру в мелясі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низкою дослідників [1, с. 52; 2, с. 20; 3, с. 42; 4, с. 189; 5, с. 121; 6, с. 158; 7, с. 92; 8, с. 186; 9, с. 147] доведено перспективність електрофізичної

обробки як напряду для харчової промисловості з метою інтенсифікації технологічних процесів і поліпшення якості продуктів і напівфабрикатів, зокрема для виробництва цукру, крохмалю, інуліну, фруктози тощо.

А.І. Українець, Ю.В. Слива, А.І. Маринін, В.П. Василів [10, с. 30; 11, с. 246; 12, с. 43] провели низку дослідів щодо вивчення електрогідралічного ефекту на рослину сировину. Об'єктом дослідження була інтенсифікація технології обробки харчової сировини. Основною сировиною для дослідження була сировина рослинного походження, зерновий крохмаль, дифузійний сік, цикорій, інулін тощо.

Експериментально встановлено, що активація електрогідралічним способом водно-вапняної суспензії сприяє зміні її агрегатного стану й підвищенню ефекту очищення дифузійного соку [13, с. 25].

М.А. Яцко, Н.А. Журавльова, З.П. Камнева, Л.Л. Корінецькая [14, с. 20] досліджували дію електрогідралічного оброблення (далі – ЕГО) на виноградну мезгу. У результаті досліджень встановлено збільшення вмісту дубильних речовин і підвищення забарвленості соків, отриманих з мезги. Це явище автори пояснюють тим, що під час електрогідралічного оброблення мезги відбу-

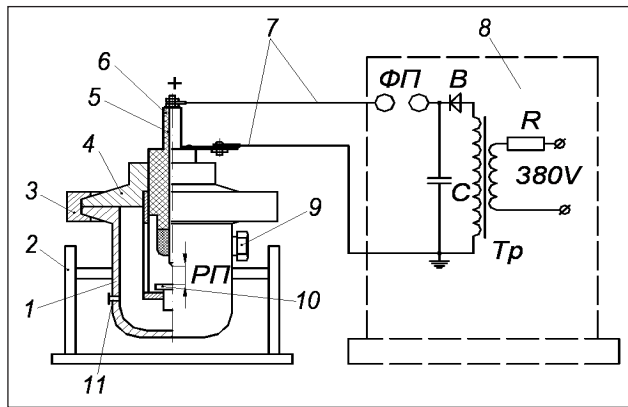


Рис. 1. Принципова схема експериментальної електрогідралічної установки:
 1 – електророзрядна камера; 2 – станина; 3 – хомут;
 4 – кришка; 5 – ізолятор; 6 – позитивний електрод;
 7 – високовольтні кабелі; 8 – генератор імпульсних струмів; 9, 11 – технологічні отвори; 10 – негативний електрод; РП – розрядний проміжок; ФП – формуючий проміжок; Тр – трансформатор; В – випростувач; R – зарядний опір; С – конденсатор

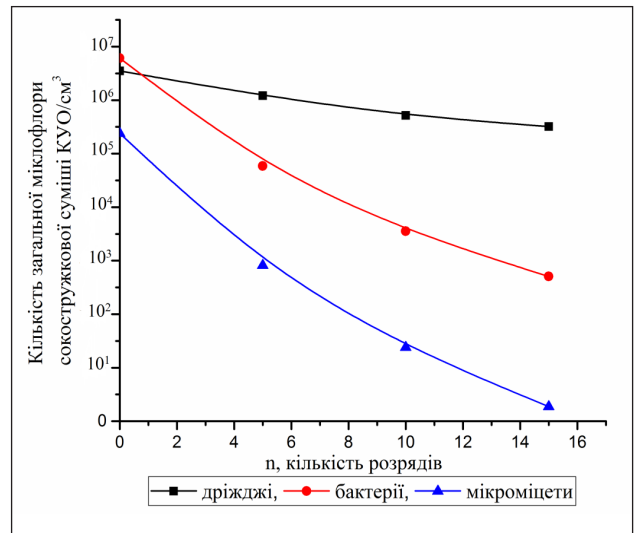


Рис. 2. Вплив режимів ЕГО на зміну загальної мікрофлори сокостружкової суміші при напрузі розряду U=35 кВ

Таблиця 1

Основні параметри генератора ГІТ 50-5x1/4С УХЛ4

Найменування параметрів	Норма	Граничне відхилення, %
1. Номінальна вихідна потужність, кВт	10	± 20
2. Номінальна вихідна напруга, кВ	50	± 5
3. Номінальна вихідна частота, Гц	2	± 10
4. Номінальна накопичувана енергія, кДж	5	± 20%
5. Енергія, що накопичується на канал розряду, кДж	5	± 20
6. Кількість каналів розряду, шт.	1	
7. Напруга мережі, В	380	± 5
8. Частота струму мережі, Гц	50 ± 1	
9. Кількість фаз мережі	3	
10. Повна потужність, кВА	18	± 15
11. Коефіцієнт корисної дії, %, не менше	80	
12. Коефіцієнт потужності, не менше	0,73	

вається більш повне відділення багатого дубильними та барвними речовинами шару м'якоті від шкірки ягід винограду

Автори [15, с. 53] досліджували вплив електроіскрового оброблення на молочну сироватку, збагачену магнієм і манганом. Експериментально доведено, що оброблення молочної сироватки в розрядній камері зі струмопровідним прошарком гранул магнію й відповідними електродами та/або зі струмопровідним прошарком гранул мангану й відповідними електродами сприяє підвищенню вмісту магнію в 1,8...3,2 рази й мангану в 1,9...5,6 разів залежно від тривалості оброблення.

Постановка завдання. У розвитку сучасних технологій харчових виробництв усе більшу роль відіграють процеси, засновані на використанні різних електрофізичних методів оброблення про-

дуктів і напівпродуктів. Відомо, що електрогідралічний ефект – складний комплекс фізичних і хімічних явищ, які виникають під час високовольтних електроімпульсних розрядів у рідині: високий тиск, потужні ударні хвилі, кавітаційні процеси, утворення парогазової бульбашки та її пульсація, світлове свічення каналу розряду, іонізація та розклад молекул речовини в плазмі каналу іскри й біля нього, інтенсивне ультрафіолетове та ультразвукове випромінювання, імпульсні магнітні й електричні поля.

У момент електроімпульсного розряду в рідині утворюється безрідинний канал іскри. Протягом декількох мікросекунд із каналу витісняється вся рідина. Швидко виділення енергії в каналі визначає вибуховий характер процесу, який зумовлює підвищення тиску до надзвичайних величин. Різке

зростання тиску призводить до деформації та руйнування клітин мікроорганізмів, що й чинить бактерицидну дію на мікрофлору рідини, яка обробляється. Для утворення такого ефекту необхідні невелика інтенсивність ударної хвилі, порівняно велика частота розрядів і час їх дії.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Як об'єкт дослідження використовувалася загальна мікрофлора сокостружкової суміші.

Під час проведення дослідження використовували експериментальну установку, розроблену фахівцями НУХТ «Національний університет харчових технологій», що зображена на рис. 1.

Основні параметри генератора імпульсних струмів наведено в таблиці 1.

Установка працює так. При включенні джерела живлення з конденсатором, який слугує накопичувачем електричної енергії, напруга на конденсаторі підвищується до значення, при якому відбувається самовільний пробій повітряного формуючого проміжку. Уся енергія, що запасена в конденсаторі, миттєво надходить до робочого проміжку в рідині, де й виділяється у вигляді короткого електричного імпульсу великої потужності, внаслідок чого виникають і розповсюджуються пружні хвилі високої інтенсивності. Далі процес при заданій ємності й напрузі повторюється з частотою, що залежить від потужності зарядного блоку. Розвиток іскрового розряду в часі відбувається шляхом послідовного «проростання» з тримерів у міжелектродному проміжку.

Для визначення загальної мікробної обсемененості проби дифузійного соку та суспензії зі змиву стружки висівали на середовище МПА (м'ясо-пептинний агар) і ГКА (глюкозо-картопляний агар) у необхідному розведенні у співвідношеннях 1:100000, 1:10000, 1:1000, 1:100, 1:10 з подальшим розливом у чашки Петрі та перемішували в термостаті.

Залежно від групи мікроорганізмів, що визначаються, чашки з досліджуваними пробами поміщали в термостаті з потрібною температурою: для групи мезофільних і слизоутворювальних бакте-

рій – +37 0С, для термофільних бактерій +55°С, для міцелійних грибів і дріжджів +25°С.

Посіви інкубували у перевернутому вигляді 24...72 години. Чашки з міцелійними грибами витримували до 7 діб.

Результати проведених досліджень щодо вивчення впливу ЕГО на життєздатність мікрофлори сокостружкової суміші наведено на рис. 2.

Як видно із залежності (рис. 2.), у контрольних пробах сокостружкової суміші спостерігається наявність життєдіяльності всього спектру мікрофлори – бактерії, мікроміцети і дріжджі. Електрогідрравлічне оброблення сокостружкової суміші в кількості розрядів 5 при напрузі $U=35$ кВ призводить до часткової інактивації деяких видів мікроміцетів і бактерій: кількість мікроорганізмів зменшилась у середньому на 50% порівняно з контролем.

Зростання кількості розрядів до 7...10 зменшує життєдіяльність мікроорганізмів у межах 71...87% порівняно з контролем, при цьому чутливими до знезаражуючої дії електрогідрравлічного ефекту виявилися вегетативні клітини бактерій, дріжджів, міцелійних грибів.

Під час електрогідрравлічного оброблення сокостружкової суміші з кількістю розрядів 15 і при напрузі $U=35$ кВ суттєвих змін щодо знезараження не спостерігається.

Отже, проведені дослідження показали принципову можливість і цілеспрямованість використання електричного розряду для ефективного пригнічення контамінаційної мікрофлори.

Висновки. На основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Досліджено вплив електрогідрравлічної обробки на процес інактивації контамінаційної мікрофлори сокостружкової суміші й установлено, що внаслідок ЕГО у відповідному режимі відбувається зменшення контамінаційної мікрофлори в середньому на 71...87% порівняно з контролем, що призводить до зменшення втрат цукрози.

2. Відкрито перспективи використання вітчизняних ЕГО-установок під час оброблення сокостружкової суміші.

Список літератури:

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. Ленинград: Машгиз, 1955. 50 с.
2. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. Москва: Наука, 1971. С. 20.
3. Василів В.П., Гулий І.С., Українець А.І. Дослідження впливу електроіскрових розрядів на властивості соків цукрового виробництва. Харчова промисловість. 2001. № 1 (46). С. 41–43.
4. Святненко Р.С., Маринін А.І., Кочубей-Литвиненко О.В. Вивчення впливу електрофізичних методів обробки на мікробіологічні показники харчових продуктів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. Вип. 1 (96). С. 125–130.

5. Вплив імпульсних електричних полів на амінокислотний склад незбираного молока / Р.С. Святненко, А.І. Українець, А.І. Маринін, О.І. Кочубей-Литвиненко, М.І. Бойко. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2018. № 24. № 1. С. 121.
6. Дослідження впливу імпульсних електромагнітних полів на органолептичні показники незбираного молока / Р.С. Святненко, А.І. Маринін, О.В. Кочубей-Литвиненко, М.І. Бойко. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2017. Т. 19. № 75. С. 157–160.
7. Влияние импульсного электромагнитного поля на жизнеспособность *Escherichia coli* в модельном растворе молочной сыворотки / Р.С. Святненко, А.И. Маринин, А.В. Кочубей-Литвиненко, В.Б. Захаревич. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Гжицького. 2016. Т. 18. № 2–3 (68). С. 92.
8. Вплив імпульсного електромагнітного поля на життєздатність *Escherichia Coli* в модельному розчині води / Р.С. Святненко, А.І. Маринін, А.І. Українець, О.В. Кочубей-Литвиненко. Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». 2016. № 252. С. 185–191.
9. Дослідження впливу електромагнітної обробки на мікроорганізми молочної сироватки / А.І. Українець, А.І. Маринін, Р.С. Святненко, М.І. Бойко, О.В. Кочубей-Литвиненко. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2016. № 179. С. 146–151.
10. Українець А.І. Розроблення технології та апаратури для подовження терміну зберігання харчових продуктів: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.18.12 «Процеси та апарати харчових виробництв». Київ, 1999. 43 с.
11. Слива Ю.В. Розроблення способу одержання дифузійного соку з використанням електроіскрових розрядів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.12 «Технологія цукристих речовин та продуктів бродіння». Київ, 2007. 25 с.
12. Маринін А.І. Розроблення та застосування імпульсного електрогідролітичного способу оброблення сировини рослинного походження: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.12 «Технологія цукристих речовин та продуктів бродіння». Київ, 2007. 20 с.
13. Маринін А.І., Олішевський В.В., Василів В.П. Вплив електрогідролітичного ефекту на отримання фруктозо-олігосахаридних сумішей. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у 21 столітті: матеріали 73-ої Наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Київ, 2007. Ч. II. С. 53.
14. Василів В.П., Гулий І.С., Українець А.І. Дослідження впливу електроіскрових розрядів на властивості соків цукрового виробництва. Харчова промисловість. 2001. № 1 (46). С. 41–43.
15. Кочубей-Литвиненко О.В. Изучение свойств и хранимоспособности сухой сыворотки, полученной с использованием электроискровой обработки. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2016. № 4.1. С. 53.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЭГО НА МИКРОФЛОРУ СОКОСТРУЖКОВОЙ СМЕСИ

Важным показателем микробиологической безопасности, качества, уровня санитарно-гигиенических условий пищевых производств является микрофлора. При превышении допустимого титра микроорганизмы могут вызывать порчу готового продукта и даже привести к пищевому отравлению. В Проблемной научно-исследовательской лаборатории Национального университета пищевых технологий проведены экспериментальные исследования с целью изучения действия влияния электрогидравлической обработки (ЭГО) на контаминационную микрофлору, а именно на дрожжи, бактерии и микромицет.

Ключевые слова: электрогидравлическая обработка (ЭГО), дрожжи, бактерии, микромицеты, сокостружковая смесь.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ECO MODES ON THE MICROFLOOR OF SOCOPLASTIC MIXTURE

An important indicator of microbiological safety, quality, and the level of sanitary-and-hygienic conditions of food production is microflora. When the titre is exceeded, microorganisms can cause damage to the finished product and even lead to food poisoning. In the Problem Research Laboratory of the National University of Food Technologies, experimental studies were conducted to study the effect of electrohydraulic treatment (ECO) on contaminating microflora, namely on yeast, bacteria and micromycetes.

Key words: electrohydraulic treatment (ECO), yeast, bacteria, micromixets, straw blend.

УДК 664.681.14

Миколенко С.Ю.

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

Козяр Ю.В.

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

РОЗРОБЛЕННЯ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПЕЧИВА НА ОСНОВІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ВИДІВ БОРОШНА

У статті описано технологічні аспекти створення печива дієтичного призначення, а саме продукту на основі нетрадиційних видів борошна, що не містить глютену. Здійснено огляд наукових праць, направлених на розроблення і покращення якості безглютенової продукції, зокрема борошняних кондитерських виробів. Досліджено вплив рецептурного складу печива на якість продукту. Визначено функціональні властивості борошняної безглютенової сировини. Обґрунтовано використання соргового та рисового борошна для виробництва печива дієтичного призначення.

Ключові слова: ціліакія, глютен, соргове борошно, рисове борошно, печиво, борошняні кондитерські вироби.

Постановка проблеми. Через погіршення стану довкілля, незбалансованість харчування людей поширення набули захворювання спричинені порушенням обміну речовин. Одним із таких захворювань є ціліакія [1]. Ціліакія (глютенова ентеропатія) – це аутоімунне захворювання, яке уражує тонкий кишечник генетично схильних осіб унаслідок споживання токсичного для них протеїну злакових – глютену, що міститься у пшениці, житі, ячмені та вівсі.

Ціліакія стрімко поширюється у всьому світі. Якщо ще донедавна ціліакія була розповсюдженою в основному в Європейських країнах, а саму хворобу вважали рідкісним явищем, то нині вона розповсюджується по всьому світу і є виключеною з переліку рідкісних захворювань [2]. Ця хвороба набуває поширення і в Україні. Із 2008 року в країні було створено Всеукраїнську спілку хворих на ціліакію. Однак сьогодні потреба в продуктах харчування для людей із глютенною ентеропатією задовольняється здебільшого продуктами закордонного виробництва [3]. Тому сьогодні існує потреба розроблення безглютенових продуктів харчування. Особливої уваги потребують борошняні кондитерські вироби, які користуються стійким попитом у населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Борошняні кондитерські вироби, зокрема печиво, є досить популярними серед населення, однак цей продукт традиційно виготовляється з пшеничного борошна, що робить його недоступним для людей хворих на ціліакію. Серед асортименту борошняних кондитерських виробів печиво займає най-

більшу питому вагу. Його виробництво становить близько 45% від загального обсягу виробництва вказаної кондитерської продукції [4]. Окрім того, печиво – це продукт, що відрізняється високим вмістом жирів та вуглеводів, але при цьому з низьким вмістом необхідних організму вітамінів та мікроелементів через використання у рецептурах здебільшого рафінованого пшеничного борошна вищого сорту.

Саме тому сьогодні актуальним є розроблення дієтичних продуктів харчування на основі нетрадиційних видів борошна, що дозволить збагатити продукцію необхідними вітамінами, макро- та мікроелементами і розробити харчову продукцію, що не містить глютену.

Безглютенові види борошна практично не впливають на оптимальні параметри термообробки напівфабрикатів, тобто температура під час випікання-сушіння печива залишається такою ж, як і для борошняних кондитерських виробів, які виготовляються на пшеничному борошні [5]. На особливу увагу (як сировина для виготовлення безглютенових продуктів харчування) заслуговують нетрадиційні види борошна, зокрема соргове та рисове борошно.

Соргове борошно виготовляють із сортів зернового сорго, яке є перспективною культурою для вирощування на території України (завдяки високій посухостійкості, врожайності та стійкому попиту на експорт) [6]. Цей вид борошна не містить у своєму складі глютену, володіє високою поживною цінністю, адже в його складі наявна велика кількість білків (10,6%) та вуглеводів

Водопоглинальна здатність борошна

Показник	Вид борошна			
	Пшеничне (контроль)	Соргове	Рисове	Гречане
Вологість, %	13,9	10,3	11,8	6,3
Водопоглинальна здатність, %	85	100	70	150

(60%). Також борошно із сорго містить калій, магній, фосфор, цинк, здатні сприятливо впливати на роботу серцево-судинної системи людини. Окрім того, соргове борошно багате на вітаміни групи В, які покращують роботу нервової системи, стимулюють синтез гемоглобіну, сприяють регулюванню рівня цукру в крові. Так, доведено доцільність використання соргового борошна для виготовлення бісквітних напівфабрикатів [7; 8].

Рисове борошно – нетрадиційний для України вид борошна, вироблений із рисового зерна, що не містить глютену. У складі цього борошна наявний повноцінний за амінокислотним складом рослинний білок, вітаміни групи В, цинк, натрій, калій, магній, фосфор. Усі ці речовини чинять сприятливу дію на організм людини, особливо на серцево-судинну та нервову системи. Відомо, що рисове борошно позитивно впливає на якість капілярів [9].

Гречане борошно виготовляють із гречаної крупи-ядриці, яка не містить глютену та має низький глікемічний індекс, що робить його перспективним продуктом харчування для людей, хворих на діабет. Гречане борошно містить велику кількість клітковини, що сприяє покращенню перистальтики кишечника, а також зниженню вмісту холестерину та цукру в крові. Також у ньому міститься значна кількість марганцю, міді, фосфору, заліза, кобальту, молібдену, магнію та цинку. Гречане борошно багате вітамінами групи В [10]. Доведено, що гречане борошно може слугувати основою для виробництва безглютенового хліба [11].

Окрім борошняної сировини, суттєвий вплив на якість печива чинять жири. Найчастіше використовується кондитерський жир або маргарин, які містять велику кількість трансжирів. Відомо, що їх споживання може сприяти стрімкому набору ваги, порушенню гормонального фону, пошкодженню стінок артерій, розвитку серцево-судинних захворювань [12]. Тому використання у рецептурі печива інших жирових компонентів (як більш корисних) є актуальним завданням. Рослинні олії, такі як кукурудзяна і льняна, представляють при цьому значний інтерес. Так, кукурудзяна олія, яку отримують із зародків кукурудзи,

характеризується високою біологічною цінністю. У її складі міститься лінолева кислота та значна кількість вітаміну Е (75 мг на 100 г олії), що позитивно впливає на роботу наднирників [13] і регулює гормональний стан. Льняна олія, яку видобувають із насіння льону олійного, унікальна за своїм жирокислотним складом, оскільки містить ω -3, ω -6 та ω -9 поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) [14]. Тому лляну олію рекомендують уживати для профілактики захворювань серцево-судинної системи. Використання купажу кукурудзяної і льняної олій фритюрним жиром у виробництві чипсів дозволило збагатити кінцевий продукт ПНЖК [15].

Постановка завдання. Мета роботи – розроблення рецептури та визначення оптимальних параметрів виробництва безглютенового печива на основі нетрадиційної борошняної сировини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виявити технологічні властивості соргового, рисового, гречаного борошна;
- розробити рецептури безглютенового печива з використанням рослинних олій;
- провести комплексну оцінку якості печива.

Виклад основного матеріалу дослідження. Борошняна сировина чинить визначальний вплив на якість печива. Важливим технологічним показником борошна є його водопоглинальна здатність, оскільки вона зумовлює формування якості кінцевого продукту, впливаючи на структурно-механічні властивості тіста, консистенцію готового продукту. Тому було проведено порівняльний аналіз водопоглинальної здатності різних видів борошна: пшеничного ТМ «Закрома» (контроль), соргового ТМ «Mrs. Tally», рисового та гречаного ТМ «World's rice». Водопоглинальну здатність борошна визначали за методикою, наведеною у роботі В.І. Дробот [16]. Результати досліджень відображено у табл. 1.

Як видно з табл. 1, всі нетрадиційні види борошна мають меншу вологість (порівняно з пшеничним). Водночас соргове і гречане борошно характеризуються більш високою водопоглинальною здатністю порівняно із пшеничним на

Таблиця 2

Органолептична оцінка якості печива на основі безглютенового борошна

Зразок	Показники, балів						Загальний бал
	Смак	Запах	Колір	Форма	Стан поверхні	Вигляд у зламі	
С100	4,5	5,0	5,0	4,5	4,2	4,7	27,9
СР 75/25	4,2	4,9	4,8	4,5	4,1	4,4	26,9
СР 50/50	4,1	4,9	4,4	4,5	4,3	4,3	26,5
СР 25/75	4,0	4,9	4,4	4,5	4,4	4,2	26,4
СГ 75/25	3,5	3,9	4	3,8	3,8	4,5	23,5
СГ 50/50	3	3,5	3,5	3,5	3,7	4,5	21,7
СГ 25/75	3	3,5	3,5	2,8	3,6	4,5	20,9

Таблиця 3

Вплив безглютенового борошна на якість печива

Показник	Рецептура			
	С100	СР75/25	СР 50/50	СР 25/75
Вологість, %	7,2	8,8	7,3	4,0
Намочуваність, %	192	208	243	231

Таблиця 4

Вплив купажів рослинних олій на якість соргового печива

Показник	Рецептура			
	К	КЛ 75/25	КЛ 50/50	КЛ 25/75
Вологість, %	7,2	6,2	6,3	6,7
Намочуваність, %	192	140	167	209

15 та 65% відповідно, а рисове, навпаки, меншу на 15%. Очевидно, це пов'язано із вмістом у сорговому і гречаному борошні периферійних частинок зернівки, що підвищує біологічну цінність такої сировини.

Сьогодні виділяють такі основні різновиди печива, як зтяжне, цукрове та здобне. Здобне та цукрове печиво відрізняються високим вмістом цукру та жиру, що не є доцільним під час виготовлення дієтичних продуктів харчування. Окрім цього, результати попередніх досліджень [17] свідчать про негативний вплив повної заміни пшеничного борошна на безглютенове для виробництва цукрового печива. Тому для розроблення печива дієтичного призначення за основу було обрано рецептуру зтяжного печива «Зоологічне» [4]. Основу рецептури складає борошняна сировина, тому для дослідних зразків замість пшеничного борошна використовували соргове і рисове (СР) або соргове і гречане (СГ), що додавали у співвідношенні 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 відповідно. Із таким самим співвідношенням борошняних сумішей було розроблено зразки печива з використанням соргового та гречаного борошна.

У процесі приготування печива спостерігалось формування більш розсипчастої структури тістового напівфабрикату на основі нетрадиційних видів борошна. Це можна пов'язати зі збільшеною водопоглинальною здатністю соргового і гречаного борошна. При цьому операції розкочування і відлежування, що є необхідними для отримання шаруватої структури, для безглютенового печива можна виключити із технологічного процесу, оскільки їх наявність не позначається на якості кінцевого продукту.

Досліджуваним зразкам було надано бальову оцінку за методикою [18]. Як видно із табл. 2, за результатами органолептичної оцінки зразків на основі суміші соргового і рисового борошна можна спостерігати незначне погіршення загальної оцінки якості зразків у порівнянні зі зразком, який був виготовлений виключно на основі соргового борошна.

Водночас уведення гречаного борошна у рецептуру печива викликає значне погіршення якості виробів. На рис. 1 показані органолептичні профілі печива, виготовленого з безглютенової борошняної сировини.

Вироби, виготовлені на основі соргового борошна мали найвищу оцінку за всіма показни-

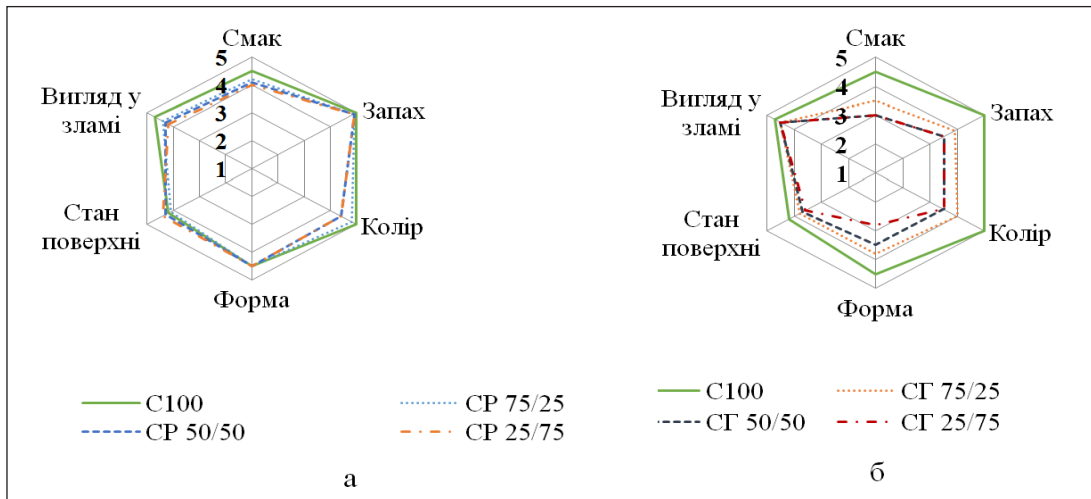


Рис. 1. Профілограми органолептичної оцінки безглютенового печива: а – виготовленого з додаванням рисового борошна; б – виготовленого з додаванням гречаного борошна

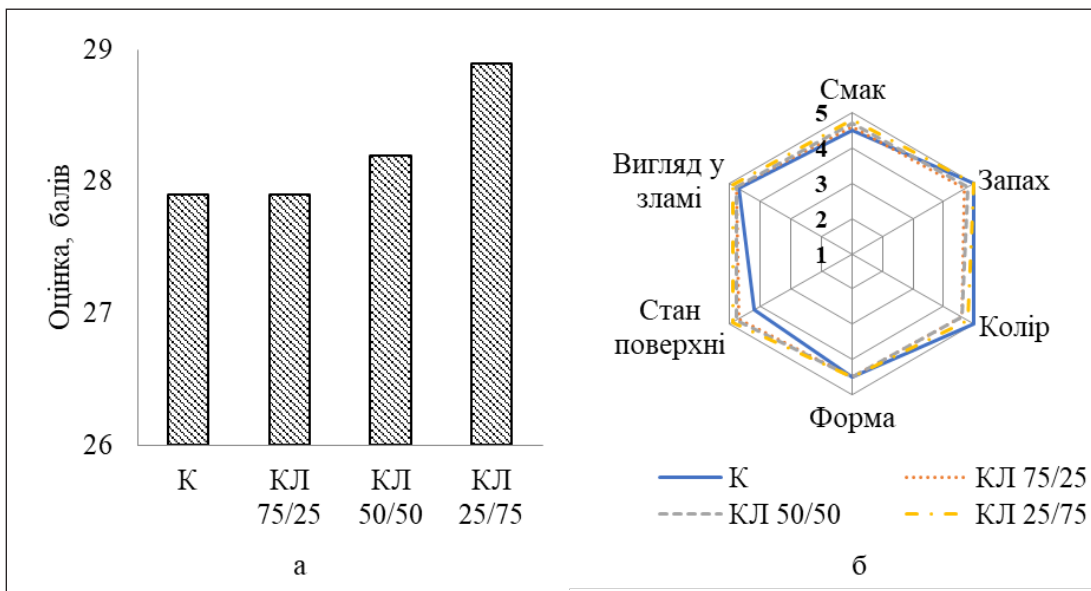


Рис. 2. Загальна оцінка якості (а) і профілограма органолептичної оцінки (б) соргового печива, виготовленого із використанням рослинних олій

ками, а зразки на основі суміші соргового та рисового борошна поступають йому за кольором, смаком і виглядом у зламі. Слід зазначити, що якість печива суттєво знижується зі збільшенням частки гречаного борошна майже за усіма критеріями оцінки виробу. Тому очевидним є недоцільність використання гречаного борошна у рецептурі затяжного безглютенового печива.

Зразки безглютенового печива із сорговим і рисовим борошном було проаналізовано за показниками вологості й намоочуваності (табл. 3).

Установлено, що під час введення невеликої кількості рисового борошна у рецептуру печива вологість кінцевого продукту спершу зростає, а за умов подальшого збільшення вмісту рисового

борошна у рецептурі вологість різко знижується. Зменшення вологості зразків печива зі збільшенням вмісту в складі рисового борошна пов'язано з його меншою водопоглинальною здатністю порівняно із сорговим борошном, що призводить до наявності в напівфабрикаті більшої кількості вільної вологи, яка випаровується під час теплового оброблення. Для всіх дослідних зразків печива показники вологості та намоочуваності знаходяться у межах норми відповідно до ДСТУ 3781–98 [19]. Але слід зазначити, що зі збільшенням вмісту в рецептурі рисового борошна показник намоочуваності помітно зростає, що може бути зумовлено його більшою пористістю, тобто крихкістю. Зважаючи на одержані результати, найбільш доцільним

є використання соргового борошна у рецептурах зтяжнього безглютенового печива.

Для вдосконалення складу безглютенового печива на основі соргового борошна у його склад було введено купаж кукурудзяної і рослинної олій замість маргарину, передбаченого стандартною рецептурою. Для визначення оптимальних співвідношень олій у купажі зразки виготовляли із заміною маргарину на купаж кукурудзяної і льняної олій (КЛ), що використовувались у співвідношенні 75/25, 50/50, 25/75 відповідно. Для одержаних зразків печива проведено балоу оцінку органолептичних показників якості (рис. 2).

Установлено, що усі зразки печива, виготовлені на сумішах олій, відрізняються більш високими органолептичними характеристиками, зокрема смаком, виглядом на зламі, станом поверхні, порівняно із контрольним зразком, виготовленим із використанням маргарину. За загальною оцінкою найвищу якість мали зразки соргового печива із додаванням купажу олій кукурудзяної до льняної як 1:3.

Дослідні зразки проаналізовано за показниками вологості і намочуваності (табл. 4). Усі зразки соргового печива відповідали вимогам ДСТУ 3781–98 за показниками вологості, що коливалась у межах 6,3–7,2%.

Щодо намочуваності, то слід вказати на зменшення показника намочуваності між контрольним зразком та зразком із вмістом кукурудзяної олій 75%, що свідчить про зниження пористості цього зразка порівняно з контрольним. Проте зі збільшенням вмісту в олійних сумішах льняної олій показник поступово зростає, що свідчить про збільшення пористості виробів.

Висновки. Застосування нетрадиційних видів борошна у виробництві хлібобулочних та борош-

няних кондитерських виробів із метою створення продуктів дієтичного призначення та розширення асортименту продуктів із підвищеної біологічної цінності є актуальним. Тому в роботі було досліджено вплив нетрадиційних видів борошна, зокрема соргового, рисового і гречаного борошна, на показники якості зтяжнього печива.

За органолептичною оцінкою зразки печива з додаванням гречаного борошна відрізнялися погіршення загальної оцінки якості виробів на 14–25% порівняно з виробами, виготовленими виключно на основі соргового та сумішах соргового та рисового борошна. Тому гречане борошно недоцільно використовувати основою рецептури зтяжнього безглютенового печива.

Збільшення вмісту в рецептурі рисового борошна призводить до зниження вологості виробів до 4% і збільшення пористості виробів, на що вказує зростання показника намочуваності. За органолептичною оцінкою печиво із додаванням рисового борошна поступається виробам на сорговому борошні за кольором, смаком, виглядом на зламі, що погіршуються зі збільшенням частки рисового борошна у рецептурі виробів. Тому більш доцільним для виробництва безглютенового печива є соргове борошно.

Збагачення печива поліненасиченими жирними кислотами було досягнуто за рахунок введення у склад рецептури соргового печива купажу кукурудзяної і льняної олій у співвідношенні 1:3. Зразки печива, виготовлені на купажах рослинних олій, характеризувались поліпшеним смаком, виглядом на зламі, станом поверхні та виключали використання у рецептурі трансжирів, що позитивно позначиться на здоров'ї споживачів.

Список літератури:

1. Дробот В.І., Грищенко А.М. Вимоги до хлібобулочних виробів для хворих на целиацію. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2009. № 6 (55). С. 33–34.
2. Губська О.Ю. Целиація: поширення, особливості клінічного перебігу, діагностики, лікування та одужання хворих: автореф. дис. ... док. мед. наук.: 14.01.36. Київ, 2009. 34 с.
3. Дробот В.І., Грищенко А.М. Проблеми розробки та оцінки якості безглютенових хлібобулочних виробів. Товарознавство та ринок споживчих товарів: реалії та перспективи. збірник тез наук. праць студ., асп. та молодих вчених. М-во освіти і науки України, Дон. нац. ун-т ім. М. Туган-Барановського. Донецьк: ДонНУЕТ. 2013. С. 130–131.
4. Дорохович А.М., Ковбаса В.М. Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів: навч. посіб. Київ «Інкос», 2015. 632с.
5. Дорохович В. В. Розроблення технологій борошняних кондитерських виробів спеціального призначення. Харчова наука і технологія. 2010. №1. С. 82–85.
6. Кононов В.М., Селиванова В.Ю. Пищевое сорго – перспективная зерновая культура. Научно-аграрно-экономический журнал. 2008. С. 26–27.
7. Черная Н.В., Сафонова О.Н. Исследование физических свойств теста на основе мучных смесей из пшеничной и сорговой муки. Зерно і хліб. 1998. №3. С. 34.

8. Чорна Н.В., Лисюк Г.М., Кучерук З.І. Зміна показників бісквітних напівфабрикатів із сорговим борошном у присутності водотривких домішок. Тез. доп. наук.-практ. конф. «Стан і проблеми розвитку торгівлі і харчування на Україні». Харків: ХДАТОХ, 1997. С. 5.

9. Карпюк Г.С., Шелудько В.Н. Теоретическое обоснование использования рисовой муки и ягод годжи в технологи капкейков. Торговое дело: Молодежь – будущее отрасли: IV Международная инновационная научно-практическая конференция, июнь 2016 г. Москва, 2016. С. 55–57.

10. Дробот В.И., Михоник Л.А., Грищенко А.М. Продукты функционального назначения. Мир продуктов. 2009. № 9. С. 6–8.

11. Дробот В.І., Грищенко А.М. Технологічні аспекти використання борошна. Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. 2013. Вип. 30. С. 52–58.

12. Кураченко Н.М., Грубник Є.Б. Трансгенні жири Хімічні аспекти екології: зб. матеріалів VIII міжфакультетської наук.-пізнав. конф. викл. та студ. кафедри хімії екол. ф-ту ЖНАЕУ, 18 листоп. 2015 р. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2015. С. 19–21.

13. Харченко Г.М. Физико-механические свойства растительных масел. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. № 4 (42). С. 54–58.

14. Криськова Л.П., Лялик А.Т. Ляна олія як джерело омега-3 та омега-6 поліненасичених жирних кислот. XX наукова конференція ТНТУ ім. І. Пулюя. Тернопіль, 17–18 травня 2017р. Тернопіль. ТНТУ 2017.

15. Коваленко О.А., Ковбаса В.М., Радзівєвська Г.І. Дослідження стабільності рослинних олій та їх купа-жів при обсмажуванні картопляних чіпсів. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. Харків: ХДУХТ, 2016. Вип. 1 (23). С. 223–231.

16. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навч. посіб. / В. І. Дробот та ін.; Київ. Нац. ун-т харч. технол. Київ: Кондор, 2015. 972 с.

17. Миколенко С.Ю., Козяр Ю.В., Чернишук Т.П. Використання соргового борошна для виробництва цукрового печива. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тези доповідей 84-а наук. конф. студ., аспір. і молод. вчених. Київ, 23–24 квітня 2018. Київ: НУХТ, 2018. Ч. 1. С. 169.

18. Дорохович А.М. Розроблення і виробництво кондитерських виробів, хімічний склад яких відповідає вимогам нутріціології відносно потреб харчування різних груп населення – як одна з головних проблем кондитерської галузі. Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 9 вересня 2015 р. Київ. НУХТ, 2015. С. 9-13.

19. ДСТУ 3781 – 98. Печиво. Загальні технічні умови [чинний від 01.07.1999]. Вид офіц. Київ, Держспоживстандарт України, 1998. 22 с. (Національний стандарт України).

РАЗРАБОТКА БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПЕЧЕНЬЯ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ МУКИ

В статтє описана можливість изготовления печенья диетического назначения, а именно продукта изготовленного на основе нетрадиционных видов муки, которая не содержит глютен. Осуществлен обзор научных работ, направленных на разработку и улучшение качества безглютеновой продукции, в частности мучных кондитерских изделий. Исследовано влияние рецептурного состава печенья на качество продукта. Определены функциональные свойства мучного безглютенового сырья. Обосновано использование сорговой и рисовой муки для производства печенья диетического назначения.

Ключевые слова: целиакия, глютен, сорговая мука, рисовая мука, печенье, мучные кондитерские изделия.

DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE COOKIES MADE WITH NON-TRADITIONAL FLOUR

The article describes the possibility of making cookies for dietary purposes, specifically a product made on the basis of gluten-free flour. Research was aimed at developing and improving the quality of gluten-free products, in particular flour confectionery ones. Influence of the composition of cookies on the quality of the product was considered. Functional properties of gluten-free raw materials are determined. The use of sorghum and rice flour for the production of dietary cookies is substantiated.

Key words: celiac disease, gluten, sorghum flour, rice flour, cookies, flour confectionery products.

УДК 641.561

Силка І.М.

Національний університет харчових технологій

Кирпіченкова О.М.

Національний університет харчових технологій

Карпенко В.О.

Національний університет харчових технологій

СТРАВИ УКРАЇНСЬКОЇ КУХНІ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОГО ХАРЧУВАННЯ

У статті наводяться дані досліджень щодо розроблення нової технології галушок підвищеної харчової цінності. Для підвищення харчової цінності додано гречане борошно, житні висівки та порошок мускатного горіху. На основі отриманих результатів розроблено технологічну схему, нову рецептуру, розраховано хімічний склад яблучних галушок, обґрунтовано доцільність використання добавок для розширення асортименту борошняних виробів підвищеної харчової цінності в закладах ресторанного господарства.

Ключові слова: галушки, технологія, гречане борошно, житні висівки, харчова цінність.

Постановка проблеми. Населення України відчуває дефіцит білків, харчових волокон, мікро-нутрієнтів, тому що порушується структура харчування і використовується багато рафінованих продуктів. Традиційні продукти харчування не здатні забезпечити організм людини всіма необхідними речовинами. У сучасному харчуванні набувають актуальності розроблення нових продуктів та вдосконалення класичних страв із метою підвищення харчової цінності.

Українська кухня зумовлена способом життя народу, більшість представників якого займалась важкою хліборобською працею. Тому для української кухні характерні калорійні страви, багаті на жири, вуглеводи. До них належать галушки – страва з вареного тіста у вигляді квадратиків або кульок. Існує багато різних видів галушок, але основною сировиною для їх приготування залишається борошно пшеничне вищого або першого сорту – продукт багатий на крохмаль і бідний на біологічно-активні речовини.

Додавання натуральних рослинних інгредієнтів дозволить збільшити у страві кількість вітамінів, макро- та мікроелементів, необхідних для забезпечення життєдіяльності людини.

Повсякденна їжа повинна містити в достатній кількості й оптимальному співвідношенні всі необхідні організму речовини. Для побудови, відновлення клітин і тканин, обміну речовин і енергії організму людини потрібно близько 70 хімічних сполук. Їжа людини повинна бути хімічно різноманітною, містити всі необхідні поживні речовини.

Постановка завдання. Метою наукової роботи є розроблення нової технології яблучних галушок із підвищеною харчовою цінністю.

Об'єкт дослідження – технологія яблучних галушок.

Предмет дослідження – яблучні галушки, житні висівки, гречане борошно.

Методи дослідження: органолептичні, фізико-хімічні, експериментальної оцінки, порівняння, математичного оброблення експериментальних даних на основі комп'ютерних технологій.

Контролем було обрано стандартну рецептуру яблучних галушок [1].

Гречане борошно – натуральний дієтичний продукт, виготовлений із зерен гречки, містить у собі значну кількість вітамінів групи В і вітамін Е, легкокорозинні фракції білків – альбуміни й глобуліни, які визначають високе засвоєння – до 78 %, а також 18 амінокислот (серед яких цистин і цистеїн підвищують очищення організму від шлаків та радіоактивних сполук, а гистидин сприяє нормалізації росту у дітей). Біологічна повноцінність білків гречаного борошна наближена до білка курячого яйця і сухого молока (як найбільш збалансованих і цінних). На жаль, гречане борошно не користується особливою популярністю серед населення. А дарма, бо у ньому набагато більше користі, ніж у пшеничному, крім того, гречане борошно – відмінний продукт у дієтичному харчуванні. Його можна використовувати практично в будь-якій випічці. Наприклад, дуже смачні

Модельно-харчові композиції яблучних галушок «Яблучні смаколики»

Сировина	Контроль (яблучні галушки)	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
Яблуко	52	52	52	52
Яйце куряче	5	5	5	5
Цукор	5	5	5	5
Молоко	5	5	5	5
Борошно пшеничне	20	10	10	10
Борошно гречане	-	5	7	8
Житні висівки	-	5	3	2
Мускатний горіх (порошок)	-	2	2	1
Вихід страви	100	100	100	100

Таблиця 2

Органолептичні показники яблучних галушок «Яблучні смаколики»

Яблучні галушки	Оцінка за показниками якості					Середня оцінка
	Зовнішній вигляд	Смак	Запах	Колір	Консистенція	
	Коефіцієнт вагомості					
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Контрольний зразок	5,0	4,9	4,7	5,0	5,0	4,92
Дослід 1	4,8	4,8	4,7	4,9	4,8	4,80
Дослід 2	4,9	4,9	4,7	4,9	4,9	4,86
Дослід 3	5,0	4,9	4,7	5,0	5,0	4,92

гречані млинці, пісні пельмені, хліб із гречаним борошном, ладки, галушки і т. д [2].

Житні висівки є побічним продуктом борошномельної промисловості, вони складаються з оболонки зерен жита та залишків борошна в них. Житні висівки застосовують у виготовленні хлібобулочних виробів, кулінарії, лікувально-профілактичному харчуванні [3].

Висівки містять велику кількість корисних харчових волокон, які за умов регулярного вживання сприяють попередженню і лікуванню безлічі хвороб. Крім клітковини, житні висівки містять білки, вуглеводи, жири і корисні мінерали, а також кальцій, залізо, полісахариди, фосфор, цинк, марганець, ліноленову кислоту, тіамін В1, токоферол Е, рибофлавін В2 холін В4, пантотенову кислоту В5, ніотинову кислоту В3 і т. д [3].

Уживання житніх висівок у їжу сприяє очищенню шлунково-кишкового тракту від токсинів і шлаків, зниження холестерину в організмі, позбавленню від закріпів і дисбактеріозу, нормалізації обміну речовин. Висівки жита містять антиоксиданти, добре засвоюються в організмі завдяки хрому і селену, які сприяють уповільненню старіння, а також профілактики та лікування онкологічних захворювань. Не менш важливу роль висівки грають і для здоров'я щитовидної залози, в них міститься велика кількість йоду. А відвар із них відмінно допомагає при бронхітах та інших

простудних захворюваннях, а також імунозміцнюючим і відхаркувальним засобом [4].

Мускатний горіх – плід тропічного мускатника запашного, прекрасного вічнозеленого дерева, яке може плодоносити до 50 років. Аромат мускатного горіха пряний і чуттєвий, зумовлений високим вмістом ефірних олій (7–15%). Цю пряність широко і давно використовують протягом декількох тисячоліть усі народи світу. Він має дуже багато цінних лікувальних якостей. Мускатний горіх є засобом профілактики онкологічних і аутоімунних захворювань, застосовується під час безсоння завдяки антидепресивній та заспокійливій дії, покращує травлення і значно підвищує апетит, підвищує імунітет, є засобом профілактики ГРЗ та інших вірусних захворювань, при анемії підвищує рівень гемоглобіну (містить залізо і фолієву кислоту), має антиоксидантну дію. У кулінарії цей горіх незамінний. Для створення неповторного смаку і запаху страв із рису, картоплі, борошна, випічки, грибів і т.д. Господині всього світу і провідні кулінари широко його застосовують [2].

Яблучні галушки готували за класичною технологією [1].

Дослідні зразки готували з додаванням 25% житніх висівок та 25% гречаного борошна замість 50% пшеничного, з додаванням 2% порошку мускатного горіха (дослід 1); 30% житніх висівок та 70% гречаного борошна замість 50% пшеничного, з додаванням 2 % порошку мускатного горіха

Аналіз зміни хімічного складу яблучних галушок
із додаванням гречаного борошна та житніх висівок, на 100 г

Назва показників	Яблучні галушки	Яблучні галушки з додаванням нової сировини	Відхилення +,-	Відхилення %
<i>Харчова цінність</i>				
Білки, г	3,26	3,66	0,40	12,21
Жири, г	1,26	1,77	0,51	40,16
Вуглеводи, г	25,20	25,20	0	0
Харчові волокна, г	2,15	3,42	1,27	59,02
Вода, г	67,06	65,60	-1,45	-2,17
Моно і дісахариди, г	11,36	11,28	-0,08	-0,69
Крохмаль, г	13,74	13,01	-0,73	-5,6
Зола, г	0,56	0,63	0,08	13,51
Енергетична цінність, ккал	126,85	131,70	4,85	3,83
<i>Макроелементи</i>				
Кальцій, мг	24,10	27,45	3,35	13,88
Магній, мг	15,95	17,42	1,47	9,19
Натрій, мг	26,95	26,79	-0,16	-0,59
Калій, мг	230,35	230,35	0	0
Фосфор, мг	44,25	56,70	12,45	28,14
<i>Мікроелементи</i>				
Залізо, мг	2,00	4,70	2,71	135,59
Йод, мкг	2,75	2,84	0,09	3,35
Мідь, мкг	112,25	127,90	15,65	13,94
Цинк, мг	0,38	1,25	0,87	233,25
Марганець, мг	0,26	1,64	1,38	539,50
Фтор, мкг	8,95	16,07	7,12	79,55
<i>Вітаміни</i>				
Вітамін В ₁ (тіамін), мг	0,08	0,20	0,12	166,27
Вітамін В ₂ (рибофлавін), мг	0,06	0,12	0,06	109,74
Вітамін В ₄ (холін), мг	0,28	0,41	0,12	43,58
Вітамін В ₅ , мг	0,17	0,31	0,14	81,0
Вітамін В ₆ (піридоксин), мг	0,11	0,13	0,02	21,04
Вітамін В ₁₂ (кобаламіни), мкг	0,05	0,05	0	0
Вітамін А, мг	0,02	0,02	0	0
β-каротин, мкг	0,02	0,02	0	0
Вітамін С, мг	6,57	6,47	-0,10	-1,52
Вітамін D, мкг	0,11	0,11	0	0
Вітамін Е, мг	0,52	0,74	0,22	41,54
Вітамін РР (ніацин), мг	0,65	0,77	0,13	19,25

(дослід 2); 20% житніх висівок та 80% гречаного борошна замість 50% пшеничного, з додаванням 1% порошку мускатного горіха (дослід 3).

Модельно-харчові композиції досліджуваної страви наведено у таблиці 1.

Після проведеного дослідження органолептичних показників можна побачити, що найоптимальнішою є заміна 50 % пшеничного борошна гречаним борошном (що змінює колір галушок, роблячи їх більш унікальними) та житніми висівками (що дещо покращує консистенцію та

смакові якості) у співвідношенні 4:1, а також додавання 1% мускатного горіха, тобто дослід 3. Визначено хімічний склад яблучних галушок «Яблучні смаколики» з додаванням гречаного борошна, мускатного горіху та житніх висівок (табл. 3).

Аналіз показників хімічного складу галушок показав, що додавання нової сировини сприяє збільшенню загального вмісту мінеральних речовин (зокрема кальцій – на 13,88 %, магній – на 9,19 %, залізо – на 135,59 %, цинк – на 233,25 %),

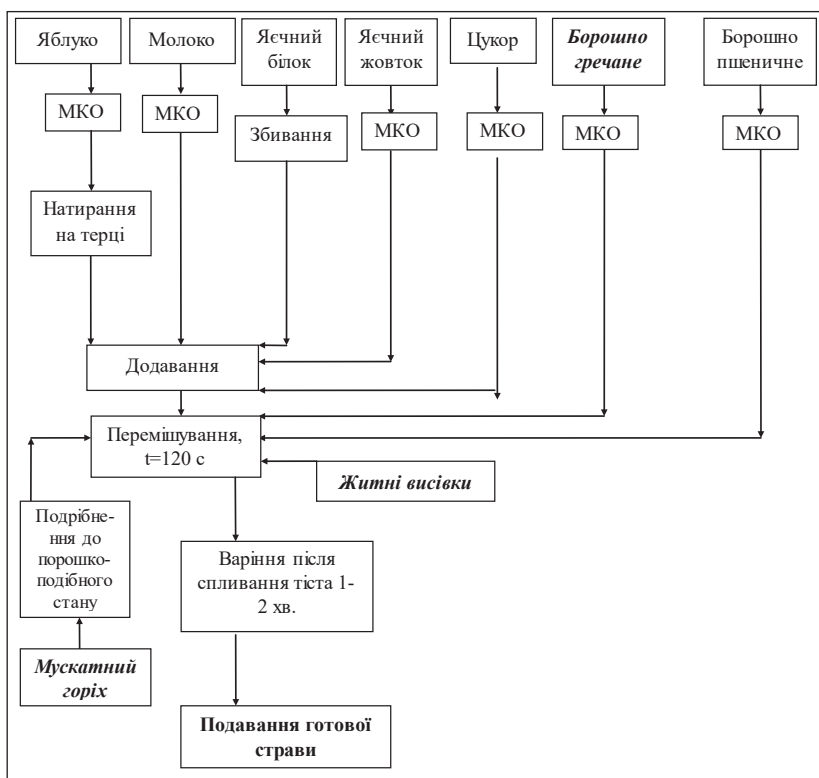


Рис. 1. Технологічна схема приготування яблучних галушок «Яблучні смаколики» з додаванням гречаного борошна та житніх висівок

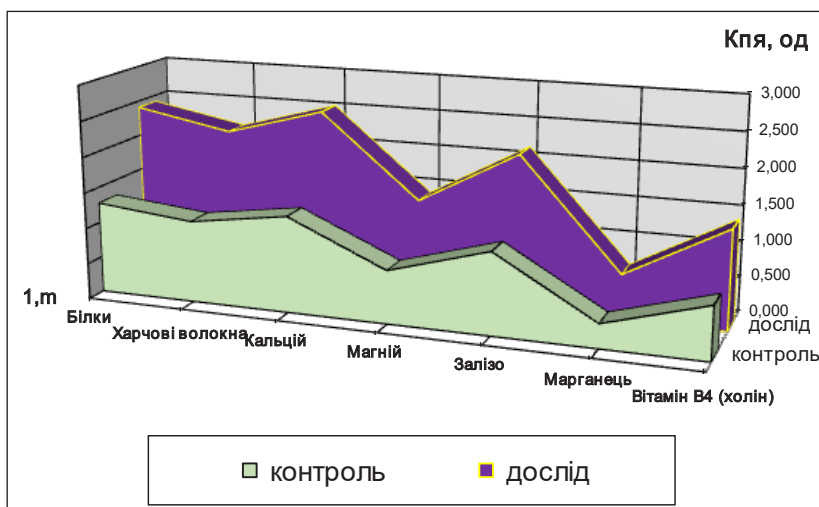


Рис. 2. Модель якості яблучних галушок «Яблучні смаколики» з додаванням гречаного борошна та житніх висівок

вітамінів групи В, підвищенню вмісту білку – на 12,29 %, харчових волокон – на 59,02 %.

Технологічна схема приготування досліджуваної страви зображена на рис. 1.

Ураховуючи проведені дослідження і розрахунки будуємо модель якості розробленої страви. Для побудови моделі якості використано такі показники: білки, харчові волокна, кальцій, магній, залізо, марганець, холін. Ці показники мають велике значення для забезпечення якості продук-

тів харчування та підвищення в стравах харчової і біологічної цінності. Модель якості наведена на рис. 2.

Висновки. Підсумовуючи дані досліджень, доходимо висновку, що розроблені яблучні галушки «Яблучні смаколики» з додаванням гречаного борошна, житніх висівок та порошку мускатного горіху дають можливість розширити асортимент борошняних виробів підвищеної харчової цінності в закладах ресторанного господарства.

Список літератури:

1. Збірник рецептур страв української кухні. / Мін-во торгівлі України. Київ: Техніка, 1992. С. 214.
2. Карпенко П.О., Пересічна С.М., Грищенко І.М., Мельничук Н.О. Основи раціонального і лікувального харчування: навч. посіб.; за заг. ред. П.О. Карпенко. Київ: КНТЕУ, 2011. 504 с.
3. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Москва: ДеЛи принт, 2007. 275 с.
4. Технологія продуктів харчування функціонального призначення. Монографія / А.А. Мазаракі, М.І. Пересічний, М.Ф. Кравченко та ін.; за ред. М.І. Пересічного. Київ: КНТЕУ, 2012. 1116 с.

БЛЮДА УКРАИНСКОЙ КУХНИ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННОГО ПИТАНИЯ

В статье приводятся данные исследований по разработке новой технологии галушек повышенной пищевой ценности. Для повышения пищевой ценности добавлено гречневую муку, мускатный орех и ржаные отруби. На основе полученных результатов разработана технологическая схема, новая рецептура, рассчитан химический состав яблочных галушек, обоснована целесообразность использования добавок для расширения ассортимента мучных изделий повышенной пищевой ценности в заведениях ресторанного хозяйства.

Ключевые слова: галушки, технология, гречневая мука, ржаные отруби, пищевая ценность.

UKRAINIAN CUISINE IN THE CONTEXT OF MODERN NUTRITION

The article presents research data on the development of new technology dumplings of high biological value. To improve the biological value of buckwheat flour added and rye bran. Based on the results obtained, a new recipe was developed, the chemical composition of apple dumplings was calculated, the possibility of using additives was justified. It will expand the range of flour products of high nutritional value in restaurants.

Key words: dumplings, technology, buckwheat flour, rye bran, nutritional value.

Сімахіна Г.О.

Національний університет харчових технологій

КОМБІНУВАННЯ СКЛАДУ ЗАМОРОЖЕНИХ ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ СУМІШЕЙ ЗА ПРИНЦИПАМИ ХАРЧОВОЇ КОМБІНАТОРИКИ

У статті наведено теоретичні та практичні результати конструювання плодово-ягідної суміші для створення заморожених напівфабрикатів радіопротекторної дії. Безпека продукції, її якість та ефективність визначаються дотриманням принципів харчової комбінаторики. Показано, що добір сировинних матеріалів до складу композиції має бути науково обґрунтованим, біокомпоненти окремих плодів та ягід мають бути сумісними за якісним і кількісним складом, смаковими характеристиками і прогнозовано справляти виражений функціональний вплив, у цьому разі, захищаючи живий організм від шкідливих малих доз постійного радіоактивного опромінення. Прогнозування, створення та використання нової композиції доцільно вести за запропонованим алгоритмом, котрий передбачає послідовність здійснення всіх етапів: від постановки мети дослідження до оцінки конкурентоспроможності та реалізації нової продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках. Отримані за цією схемою напівфабрикати можуть бути рекомендовані до споживання всім верствам населення.

Ключові слова: *плоди, ягоди, композиція, радіопротекторна дія, біофлавоноїди, алгоритм.*

Постановка проблеми. Практично все населення України перебуває під постійним впливом малих та надмалих доз радіоактивного опромінення, яке викликає набагато серйозніші наслідки, ніж високі дози короточасного опромінення. І на основі того, що відомо сьогодні, можна говорити про високу активність малих і надмалих доз. Так, у роботі [1, с. 548] показано, що надмалі дози опромінення викликають розриви в молекулах ДНК, впливаючи на геном людини. Тому варто виділити один із чинників, що впливає на стан здоров'я людини і популяції та здатний захистити організм від ендо- та екзогенних забруднювачів, зокрема чинник харчування.

Усе, окрім кисню, людина для своєї життєдіяльності отримує з їжі та води. Їжа в процесі споживання перетворюється із зовнішнього на внутрішній чинник, її компоненти в ланцюжку послідовних перетворень трансформуються в енергію фізіологічних функцій та структурні елементи органів і тканин організму людини [2, с. 145]. У сучасних умовах очевидним є два відносно самостійні аспекти взаємозв'язку харчування та процесів біотрансформації компонентів їжі та чужорідних сполук (контамінантів) в організмі людини. Один із цих аспектів полягає в тому, що їжа є не лише носієм пластичних та енергетичних матеріалів, а й джерелом компонентів неаліментарного (нехарчового) характеру, серед яких немало сполук природного або антропогенного походження [3, с. 104]. Водночас хімічний склад їжі як у традиційному її розумінні (вміст харчових та біологічно активних речовин), так і з ура-

хуванням неаліментарних компонентів, справляє регульований вплив на всі системи живого організму, що відповідають за транспорт, метаболізм, знезараження та елімінацію ксенобіотиків. Ось чому проблема виведення з організму – одна з найважливіших для населення України. Тому у сфері інноваційних технологій необхідним є розвиток ґрунтовних досліджень із пошуку нових природних джерел для отримання широкого спектра функціональних інгредієнтів та продуктів радіопротекторної дії для безпосереднього використання, а також для збагачення традиційних харчових середовищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необмежене поле діяльності у вирішенні цієї проблеми науковці знаходять серед дикорослої плодово-ягідної сировини [4, с. 186; 5, с. 5]. Вона поки що є нетрадиційною для виробництва продуктів оздоровчого, профілактичного, лікувального призначення. Однак спектр її використання у харчовій промисловості поступово розширюється, особливо у виробництві безалкогольних, слабоалкогольних, соковмісних напоїв, заморожених напівфабрикатів тощо.

Літературні дані, наведені різними авторами, свідчать про багатий біокомпонентний склад дикорослих плодів і ягід. Так, плоди аронії чорноплодної, глоду багаті на каротиноїди, антоціани, вітаміни, мінеральні елементи, вітамін РР. Останній бере участь у реакціях клітинного обміну, в білковому обміні й підвищує ступінь використання в організмі рослинних білків, нормалізує секреторну функцію шлунка тощо [6, с. 215].

За даними [7, с. 161], плоди аронії містять близько 45% вітаміну С, 7% фенольних сполук, зокрема близько 2% флавоноїдів. Наші дослідження [8, с. 75] підтвердили результати інших авторів щодо доцільності використання дикорослих плодів і ягід джерелом аскорбінової кислоти (аронія чорноплідна – 120...130 мг%, ожина – 60...70 мг%, калина – 35...40 мг%); біофлавоноїдів (відповідно 2 466 мг%, 2447 мг%, 1345 мг%).

Наведені дані стосовно рослинних об'єктів (як джерел вітамінів та інших БАП) необхідно пов'язувати з впливом на функціонування організму. Тому повністю погоджуємось із твердженням А. Азімова: «Першим серйозним досягненням медицини стало визнання лікарями факту, що однією із заборон здоров'я є проста і збалансована дієта» [9, с. 646].

І у вирішенні цієї проблеми велика частка припадає на плодово-ягідну сировину, єдиним недоліком якої є сезонність її вирощування та необхідність пошуку найефективніших методів консервування. Учені, які працюють у цьому напрямі, єдині в одному: таким методом є заморожування сировини [10, с. 173; 11, с. 5]. Для створення оптимальних за складом композиційних сумішей, призначених для заморожування (з урахуванням направленості дії окремих біокомпонентів та дотримання необхідних співвідношень) доцільно скористатись загальними принципами харчової комбінаторики [12, с. 7]: безпека та доброякісність, достатність та пріоритет використання, сумісність, кінцевий контроль. Про досконалість цих принципів та практичну реалізацію свідчать роботи вітчизняних учених [13, с. 26; 14, с. 120], тому подальше впровадження сприятиме підвищенню якості розроблених продуктів, безпеки та ефективності.

Постановка завдання. Обґрунтувати вибір плодово-ягідних культур і за принципами харчової комбінаторики створити композиції заморожених напівфабрикатів радіопротекторної дії.

Виклад основного матеріалу дослідження. За аналогією з фітопрепаратами, заморожені напівфабрикати віднесемо до простих, якщо до їхнього складу входять плоди чи ягоди одного сорту (виду), та складних, що є сумішшю декількох видів плодів та ягід. Розглянемо послідовність дій під час створення складних плодово-ягідних напівфабрикатів радіопротекторної дії. Обрана сировина обов'язково повинна містити у достатніх концентраціях компоненти, які запобігають накопиченню радіонуклідів та прискорюють виведення з організму, захищаючи його від невеликих

доз постійного і, як уже зазначали, надзвичайно шкідливого радіоактивного опромінення.

Інтерес до дикорослих плодово-ягідних рослин, що поновився останніми роками, спонукає дослідників звертати увагу на спектр такої сировини переважно вітчизняної флори. Наукові дослідження в галузі хіміко-фармацевтичних наук, нутриціології, фармаконутриціології, харчової хімії, використання ресурсоощадних, високоефективних технологій і наявність обладнання дає можливість створювати все досконаліші науково обґрунтовані композиції з доведеним позитивним впливом на певні органи та функції організму людини, в цьому разі таким, який здатен захищати клітини живого організму від радіоактивних уражень.

Науково обґрунтований вибір плодів та ягід для майбутньої композиційної суміші заморожених напівфабрикатів повинен урахувати й відмінності в структурі покривних тканин об'єктів дослідження, які апіорі можуть впливати на особливості заморожування матеріалів. У ботаніці залежно від компонентів, які формують склад захисних покривних тканин рослини, запропоновано таку класифікацію [15, с. 147]: рослини з нижньою покривною тканиною і міжклітинниками (1-а група) та товстостінні зі щільною покривною тканиною без міжклітинників (2-а група). Відповідно до цієї класифікації, ми віднесли до 1-ї групи культивовані та дикорослі плоди і ягоди малини, суниці, смородини чорної, порічки червоної, чорниці тощо, а до 2-ї (зі щільною покривною тканиною) – плоди калини та аронії чорноплідної, ягоди ожини, журавлини, терену, агрусу.

Оскільки за результатами виконаних нами досліджень, структура покривних тканин істотно впливає на здатність біооб'єктів до холодкових адаптацій [16, с. 200; 17, с. 199], то склад сумішей доцільно формувати з плодів та ягід, що належать до 1-ї або 2-ї груп. Тому подальші дослідження проводили на плодах калини та аронії чорноплідної і ягодах ожини.

Під час формування комплексу плодів та ягід для заморожених напівфабрикатів урахували також, що надходження енергії в організм людини регулюється складною системою, фізіологічними проявами якої є апетит і органолептичні характеристики продуктів, насамперед смак та колір. Відомо, що смакові властивості плодово-ягідної сировини визначаються оптимальним співвідношенням вмісту цукрів та органічних кислот – глюкоцидометричним індексом. За даними [8, с. 75], для аронії чорноплідної він становить 7,96;

Вміст біокомпонентів радіопротекторної дії у плодово-ягідній сировині

 $P \geq 0,95; n = 3$

Дослідні зразки	Біофлавоноїди, мг%	Вітамін С, мг%	Каротиноїди, мг%	Органічні кислоти, в перерахунку на яблучну, %	Пектинові речовини, %
Плоди калини	1626,0	29,25	1,4	0,96	2,2
Плоди аронії чорноплідної	1912,0	97,7	3,2	1,34	1,65
Ягоди ожини	2120,0	76,1	2,6	1,25	2,8

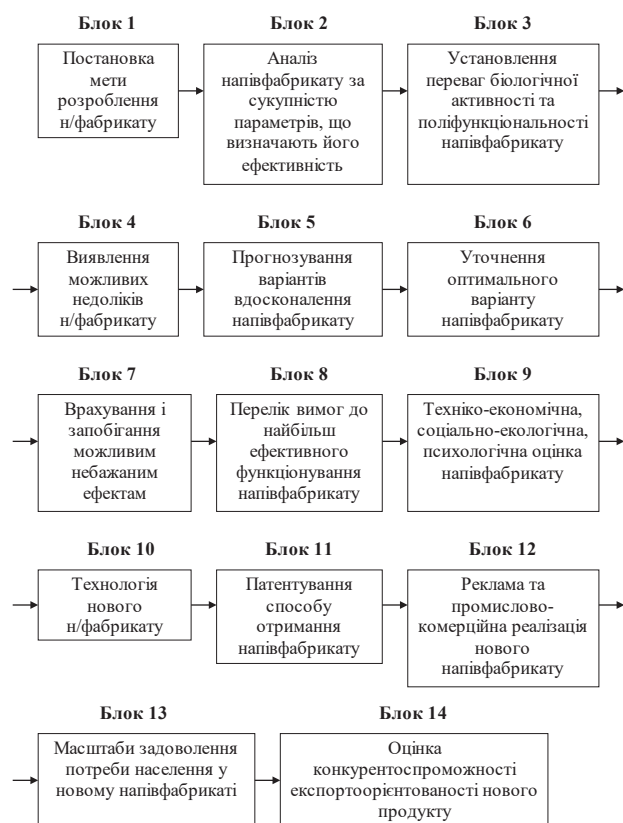


Рис. 1. Алгоритм прогнозування, отримання та використання замороженого плодово-ягідного напівфабрикату

для ожини – 7,05; для калини – 5,5. Загалом, цей показник для скомпонованої суміші, в якій усі складники взято у рівних співвідношеннях, становить 6,84, що входить до діапазону його оптимальних значень. Кольору обраним видам плодів та ягід надають антоціани.

Під час створення композицій необхідно обирати ті сировинні матеріали, біохімічний склад і фармакологічна активність яких не викликають сумнівів, а також проводити експерименти із з'ясування концентрації тих біокомпонентів, які виявляють виражений радіопротекторний ефект: біофлавоноїдів, аскорбінової кислоти, кароти-

ноїдів, пектинових речовин, органічних кислот, кальцію. Тому дослідженню саме цих нутрієнтів і приділено основну увагу. За стандартними методиками визначили їхній вміст у сировині, результати зведено до таблиці 1.

Зважаючи на те, що ягоди ожини містять максимальну кількість біофлавоноїдів та пектинових речовин, значні концентрації вітаміну С та органічних кислот, обрано такий склад плодово-ягідної суміші для отримання заморожених напівфабрикатів: ягоди ожини – 40%; плоди калини – 30%; плоди аронії чорноплідної – 30%.

Ураховуючи високий вміст у цих рослинах біофлавоноїдів, аскорбінової кислоти, каротиноїдів, пектинових речовин, які діють синергічно, прогнозуємо істотний радіопротекторний ефект на організм людини [18, с. 93], постачання його необхідними біокомпонентами. Пектинові речовини та органічні кислоти захищають клітини під час заморожування, зберігаючи цілісність та якість отриманих композицій.

Відповідно до даних таблиці, сировина містить значні концентрації біофлавоноїдів (від 1626 до 2120 мг%), вітаміну С, особливо в ягодах ожини та плодах аронії чорноплідної. Вміст каротиноїдів незначний (від 1,4 до 3,2 мг%), однак завдяки великій кількості подвійних зв'язків вони беруть активну участь в окислювально-відновних процесах [19, с. 200].

У подальших дослідженнях сформульовано алгоритм прогнозування, отримання та використання напівфабрикатів, дано коментарі до кожного його складника й обґрунтовано відповідність створеної композиції принципам харчової комбінаторики (рис. 1).

Відповідно до блоку 1, поставлено за мету отримати заморожений напівфабрикат із плодово-ягідних культур для цілорічного постачання населення України високовітамінною продукцією, компоненти якої мають радіопротекторні властивості і включатимуться до системи захисту живого організму від невеликих

доз постійного опромінення. Блок 2 передбачає підбір багатокомпонентних рослинних матеріалів. Їхні складові повинні взаємно доповнювати одна одну, потенціуючи дію біологічно активних речовин (вітамінів, поліфенольних сполук, каротиноїдів, мінеральних елементів, органічних кислот, пектинових речовин тощо).

У межах реалізації блоку 3 цього алгоритму встановлюємо переваги майбутньої композиції на підставі аналізу біохімічного складу її компонентів, біологічної активності та поліфункціональності. Із блоку 4 зрозуміла необхідність медико-біологічної оцінки обраних плодово-ягідних матеріалів із точки зору виявлення можливих недоліків готового продукту (наявності сильнодіючих сполук, підвищеної концентрації певної біологічно активної речовини), що обмежує використання таких напівфабрикатів для певної категорії споживачів. Блок 5 має окреслити шляхи усунення виявлених недоліків, наприклад, за рахунок введення до композиції інших рослин, позбавлених установлених вад, і після цього за блоком 6 дається вже уточнений варіант плодово-ягідної композиції. За блоком 7 мають бути передбачені такі технологічні процеси, використання яких забезпечує отримання високоякісних заморожених напівфабрикатів із належними органолептичними характеристиками, наприклад, шокове заморожування, попереднє оброблення плодів та ягід кріопротекторами тощо.

За блоком 8 розробляється документація, за якої виробництво та використання нового напівфабрикату буде найбільш ефективним (технічні умови, технологічна інструкція, рекомендації з використання готової продукції тощо). Психологічна оцінка композиції (блок 9) полягає в тому, як сприймає споживач нову продукцію, оскільки вона може не відповідати його традиційним смакам та уподобанням, а також передбачає проведення роз'яснювальної роботи з корисності цієї продукції для здоров'я.

Решта блоків є практичною реалізацією наведених теоретичних передумов і виконується безпосередньо на підприємствах із виробництва заморожених напівфабрикатів. Виконання блоку 14 передбачено вимогами до інноваційної продукції з точки зору оцінки її конкурентоспроможності та реалізації на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Запропоновані нами підходи до отримання заморожених напівфабрикатів узгоджуються з першим принципом харчової комбінаторики –

принципом безпеки та доброякісності. Згідно з ним, під час розроблення нових видів харчової продукції необхідно використовувати сировину, матеріали та різноманітні добавки, рекомендовані та дозволені для використання в харчовій промисловості (блок 2 рис. 1). Другий принцип харчової комбінаторики – **принцип необхідності (достатності) використання.** Кодекс Аліментаріс трактує його так: «Коли бажаного ефекту можна досягти шляхом технологічного оброблення природної сировини або напівфабрикатів, то використовувати хімічні добавки недоцільно». Відповідно до наведеного алгоритму, йдеться про натуральну сировину. Третій принцип харчової комбінаторики – **принцип сумісності.** Під час підбору композиції плодів та ягід ми враховували технологічну та фізико-хімічну сумісність їхніх інгредієнтів. Четвертий принцип – **принцип переваги використання і рівнозначності контролю.** Сутність цього принципу полягає в тому, що під час створення продукції оздоровчого призначення перевагу необхідно надавати природним сировинним матеріалам. П'ятий принцип харчової комбінаторики – **принцип кінцевого контролю і вірогідності декларування.** Реалізація цього принципу визначає необхідність перевірки показників безпеки не лише сировини, а й продуктів на її основі. Останній принцип – **принцип виключення,** суть якого полягає в необхідності зміни рецептури композиції в разі отримання негативних результатів та можливих побічних ефектів. Саме цим питанням присвячено реалізацію блоків 4–7 у запропонованому алгоритмі.

Висновки. Ґрунтовний підхід до створення композиційної плодово-ягідної суміші є гарантією її прогнозованої функціональності, абсолютної безпеки і широкого попиту в споживачів. Новим підходом у цих дослідженнях є те, що перевага надається використанню не окремих біооб'єктів, а композицій, складники яких здатні потенціювати дію одна одної як у складі отриманих продуктів, так і на рівні шлунково-кишкового тракту, справляючи різнобічні ефекти, зокрема радіопротекторні. Композиції радіопротекторної дії рекомендуються до вживання для запобігання негативним впливам малих доз постійного радіоактивного опромінення як у побуті, так і на виробництві, особливо в екологічно несприятливих районах; як допоміжний засіб у реабілітації хворих, що пройшли курс променевої терапії, а також особам після важких захворювань для підтримання імунного статусу.

Список літератури:

1. Тушманова Н.А. О биологическом значении сверхмалых доз. Международный медицинский журнал. 1999. № 9–10. С. 547–548.
2. Яковенко А.Ф., Яковенко Б.В. Биохимия: Учеб. пособие. Сумы: Изд-во «Университетская книга», 2001. 374 с.
3. Позняковский В.М. Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продовольственных товаров: учебник. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1999. 448 с.
4. Хомич Г.П. Плоди дикорослої сировини – джерело біологічно активних речовин для харчових продуктів. Наукові праці ОНАХТ. 2009. Т. 2. Вип. 36. С. 186-190.
5. Шапиро Д.К., Манциводо Н.И., Михайловская В.А. Дикорастущие плоды и ягоды. Минск: Ураджай, 1988. 128 с.
6. Ильина С.И. Двенадцать месяцев здоровья. Киев: Логос, 2000. 320 с.
7. Семенів Д.М. Дослідження властивостей субстанцій аронії чорноплідної. Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології. 2014. Вип. 1. С. 160–165.
8. 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.
9. Азимов А.Р. Путеводитель по науке. От египетских пирамид до космических станций. Москва: ЗАО Центрполиграф, 2005. 788 с.
10. Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Низькі температури у технологіях оздоровчих продуктів: монографія. Київ: Сталь, 2011. 363 с.
11. Орлова Н.Я., Белінська С.О. Заморожені плодоовочеві продукти: проблеми формування асортименту та якості: монографія. Київ: КНТЕУ, 2005. 335 с.
12. Рыбников К.А. Введение в комбинаторный анализ. Москва: МГУ, 1985. 308 с.
13. Белінська С.О. Наукові і практичні засади розроблення рецептур і формування якості швидкозаморожених плодоовочевих продуктів. Харчова і переробна промисловість. 2009. № 11–12. С. 26–28.
14. Притульська Н.В., Гуліч М.П., Мотузка Ю.М. Ентеральна нутритивна підтримка населення в умовах надзвичайних ситуацій: монографія. Київ: КНТЕУ, 2018. 280 с.
15. Сербін А.Г., Сіра Л.М., Слободянюк Т.О. Фармацевтична ботаніка: підручник. Вінниця: Нова книга, 2007. 488 с.
16. Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В. Особливості заморожування ягід із ніжною текстурою. Наукові праці НУХТ. 2015. № 4. С. 198–206.
17. Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В. Отримання заморожених напівфабрикатів дикорослих ягід зі щільною покривною тканиною. Наукові праці НУХТ. 2016. №3. С. 198–206.
18. Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н., Позняковский В.М. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005. 548 с.
19. Петрова В.П. Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений. Киев: Вища школа, 1986. 287 с.

КОМБИНИРОВАНИЕ СОСТАВА ЗАМОРОЖЕННЫХ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ СМЕСЕЙ ПО ПРИНЦИПАМ ПИЩЕВОЙ КОМБИНАТОРИКИ

В статье наведены теоретические и практические результаты компоновки плодово-ягодной смеси для производства замороженных полуфабрикатов радиопротекторного действия. Безопасность продукции, ее качество и эффективность определяются соблюдением принципов пищевой комбинаторики. Показано, что подбор сырьевых материалов в состав композиции должен быть научно обоснованным, биокомпоненты отдельных плодов и ягод должны быть совместимыми по качественному и количественному составу, вкусовым характеристикам и предсказуемо оказывать выраженное функциональное влияние, в данном случае, защищая живой организм от вредных малых доз постоянного радиоактивного излучения. Прогнозирование, создание и использование новой композиции целесообразно вести по предложенному алгоритму, предвидящему последовательность осуществления всех этапов от постановки цели исследования до оценки конкурентоспособности и реализации новой продукции на внутреннем и внешнем рынках. Полученные по данной схеме полуфабрикаты могут быть рекомендованы для потребления всем слоям населения.

Ключевые слова: *плоды, ягоды, композиция, радиопротекторное действие, биофлавоноиды, алгоритм.*

COMBINING THE INGREDIENTS OF FROZEN FRUIT AND BERRY MIXTURES ACCORDING TO THE PRINCIPLES OF FOOD COMBINATORICS

This article represents theoretical and practical results of combining the fruit and berry mixture for production of frozen half-products with radioprotective action. Safety, quality and effectiveness of a future product may be determined upon following the principles of food combinatorics. The author of the article showed that the raw materials should be reasonably included into the composition; the biologically active components of separate fruit and berries should be compatible in qualitative, quantitative parameters, and taste characteristics; furthermore, they should have a predictable functional impact, in particular – protecting the live organism from harmful small doses of constant ionizing radiation. The new composition seems to be expedient to forecast, to produce and therefore to use according to the algorithm proposed in the article. This algorithm includes the consequence to complete all of the investigation stages – from the very beginning (setting up the objectives of the research) to the end (evaluating competitiveness and the trends of the new product's realization on both domestic and foreign markets). Half-products obtained by the proposed scheme may hence be recommended to all the strata of population for usage.

Key words: fruit, berries, composition, radioprotective action, bioflavonoids, algorithm.

ТРАНСПОРТ

УДК 656.073.7

Прокудін Г.С.

Національний транспортний університет

Ремех І.О.

Національний транспортний університет

Майданик К.О.

Національний транспортний університет

Редіч Ю.А.

Національний транспортний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВАНТАЖНОГО МИТНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОЕТАПНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ

Ефективне функціонування вантажних митних комплексів та терміналів уздовж кордону України забезпечує оптимізацію роботи рухомого складу транспортних підприємств, що займаються міжнародними перевезеннями вантажів. У процесі міжнародних вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяги поставок вантажу, що заходять на термінали, перевищує можливості складських приміщень. Оскільки обсяги імпорту товарів із ЄС в Україну й експорту у зворотному напрямку є різними, то проблема з надлишками вантажу, що поступає до вантажного митного комплексу, є досить актуальною. Зважаючи на склад автопарку України, згідно з євростандартами, доцільним є введення руху за системою тягових плечей. У цьому разі ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу. У статті досліджується застосування багатоетапної транспортної задачі для розподілення вантажних потоків, що поступають на вантажний митний комплекс. Застосування багатоетапної транспортної задачі дозволяє оптимізувати розподілення цих потоків між вантажним митним комплексом і проміжними пунктами.

Ключові слова: вантажний митний комплекс, термінал, міжнародні перевезення, система тягових плечей, тимчасове зберігання, багатоетапна транспортна задача.

Постановка проблеми. Ефективне функціонування вантажних митних комплексів (далі – ВМК) та терміналів уздовж кордону України забезпечує оптимізацію роботи рухомого складу транспортних підприємств, що займаються міжнародними перевезеннями вантажів. Ведення руху в системі тягових плечей під час регулярних міжнародних перевезень вантажів дозволить збільшити кількість автомобілів українських автотранспортних підприємств (далі – АТП) у рейсах, що включають європейські шляхи [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У міжнародних перевезеннях вантажів за системою тягових плечей за маршрутом Україна-ЄС та ЄС-Україна пунктом перевантаження може виступати вантажний термінал, що знаходиться на

українській стороні кордону [2; 3]. Західні області України, що межують із державами-членами ЄС, за умови ефективного транскордонного співробітництва дозволяють використовувати вигідний геополітичний потенціал держави [4]. Довгострокові проекти щодо використання ВМК уздовж західного кордону – один із варіантів раціоналізації вантажних перевезень, тому оптимізація організації роботи і співпраці транспортних компаній із термінальними і складськими є важливою.

Постановка завдання. У процесі міжнародних вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяги поставок вантажу, що заходять на термінали, перевищує можливості складських приміщень. Оскільки обсяги імпорту товарів із ЄС в Україну й експорту в зворотному напрямку

	B1	B2	Запаси		A1	C1	C2	C3	Запаси
A1	10	11	88	88	A1	11	10	10	0
A2	8	9	132	132	A2	9	8	8	132
A3	6	7	132	132	A3	7	6	6	66
A4	6	7	66	66	A4	7	6	6	0
A5	4	5	110	110	A5	5	4	4	0
Заявки	176	154		528	Заявки	66	44	88	
	B1	B2	Запаси		A1	C1	C2	C3	Запаси
A1	0	88	88		A1	0	0	0	0
A2	0	0	0		A2	44	0	88	132
A3	0	66	66		A3	22	44	0	66
A4	66	0	66		A4	0	0	0	0
A5	110	0	110		A5	0	0	0	0
Заявки	176	154			Заявки	66	44	88	
2266	836	1430			1518	550	264	704	
							1-й етап		

	B1	B2	Запаси
C1	4	3	66
C2	2	3	44
C3	2	3	88
Заявки	176	154	

	B1	B2	Запаси
C1	0	66	66
C2	44	0	44
C3	88	0	88
Заявки	132	66	
462	264	198	
		2-й етап	
загальні витрати -		4246	

Рис. 1. Excel-таблиця розв’язання 1-го варіанту багатоетапної задачі перевезення вантажу

є різними, то проблема з надлишками вантажу, що поступає до ВМК, є досить актуальною, тому ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і, як наслідок, з багатоетапною транспортною задачею що дозволить сформувати оптимізовані графіки надходження вантажів до складських приміщень вантажних митних комплексів.

Виклад основного матеріалу. У роботі наведемо опис підходу, який вирішує задачу поетапного транспортування вантажів у її мережевому поданні у середовищі Excel. При цьому розглядаються 2 випадки багатоетапної задачі: коли сумарні складські приміщення замовника і проміжних пунктів однакові з обсягами вантажу, що надсилається від постачальників та коли загальні об’єми поставок цього вантажу перевищують загальні об’єми можливості прийому складськими приміщеннями.

Для прикладу першого варіанту розглянемо 5 постійних оптових постачальників однорідного вантажу в містах Черкаси (A₁), Київ (A₂), Житомир (2 постачальники (A₃, A₄)) та Чернівці (A₅), які мають його в обсягах a₁=88_{т/міс}, a₂=132_{т/міс}, a₃=132_{т/міс}, a₄=66_{т/міс}, a₅=110_{т/міс} і 2 ВМК (B₁, B₂) уздовж кордону України у Львівській області, на яких здійснюватиметься перевантаження експортних товарів, ВМК мають заявки на нього в об’ємах b₁=176_{т/міс}, b₂=154_{т/міс}. При чому загальні об’єми поставок цього вантажу перевищують загальні об’єми можливості прийому вантажу ВМК, а саме:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j. \quad (1)$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \quad (2)$$

Припустимо також, що є 3 проміжних пункти що розташовані Львівською областю (C₁, C₂, C₃) для

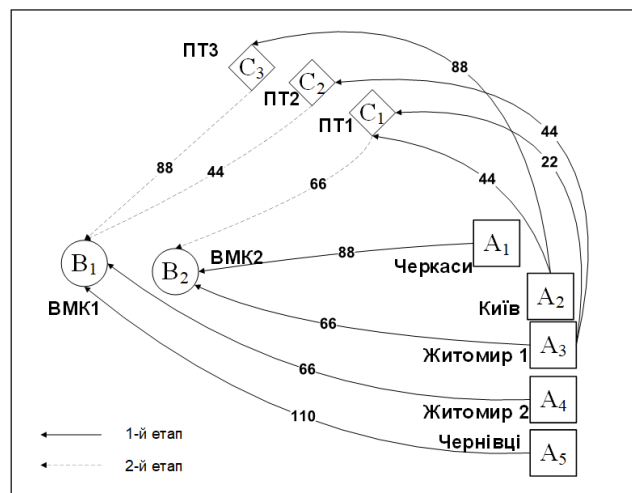


Рис. 2. Оптимальна схема перевезення вантажу(в тонах/місяць) за результатами першого варіанту багатоетапної транспортної задачі

тимчасового зберігання надлишків вантажу (2), які можуть вміщати його в об’ємах c₁=66_{т/міс}, c₂=44_{т/міс}, c₃=88_{т/міс}, при цьому виникає співвідношення

$$\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j, \sum_{k=1}^l c_k$$

за обов’язкового виконання умов (1) та (3):

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k, \quad (3)$$

Вибір цієї умови зумовлений необхідністю завчасно спрогнозувати точні кількості вантажу, що будуть направлені до складських приміщень на кожному з етапів доставки для укладення довгострокових договорів на обслуговування постачальників.

На першому етапі розв’язання задачі здійснюється розподіл вантажу від постачальників (A_m) між ВМК (B_n) та проміжними пунктами(терміналами) (C_l). Витрати за кожним із напрямів – умовні одиниці, що враховують віддаленість постачальників вантажу від ВМК. Другий етап розв’язання задачі

	B ₁	B ₂	Запаси	
A ₁	10	11	110	110
A ₂	8	9	132	132
A ₃	6	7	132	132
A ₄	6	7	88	88
A ₅	4	5	110	110
Заявки	176	154		
	B ₁	B ₂	Запаси	
A ₁	0	110	110	
A ₂	0	0	0	
A ₃	66	44	110	
A ₄	0	0	0	
A ₅	110	0	110	
Заявки	176	154		
2354	836	1518		

	C ₁	C ₂	C ₃	Запаси
A ₁	11	10	10	0
A ₂	9	8	8	132
A ₃	7	6	6	22
A ₄	7	6	6	88
A ₅	5	4	4	0
Заявки	66	44	88	
				198
	C ₁	C ₂	C ₃	Запаси
A ₁	0	0	0	0
A ₂	44	44	44	132
A ₃	22	0	0	22
A ₄	0	0	44	44
A ₅	0	0	0	0
Заявки	66	44	88	
1518	550	352	616	
	1-й етап			

	B ₁	B ₂	Запаси
C ₁	4	3	66
C ₂	2	3	44
C ₃	2	3	88
Заявки	176	154	
	B ₁	B ₂	Запаси
C ₁	0	66	66
C ₂	44	0	44
C ₃	88	0	88
Заявки	132	66	
462	264	198	
	2-й етап		

	B ₁	B ₂	Запаси
A ₁	10	11	0
A ₂	8	9	0
A ₃	6	7	0
A ₄	6	7	44
A ₅	4	5	0
Заявки	176	154	
	B ₁	B ₂	Запаси
A ₁	0	0	0
A ₂	0	0	0
A ₃	0	0	0
A ₄	44	0	44
A ₅	0	0	0
Заявки	44	0	
264	264	0	
	3-й етап		
загальні витрати -	4598		

Рис. 3. Excel-таблиця розв'язання другого варіанту багатоетапної задачі перевезення вантажу

розподіляє вантажі, що опинилися в проміжних пунктах між ВМК для подальшої їх відправки в Європу. Результати багатоетапної задачі доставки вантажу за допомогою середовища Excel представлено на рисунку 1.

Таким чином, вантаж усіх 5-ти постачальників (згідно з умовами задачі) розподілився між ВМК та проміжними терміналами (ПТ).

За результатами розрахунків отримуємо прогноз для розміщення на 1-му і 2-му етапах перевезення вантажу а також зроблено припущення про готовність усіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об'ємах, відповідних їх первинним заявкам. Обсяги поставок за кожним етапом розв'язання задачі представлено на оптимальній схемі перевезення вантажу, рисунок 2.

Для другого варіанту застосування багатоетапної транспортної задачі розглянемо 5 постійних оптових постачальників однорідного вантажу в містах Черкаси (A₁), Київ (A₂), Житомир (2 постачальники (A₃, A₄)) та Чернівці (A₅), які мають його в обсягах a₁=110_{т/міс}, a₂=132_{т/міс}, a₃=132_{т/міс}, a₄=88_{т/міс}

a₅=110_{т/міс} і 2 ВМК (B₁, B₂) уздовж кордону України у Львівській області, на яких здійснюватиметься перевантаження експортних товарів, ВМК мають заявки на нього в об'ємах b₁=176_{т/міс}, b₂=154_{т/міс}. При чому, загальні об'єми поставок цього вантажу перевищують загальні об'єми можливості прийому вантажу ВМК, як і в першому варіанті задачі.

Проміжні пункти розташовані Львівською областю (C₁, C₂, C₃) для тимчасового зберігання надлишків вантажу (2), які можуть вміщати його в об'ємах c₁=66_{т/міс}, c₂=44_{т/міс}, c₃=88_{т/міс}, при цьому виникає співвідношення

$$\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j \text{ і } \sum_{k=1}^l c_k$$

за обов'язкового виконання умов (1) та (4):

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k \quad (4)$$

Вибір цієї умови зумовлений необхідністю завчасно спрогнозувати розміщення вантажу з

урахуванням надлишків, що будуть направлені до складських приміщень на кожному з етапів доставки для укладення довгострокових договорів на обслуговування постачальників.

На першому етапі розв'язання задачі здійснюється розподіл вантажу від постачальників (A_m) між ВМК (B_n) та проміжними пунктами (терміналами) (C_i). Витрати за кожним із напрямів – умовні одиниці, що враховують віддаленість постачальників вантажу від ВМК. Другий етап розв'язання задачі розподіляє вантажі, що опинилися в проміжних пунктах між ВМК для подальшої відправки в Європу. На третьому етапі розв'язання задачі залишки вантажу розподіляються від постачальників між ВМК. Результати багатоетапної задачі доставки вантажу за допомогою середовища Excel представлено на рисунку 3.

За результатами розрахунків отримуємо прогноз для розміщення на 1-му, 2-му та 3-му етапах перевезення вантажу а також зроблено припущення про готовність усіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об'ємах, що відповідають їх первинним заявкам. Обсяги поставок за кожним етапом розв'язання задачі представлені на оптимальній схемі перевезення вантажу, рисунок 4.

Таким чином, вантаж всіх 5-ти постачальників, згідно з умовами задачі, розподілився між ВМК та проміжними терміналами (далі – ПТ).

Висновки. Ефективність багатоетапної транспортної задачі у оптимізації використання ВМК полягає у врахуванні даних щодо можливості прийняття всіма складськими приміщеннями, які доступні для організації такого виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні термінали. Роз-

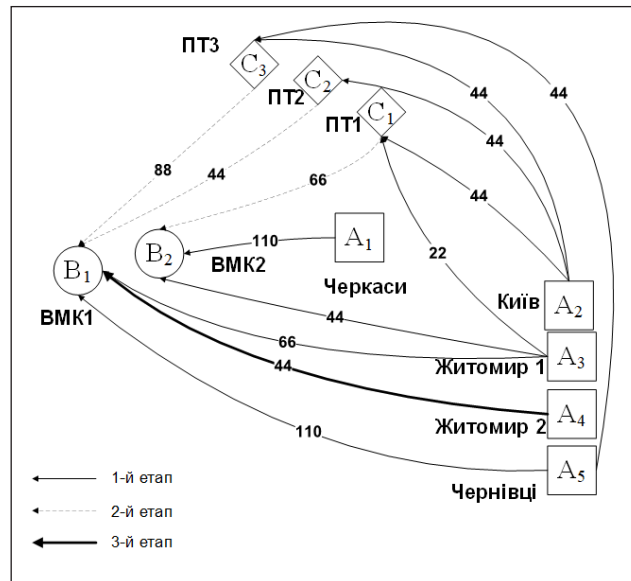


Рис. 4. Оптимальна схема перевезення вантажу (в тонах/місяць) за результатами другого варіанту багатоетапної транспортної задачі

глядаючи дві умови для розв'язання задачі: коли загальна кількість вантажу від постачальників є рівною сумарним можливостям прийняття вантажу ВМК та ПТ та за умови, якщо загальна кількість вантажу від постачальників є більшою, ніж сумарні можливості прийняття вантажу ВМК та ПТ було проілюстровано розв'язання транспортної задачі в два та три етапи. Багатоетапна транспортна задача вирішує проблему розташування і направлення вантажів для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує найраціональніші схеми для відправлення вантажу на ВМК.

Список літератури:

1. Стратегія сталої логістики та план дій для України. URL: <https://mtu.gov.ua/files/Logistics.pdf> (дата звернення 20.05.2018)
2. Прокудін Г.С., Ремех І.О., Майданик К.О. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезенні вантажів у міжнародному сполученні. Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. 2017. № 10. С. 79 – 86.
3. Миротин Л.Б. Логистические информационные системы и технологии интегрированных цепочек поставок. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы): Учебник для транспортных вузов. / Под общ. ред. Л.Б. Миротина. Москва: Издательство «Экзамен», 2003. С. 61–99
4. Ерфан Є.А., Король М.Ю. Сучасний стан розвитку прикордонної інфраструктури України з країнами ЄС. Науковий вісник Мукачівського державного університету. 2017. № 1. С. 22–29.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГРУЗОВОГО ТАМОЖЕННОГО КОМПЛЕКСА С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОЭТАПНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

Эффективное функционирование грузовых таможенных комплексов и терминалов вдоль границы Украины обеспечивает оптимизацию работы подвижного состава транспортных предприятий, занимающихся международными перевозками грузов. В процессе международных грузовых перевозок часто возникает ситуация, когда объемы поставок груза, который заходит на терминалы, превышает возможности складских помещений. Поскольку объемы импорта товаров из ЕС в Украину и экспорта в обратном направлении разные, проблема с излишками груза, поступающего к грузовому таможенному комплексу, является весьма актуальной. Учитывая состав автопарка Украины, согласно евро-стандартам, целесообразным является введение движения по системе тяговых плеч. В этом случае мы сталкиваемся с необходимостью использования промежуточных пунктов для временного хранения излишков груза. В статье исследуется применение многоэтапной транспортной задачи для распределения грузовых потоков, поступающих на грузовой таможенный комплекс. Применение многоэтапной транспортной задачи позволяет оптимизировать распределения этих потоков между грузовым таможенным комплексом и промежуточными пунктами.

Ключевые слова: грузовой таможенный комплекс, терминал, международные перевозки, система тяговых плеч, временное хранение, многоэтапная транспортная задача.

OPTIMIZATION OF THE FREIGHT CUSTOMS COMPLEX THROUGH THE USE OF MULTI-STAGE TRANSPORT TASK

Effective functioning of cargo customs systems and terminals along the Ukrainian border provides optimization of the work of rolling stock of transport companies involved in international cargo transportation. In the process of international freight transport, a situation often arises when the volumes of deliveries of cargo entering terminals exceed the capacity of storage facilities. Since the volumes of imports of goods from the EU to Ukraine and export in the opposite direction are different, the problem with surpluses of cargo arriving at the cargo customs complex is quite actual. Given the composition of the Ukrainian fleet, according to European standards, it is expedient to introduce a movement on the traction shoulder system. In this case, we are faced with the need to use intermediate points for the temporary storage of surplus cargo. The article investigates the use of a multi-stage transport task for the distribution of freight flows entering the cargo customs complex. The use of multi-stage transport task allows optimizing the distribution of these flows between the cargo customs complex and intermediate points.

Key words: cargo customs complex, terminal, international transportation, traction shoulder system, temporary storage, multi-stage.

Санницький Н.М.

Львівський коледж транспортної інфраструктури

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИВАТНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

У статті розглянуто стан забезпечення локомотивною тягою залізничного транспорту. Виконана оцінка витрат, пов'язаних з використанням залізничної інфраструктури, енергоносіїв, оплатою праці локомотивних бригад, придбанням та експлуатацією локомотивів з вартістю послуг Укрзалізниці. Дослідження виконані на основі методів організації експлуатаційної роботи залізниць та економіко-математичного моделювання. Проведено аналіз економічної доцільності застосування приватних локомотивів для здійснення перевезень. Встановлено залежність величини економії витрат на перевезення вантажів приватними локомотивами від відстані перевезень.

Ключові слова: залізничний транспорт, вантажні перевезення, реструктуризація залізниць, організація перевезень, приватна локомотивна тяга.

Постановка проблеми. Залізничний транспорт – основний перевізник вантажів в Україні. За результатами 2017 року на галузь залізничного транспорту припадало 56% вантажообігу від загальної частки усіх видів транспорту або 81% вантажообігу без урахування трубопровідного транспорту [1]. Тому ефективність роботи залізничного транспорту багато в чому визначає рівень розвитку економіки України. Однією з важливих проблем сучасного залізничного транспорту в Україні, яка загрожує як стабільності, так і безпеці роботи галузі, є критичний знос його основних засобів, зокрема локомотивного парку. На сьогодні знос магістральних електровозів складає 93%, а знос магістральних тепловозів – 99,8% [5].

Необхідно відзначити, що в Україні були спроби масового оновлення локомотивного парку. Зокрема, в період з 2012 по 2016 роки діяла «Програма оновлення локомотивного парку залізниць України», затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 21.08.2011 № 840 [6]. Вказана програма передбачала закупівлю 509 локомотивів на суму 28,7 млрд. грн. (3,6 млрд. USD за курсом 2011 року). Джерелом фінансування відповідно до програми були власні та залучені кошти Укрзалізниці, а також інші джерела. Водночас, відповідно до [5], коштів Укрзалізниці достатньо лише для закупівлі 15% необхідних локомотивів. Як результат, «Програма оновлення локомотивного парку залізниць України» залишилася невиконаною. Відповідно до діючої «Стратегії розвитку ПАТ «Укрзаліниця» до 2021 року державний монополіст планує придбати лише 120 вантажних локомотивів [7]. Таким чином, сьогодні має місце

гостра нестача тягового рухомого складу і в майбутньому ця проблема буде лише прогресувати. Одним із шляхів вирішення є демонополізація ринку залізничних перевезень і допуск до магістральної залізничної мережі незалежних компаній, що надають послуги локомотивної тяги. У зв'язку з цим дослідження умов роботи на магістральній мережі локомотивів власників незалежних від Укрзалізниці є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сучасному етапі ринок залізничних перевезень в Україні знаходиться у монопольному стані. Так, Укрзаліниця є одночасно як менеджером інфраструктури, так і перевізником. Локомотиви, які обслуговують перевезення вантажів, приписані до певних локомотивних депо і працюють у встановлених зонах обертання. Основними завданнями, які вирішуються під час організації тягового забезпечення руху поїздів, є оптимізація схем обігу локомотивів на мережі [2], оптимізація призначення локомотивів і бригад на поїзди [3]. Для оцінки та порівняння різних варіантів рішення використовуються інтегральні економічні критерії, враховуючи витрати, пов'язані з використанням локомотивів для тяги поїздів і їх резервним пробігом, оплатою праці локомотивних бригад, простоями вагонів на станціях. Зазначений підхід спрямований на досягнення мінімальної середньої собівартості перевезення вантажів на залізничній мережі. Необхідно відзначити, що дана система організації тягового обслуговування залізничних перевезень була розроблена для функціонування в умовах планової економіки, коли в державній власності перебували залізничний транспорт, під-

приємства та вантажовідправники, а перевезення здійснювалися переважно інвентарним парком вагонів залізниць.

У результаті ринкових реформ в економіці України основні клієнти залізничного транспорту знаходяться у приватній власності і використовують для перевезень власні або орендовані у приватних операторів вагони. У таких умовах у різних учасників перевізного процесу з'явилися власні, іноді суперечливі, цілі, і зниження середньомережевої собівартості перевезень не забезпечує зменшення логістичних витрат у кожного окремого клієнта. Навіть більше, враховуючи, що ринок залізничних перевезень знаходиться у монопольному стані і має місце дефіцит локомотивів, сьогодні у значній мірі зниження собівартості перевезень досягається коштом їх якості.

Для держав з монополією на ринку залізничних перевезень характерні такі кризові явища на ринку залізничних перевезень. У державах Європейського Союзу для вирішення цих проблем зроблено вертикальний розподіл залізничної галузі шляхом відокремлення інфраструктури залізничного транспорту від перевізної діяльності [4]. Ситуація на ринку залізничних перевезень Російської Федерації є показовим прикладом обмеження доступу незалежних перевізників до залізничної інфраструктури. Таким чином, у результаті реформування залізничної галузі в Росії створена законодавча база, яка гарантує доступ до залізничної інфраструктури перевізників різних форм власності, однак відсутність підзаконних актів забезпечує збереження ринку залізничних перевезень у монопольному стані.

Таким чином, доходимо висновку, що Україна є однією з небагатьох держав Східної та Центральної Європи, де збереглася монопольна структура організації ринку залізничних перевезень. Аналіз процесів реформування Укрзалізниці виконаний у [11]. Реформування залізничного транспорту України було формально розпочато у 2006 році, проте істотних змін на ринку залізничних перевезень так і не відбулося, що і є однією з причин його незадовільного стану на цей час і може привести до колапсу залізничного транспорту в майбутньому. Додатковим стимулом реформування залізничної галузі є підписання Україною угоди про асоціацію з Європейським Союзом, відповідно до якої Україна взяла на себе зобов'язання щодо імплементації Директив Європейського Союзу, які передбачають недискримінаційний допуск до залізничної інфраструктури незалежних перевізників.

Отже, виконаний аналіз показує, що допуск приватних локомотивів є одним із шляхів вирішення проблеми нестачі поїзних локомотивів в Україні. Реалізація даного підходу спрямована на імплементацію Директив Європейського Союзу до законодавства України. Однак проблематика полягає у тому, що восьмирічний строк імплементації директив і регламентів Європейського Союзу висуває завдання оцінки можливості допуску приватної локомотивної тяги в рамках чинної законодавчої бази.

Постановка завдання. Метою дослідження є визначення області ефективності використання приватних локомотивів в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз наявної законодавчої та нормативної бази, що регулює роботу залізничного транспорту України, показує, що в ній відсутні заборони на експлуатацію приватних локомотивів на магістральній мережі. Навіть більше, в 2012 році в Закон України «Про залізничний транспорт» були внесені зміни, які розділили поняття «залізнична інфраструктура» і «перевізник». У зв'язку з цим чинна законодавча база не виключає можливості роботи на магістральній залізничній мережі незалежних перевізників. Чинна нормативна база дозволяє виконувати перевезення локомотивами, що не належать Укрзалізниці, на магістральних коліях. Робота таких локомотивів на залізницях загального користування регламентується п. 9.12 Правил технічної експлуатації залізниць України. На підставі цього документа на магістральній залізничній мережі працюють сотні маневрових локомотивів промислових підприємств, що мають право виходу на колії залізничних станцій, а в окремих випадках підприємства виконують транспортування своїх вантажів по перегонах між станціями Укрзалізниці з використанням магістральних локомотивів. Як приклади можуть бути представлені перевезення ПАТ «Волинь-цемент» між станціями Кривин та Здолбунів (38 км), ДП «Червоноградвантажтранс» між станціями Червоноград, Гірник та Соснівка (6–14 км), ПАТ «Укрграфіт» між станціями ім. Анатолія Алімова і Запоріжжя Ліве (10 км). Особливої уваги заслуговує робота ПАТ «Івано-Франківськцемент», парк магістральних локомотивів якого включає новий тепловоз ТЕ33А виробництва General Electric, три локомотива 2М62 і один локомотив М62, які здійснюють транспортування сировини на маршрутах Дубівці-Ямниця (15 км) і Ямниця-Ходорів (70 км). Економічна ефективність роботи локомотивів власності промислових підприємств на

коротких ділянках пов'язана насамперед з можливістю істотного скорочення нерівномірності перевезень, підвищення продуктивності рухомого складу та зменшення вантажної маси на колесах. Так, на ділянці Дубівці-Ямниця локомотив ПАТ «Івано-Франківськцемент» виконує до 4 обертів за добу, тоді як нормативний строк доставки вантажів Укрзалізницею на цій ділянці становить 2 доби. Однак зазначені випадки пов'язані з перевезеннями на незначні відстані по малодіяльних ділянках, де оновлення локомотивного парку за наявного рівня регульованих тарифів для Укрзалізниці є недоцільним. Більш широке впровадження приватної локомотивної тяги на магістральних залізницях, спрямоване на зниження собівартості залізничних перевезень, вимагає вирішення проблем забезпечення безпеки й економічності ефективності таких перевезень.

Сучасна тарифна система залізниць України не містить тарифів на послуги, що надаються перевізникам оператором інфраструктури. Водночас «Збірник тарифів на перевезення вантажів у межах України та пов'язані з ними послуги» [8] включає пункт 20, згідно з яким здійснюється тарифікація перевезень вантажів залізничними коліями загального користування поїздами з власними (орендованими) локомотивами. До того ж плата за вагони у завантаженому або порожньому стані визначається за тарифними схемами 29.1-29.4 окремо за локомотив та вагони. Слідування власного або орендованого локомотива «своїм ходом» загальною мережею залізниць України (крім пов'язаного з передавальними операціями) оплачується за тарифними схемами 29.5 або 29.6. Таким чином, у сучасних умовах тарифікація послуг інфраструктури залізниць під час перевезень локомотивами залізниці та промислових підприємств здійснюється за різними тарифними схемами. Отже, чинна нормативна база, зокрема Правила технічної експлуатації залізниць України та «Збірник тарифів» [8], надає можливість виконання перевезень вантажів магістральними залізницями поїздами з власними локомотивами промислових підприємств, хоча вимоги щодо недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури не забезпечуються.

Необхідно відзначити, що переважна частина перевезень вантажів в Україні здійснюється за тарифними схемами 1 та 2. Під час виконання перевезень вантажовідправник, використовуючи вагони та локомотив залізниці під час перевезення вантажів, сплачує базову ставку плати, що являє собою суму інфраструктурного та вагон-

ного складників плати (тарифу) для універсальних вагонів за схемою 1, а для спеціалізованих – за схемою 2. Під час перевезення того ж вантажу у власному або орендованому вагоні базовою ставкою плати є інфраструктурний складник за відповідними схемами. Також необхідно врахувати, що під час перевезення вантажів у власних вагонах вантажовідправнику необхідно сплачувати плату за порожній пробіг (повернення) вагонів у пункт відправлення, наступного навантаження за схемою 14. Зазначимо, що згідно з Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 лютого 2017 року № 64 та наказом Міністерства інфраструктури України від 7 грудня 2017 року № 425 «Про внесення змін до Збірника тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги», запроваджується дерегуляція вагонного складника тарифу, і тарифікація перевезень у вагонах Укрзалізниці буде здійснюватися за тими ж принципами, що і тарифікація перевезень у власних (орендованих) вагонах.

Так, згідно з [8] величина базових ставок тарифу під час перевезення вантажів у власних (орендованих) вагонах для тарифних схем 1 та 2 здійснюється за виразами

$$T = T_{пко} + T_{ор},$$

де T – базова ставка тарифу;

$T_{пко}$ – складник базової ставки тарифу за початково-кінцеві операції;

$T_{ор}$ – складник базової ставки тарифу за операції руху.

$$T_{cx1} = [406,99274 + 30,14761 \cdot k_L] + [(5,65778 + 0,4191 \cdot k_L + P(0,02201 + 0,00163 \cdot k_L)) \cdot L \cdot k]$$

$$T_{cx2} = [386,35865 + 28,61916 \cdot k_L] + [(6,37656 + 0,47234 \cdot k_L + P(0,0205 + 0,00152 \cdot k_L)) \cdot L \cdot k]$$

де T_{cx1}, T_{cx2} – базова ставка тарифу відповідно за схемою 1 та 2;

k_L – коефіцієнт, що коригує вартість перевезення залежно від інтенсивності вантажних операцій;

P – розрахункова маса вантажу, тонн;

L – середня відстань тарифного поясу, км;

k – коефіцієнт, що коригує вартість за операцію руху залежно від відстані перевезення.

Базові ставки тарифу під час перевезення вантажів поїздами з власними (орендованими) локомотивами величина базових ставок тарифу визначається за виразами

$$T = T_{вп} + T_{пко} + T_{ор},$$

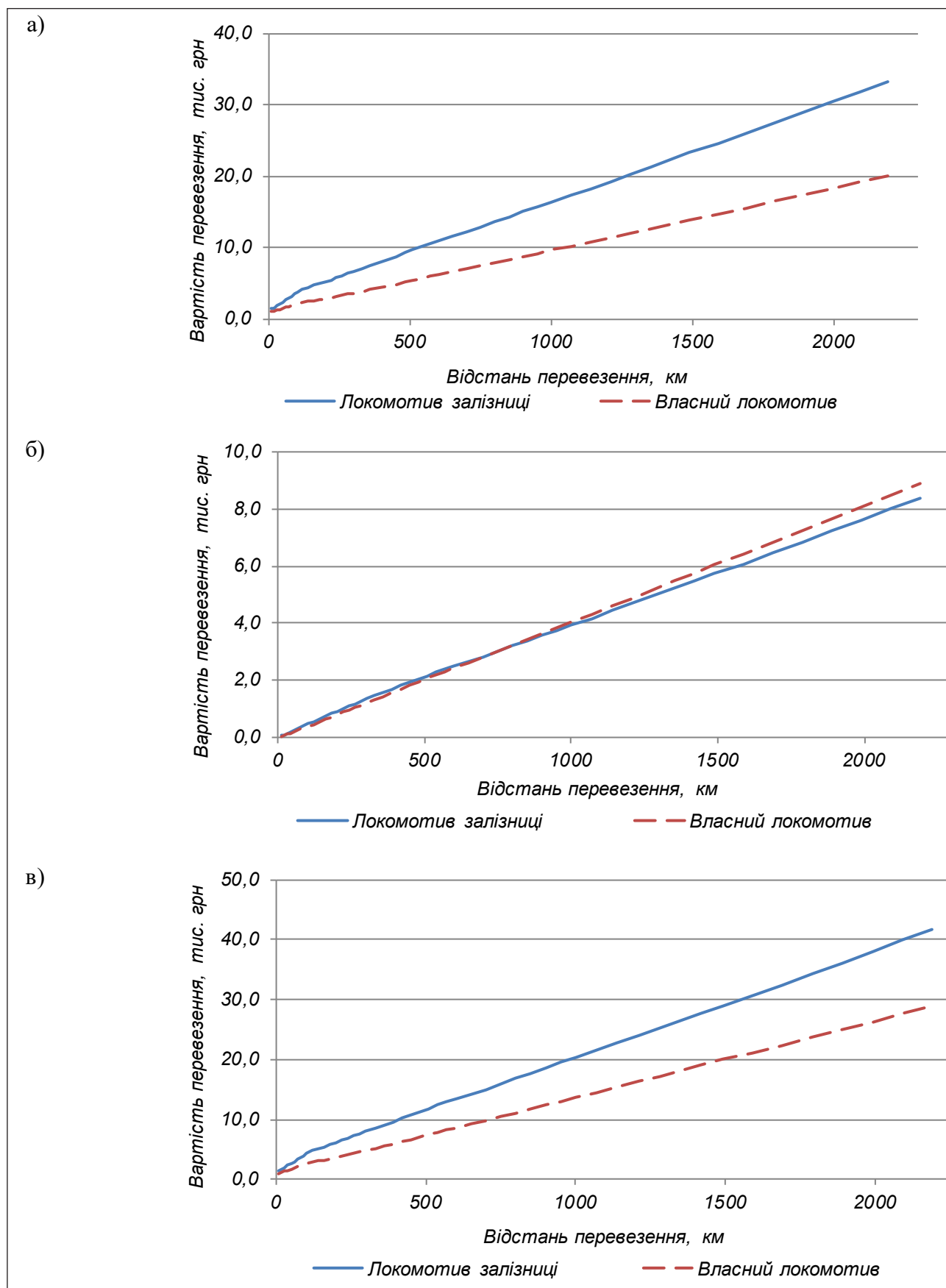


Рис. 1 Графік залежності вартості перевезення від відстані (а) завантажений рейс; (б) порожній рейс; (в) загальна вартість перевезення

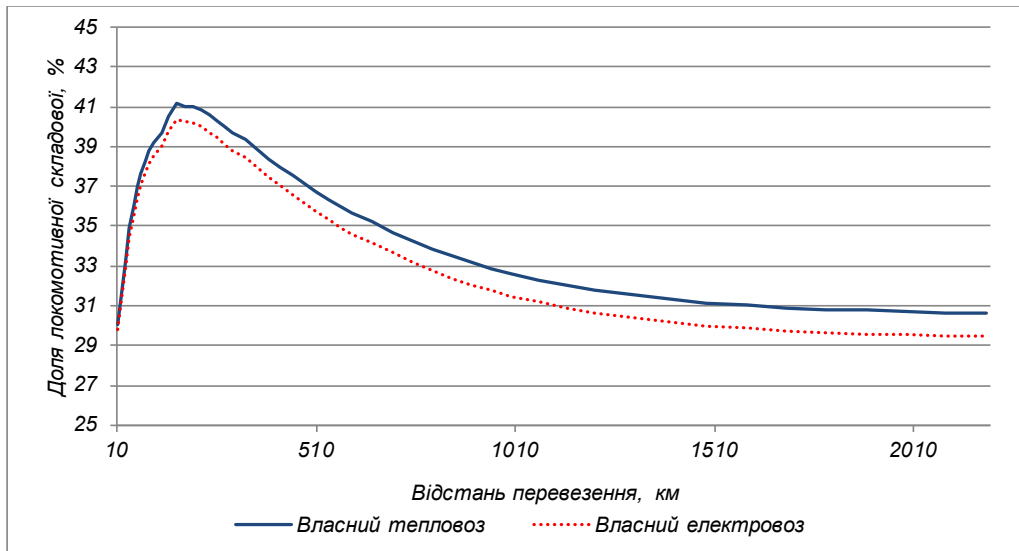


Рис. 2. Зміна долі локомотивного складника у тарифі залежно від відстані перевезень

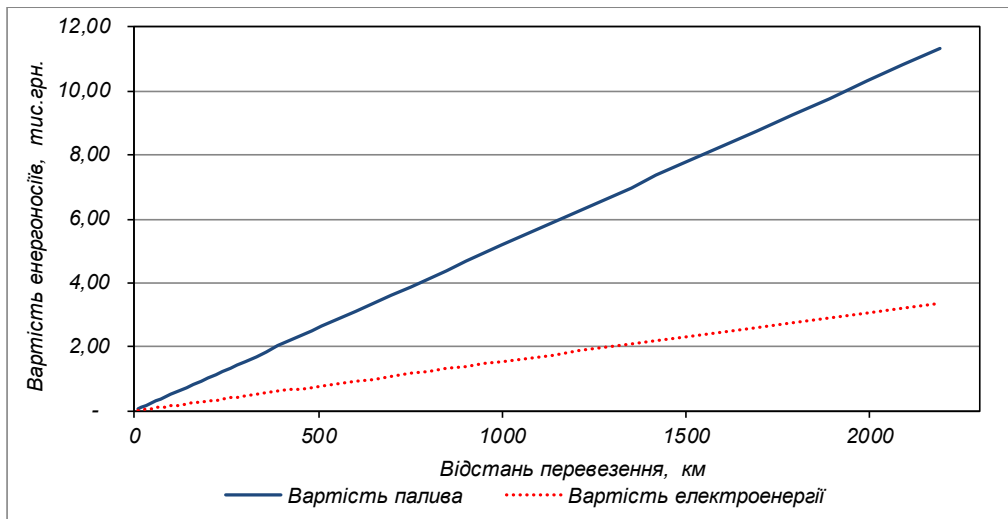


Рис. 3. Залежність витрат на паливо та електроенергію від відстані

де $T_{ВЛ}$ – плата за використання інфраструктури при перевезеннях власним локомотивом;

$$T_{ВЛ}^{зав} = [(41,206 + 3,746 \cdot k_L) L] + [266,47275 + 24,22479 \cdot k_L] + [(3,44036 + 0,31276 \cdot k_L) L]$$

За умови слідування порожнього поїзда складова частина тарифу за операції руху (T_{OP}) відсутня і визначається за виразом

$$T_{ВЛ}^{пор} = [39,333 \cdot L] + [1,79254 \cdot L],$$

де $T_{ВЛ}^{зав}$, $T_{ВЛ}^{пор}$ – відповідно базова ставка тарифу за умови слідування завантаженого і порожнього поїзда, у складі якого власний (орендований) рухомий склад.

В рамках дослідження виконані розрахунки вартості перевезення вантажів локомотивами залізниці та власними локомотивами. На рис. 1

наведені приклади залежності вартості послуг залізниці від відстані під час перевезення зерна кінцевими маршрутами з 54 вагонів для завантаженого (а), порожнього (б) рейсу та загалом (в).

Водночас витрати на перевезення завантаженого маршруту локомотивом залізниці визначались за виразом (1), а власним локомотивом – за виразом (2).

$$C_{пз}^з = c_{п}^з \cdot k \tag{1}$$

$$C_{пв}^з = \left(\frac{c_{п}^л}{m_c} + c_{п}^{вз} \right) k \tag{2}$$

Витрати на перевезення порожнього маршруту локомотивом залізниці визначались за виразом (3), а власним локомотивом – за виразом (4).

$$C_{пз}^з = c_{п}^н \cdot k \tag{3}$$

$$C_{пв}^e = \frac{c_{и}^п}{m_c} + c_{и}^{вп} \quad (4)$$

де $c_{и}^3, c_{и}^п$ – плата за використання інфраструктури та локомотивів залізниці;

$c_{и}^{в3}, c_{и}^{вп}$ – відповідно, вартість перевезення завантаженого та порожнього вагона власним локомотивом;

m_c – состав поїзда;

Загальні витрати визначались як сума витрат порожнього та завантаженого маршруту.

Аналіз залежностей, представлених на рис. 1 (б), показує, що діюча тарифна система містить дискримінаційні положення щодо перевезень вантажів у поїздах із власними локомотивами, оскільки вартість перевезень вантажів у поїзді з власним локомотивом, чи локомотивом Укрзалізниці практично не відрізняються.

Опосередковано величину локомотивного складника в тарифі можна визначити як різницю між величиною витрат на перевезення вантажів залізницею з її локомотивом та локомотивом підприємства. На рис. 2 наведена зміна долі локомотивного складника у тарифі залежно від відстані перевезень. Тут доля локомотивного складника під час перевезень електровозами є меншою на 1%, що пояснюється додатковими витратами на утримання системи енергопостачання.

Загалом доля локомотивного складника в тарифі знаходиться в межах 23–40% для електровозної тяги та 30–41% тепловозної тяги. Максимальне значення долі локомотивного складника у тарифі припадає на відстань 140–240 км.

Окрім вартості користування інфраструктурою під час перевезення власним локомотивом, перевізник несе витрати на паливо чи електроенергію, оплату праці локомотивних бригад, витрати, пов'язані з обслуговуванням локомотивів. Таким чином, загальні витрати на перевезення складуться:

$$C_{пв} = \frac{2c_{и}^п}{m_c} + c_{и}^{в3} + c_{и}^{вп} + C_{вв} + C_{п} + C_6 + C_{л},$$

де $C_{вв}$ – плата за користування вагоном під час перевезення власним локомотивом;

$C_{п}$ – вартість палива чи електроенергії;

C_6 – витрати на оплату праці локомотивних бригад;

$C_{л}$ – витрати на експлуатацію локомотива.

Розрахунок величини витрат на паливо та електроенергію виконаний на підставі розв'язання рівняння тягово-енергетичного паспорта локомотива, що визначає норму витрат палива чи електроенергії на 10000 ткм бруто і має наступний узагальнений вигляд:

$$N_B = \frac{A_T}{Q \cdot \eta_{лн}} \left[\frac{K_x \bar{b}_x N_{кн}}{v_T} + \frac{K_{тс} - K_x \cdot \bar{b}_x}{367,2} (P + Q)(W_0 + i) \right],$$

де A_T – індекс виду тяги, який для електричної тяги складає 10000, а для тепловозної тяги приймається рівним 843 за вимірювання витрат палива у натуральних одиницях та 1 222,4 за вимірювання витрат палива в умовних одиницях [10];

Q – маса состава поїзда, т;

$\eta_{лн}$ – номінальний ККД локомотива;

K_x – коефіцієнт використання потужності допоміжних споживачів локомотива на холостому ходу;

\bar{b}_x – відносні витрати енергоносіїв на холостому ходу:

$$\bar{b}_x = \frac{b_x}{B_{чн}}$$

b_x – годинні витрати енергоресурсів, кВт·год (кГНП – для тепловозів) в режимі холостого ходу;

$B_{чн}$ – годинні витрати енергоресурсів, кВт·год (кГНП – для тепловозів) за номінального режиму;

$N_{кн}$ – номінальна дотична потужність локомотива, кВт;

v_T – технічна швидкість, км/год;

$K_{тс}$ – коефіцієнт технічного стану локомотива;

P – маса локомотива, т;

i – еквівалентний ухил, %;

W_0 – основний питомий опір руху поїзда [12].

В розрахунках прийнято, що завантажений поїзд рухається в напрямку порту, а порожній в напрямку від порту. Залежність витрат на паливо та електроенергію від відстані перевезень має лінійну залежність і представлена на рис. 3.

Витрати, які пов'язані з оплатою праці локомотивних бригад на один вагон, враховують відстань перевезення вантажу у цьому вагоні за виразом

$$C_6 = \frac{1}{m_c} \cdot c_6 \theta_6,$$

де θ_6 – обіг локомотивної бригади;

c_6 – витрати за одну годину роботи локомотивної бригади.

Виконані у [9] дослідження показують, що при відстанях перевезення до 200 км локомотивна бригада за один рейс може повертатись до пункту відправлення. У зв'язку з цим при $L_n \leq 200$ витрати часу локомотивної бригади на поїздку можуть бути визначені як

$$t_{л6} = t_{пp} + \frac{2L_n}{v_d} + t_{зд},$$

де $t_{пp}, t_{зд}$ – витрати часу на приймання та здавання локомотива;

L_n – відстань перевезення;

v_d – дільнична швидкість, км/год.

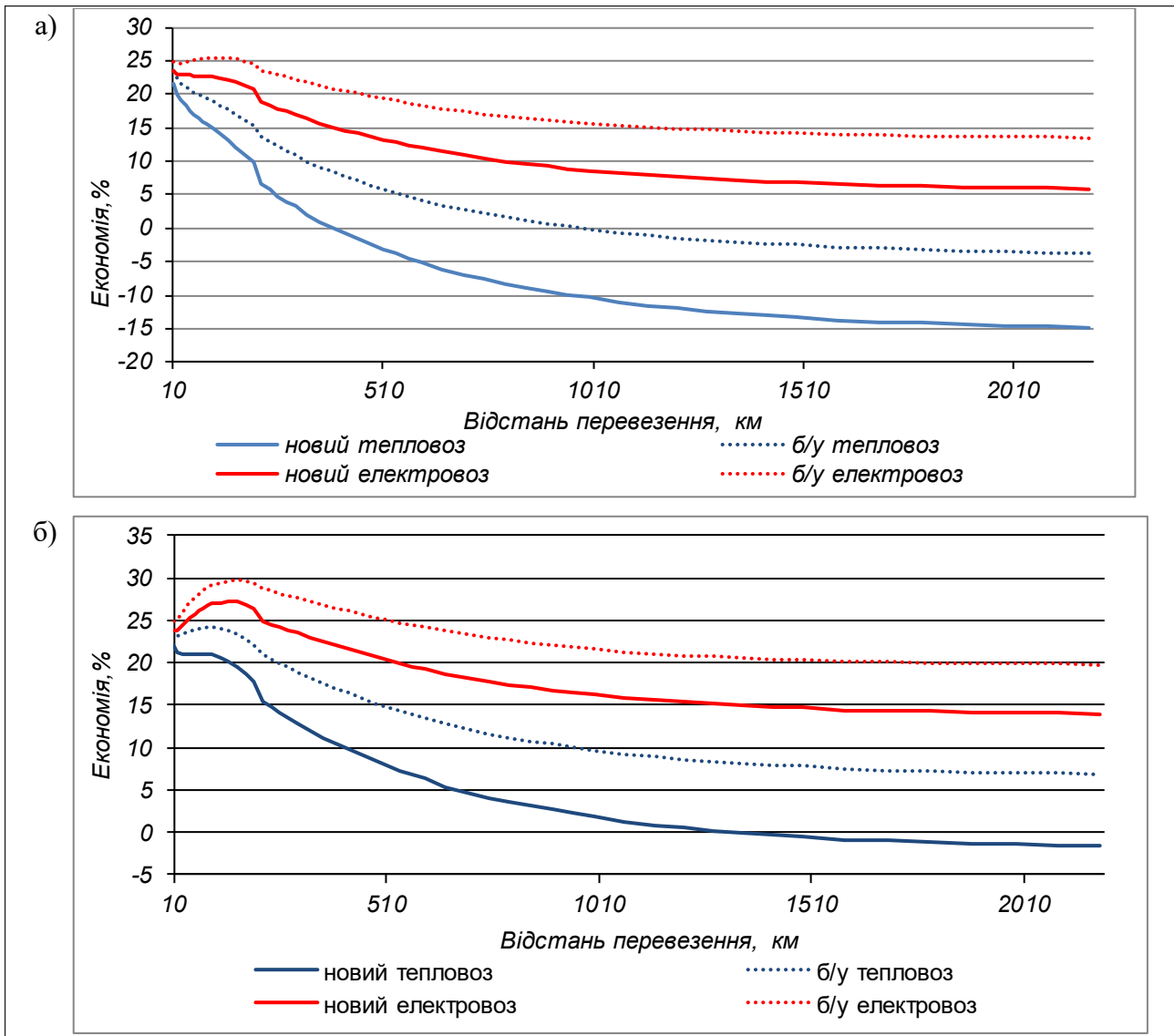


Рис. 4. Економія використання приватних локомотивів під час перевезення руди (а) та зерна (б)

За умови збільшення відстані перевезень локомотивна бригада повинна відпочивати у пункті обороту не менше половини часу поїздки. Тому витрати часу локомотивної бригади на поїздку при $L_n > 200$ можуть бути визначені як

$$t_{\text{лоб}} = 1,5t_{\text{пр}} + \frac{2,5L_{\text{п}}}{v_{\text{д}}} + t_{\text{зд}}$$

Фінансові витрати за одну годину роботи локомотивних бригад можуть бути визначені як

$$c_{\text{б}} = \alpha_{\text{р}} \frac{\Phi_{\text{м}}}{T_{\text{м}}} (1 + k_{\text{нзп}} + k_{\text{нк}}),$$

де $T_{\text{м}}$ – місячна норма часу роботи локомотивної бригади;

$\Phi_{\text{м}}$ – місячний фонд оплати праці локомотивної бригади;

$\alpha_{\text{р}}$ – коефіцієнт запасу, що враховує додаткові втрати часу під час поїздки;

$k_{\text{нзп}}, k_{\text{нк}}$ – коефіцієнти, що враховують нарахування на заробітну плату та накладні видатки.

Аналіз обігу вагонів показує, що біля 90% його припадає на простої вагонів на станціях. Виключення простоїв поїздів в очікуванні локомотивів дозволить зменшити обіг вагонів. Залежність величини обігу вагонів від відстані перевезень може бути оцінена за таким виразом:

$$\theta_{\text{вз}} = \theta_{\text{в}} - T_{\text{тех}} - \frac{1}{24} \left(\frac{R}{v_{\text{д}}} + \frac{2L_{\text{п}}}{v_{\text{д}}} \right) + T_{\text{тех}} \frac{2L_{\text{п}}}{R},$$

де $\theta_{\text{вз}}$ – обіг вагона згідно зі звітними даними;

$T_{\text{тех}}$ – простій вагона на технічних станціях протягом обігу;

R – рейс вагона.

У разі використання приватних локомотивів перевезення один локомотив буде здійснювати рейс від станції відправлення до станції призначення, і простої на технічних станціях будуть пов'язані лише зі

зміною локомотивних бригад. Тому величина обігу вагона від відстані перевезень може бути оцінена як

$$\theta_{\text{вз}} = \theta_{\text{в}} - T_{\text{тех}} + \left(\frac{2L_{\text{п}}}{l_{\text{зм}}} - 1 \right) t_{\text{зм}} + \frac{(2L_{\text{п}} - R)}{24v_{\text{д}}},$$

де $t_{\text{зм}}$ – витрати часу на зміну локомотивної бригади;

$l_{\text{зм}}$ – відстань між пунктами зміни локомотивних бригад.

За умови урахування вищевказаних витрат економія коштом використання власного локомотива зменшиться, як на рис 4.

Аналіз отриманих залежностей показує, що в умовах чинної нормативної бази використання приватних локомотивів є економічно обґрунтованим для підприємств, що формують стійкі вантажопотоки та мають локомотивну інфраструктуру. Під час використання електровозів економія забезпечується для усіх відстаней перевезень, які є в Україні. Потенційними напрямками використання приватних електровозів змінного струму є перевезення вантажів у напрямку портів, постійного струму – перевезення руди та вугілля від місць видобування відповідно до металургійних підприємств та електростанцій. Водночас для використання приватних електровозів має бути вирішена проблема комерційного обліку електроенергії, що використовується окремим електровозом.

Економічна ефективність використання тепловозів є меншою за ефективність електровозів через більшу вартість енергоносіїв. Під час перевезення вантажів за 1-ю тарифною схемою (руда, вугілля і таке інше) новими тепловозами економічно доцільними є лише перевезення на короткі відстані до 400 км. Застосування локомотив, що були в експлуатації, може бути ефективним на відстанях до 1000 км. Водночас для вантажів, що перевозяться за другою тарифною схемою, використання нових тепловозів є ефективним для відстаней до 1 400 км та тих, що були у користуванні, для усіх можливих відстаней перевезень в Україні. За умови створення в Україні мережі елеваторів для навантаження відправницьких маршрутів приватні тепловози можуть використовуватись для доставки зерна у морські порти.

Висновки. У результаті досліджень вперше встановлено залежності величини економії витрат на залізничні перевезення від відстані за умови використання приватної локомотивної тяги. Виконані розрахунки показують, що застосування приватних локомотивів є економічно обґрунтованим і може забезпечити економію витрат до 35%. В цих умовах допуск локомотивів підприємств до магістральної залізничної лінії є одним із ефективних методів вирішення проблеми старіння парку тягового рухомого складу Укрзалізниці.

Список літератури:

1. Вантажооборот та обсяги перевезень вантажів у 2017 році. Державна служба статистики України. URL: https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2017/tr/vp/vp_u/vp1217_u.htm.
2. Козлов П.А., Вакуленко С.П. Модель оптимального графіка оборота поїздних локомотивов. Вестн. ВНИИЖТа № 2, 2015. с. 15–20.
3. T. Butko, A. Prokhorchenko, M. Muzykin. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies Vol. 5. Iss. 3 (83), 2016. P. 47–55. doi: 10.15587/1729-4061.2016.80471.
4. Д.Н. Козаченко, Н.И. Березовый, Н.М. Санницкий Н.М. Формализация описания железнодорожной инфраструктуры. Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетропетровськ, 2015.
5. Пояснювальна записка до консолідованого проекту фінансового плану ПАТ «Українська залізниця» на 2017 рік. URL: <https://mtu.gov.ua/news/29134.html>.
6. Постанова від 1 серпня 2011 р. № 840 Київ Про затвердження Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-%D0%BF>.
7. Стратегія розвитку пат «Укрзаліниця» на 2017–2021 роки URL: <https://www.uz.gov.ua/about/documents/strategiya/>.
8. Тарифне керівництво №1. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги. Київ. «Укрзаліниця», 2009. 200 с.
9. Д.М. Козаченко, О.Б. Очкасов, А.П. Шепотенко, Н.М. Санницький Перспективи використання приватних локомотивів для перевезення вантажів в напрямку морських портів. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2017. с.7–19.
10. Методика розрахунку норм витрат дизельного палива і електроенергії на тягу поїздів. ЦТ-0099. Затв. наказ. Укрзалізниці № 113-Ц від 09.06.04р. Київ, 2004.
11. Grushevska, K., Notteboom T., Shkliar A. Institutional railreform: The case of Ukrainian Railways. Transport Policy 46. 2016, p. 7–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.11.001>.
12. Правила тяговых расчетов для поезда работы. Москва. Транспорт, 1985. 287 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТНОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

В статье рассмотрено состояние обеспечения локомотивной тягой железнодорожного транспорта. Выполнена оценка затрат, связанных с использованием железнодорожной инфраструктуры, энергоносителей, оплатой труда локомотивных бригад, приобретением и эксплуатацией локомотивов со стоимостью услуг Укрзалізничці. Исследования выполнены на основе методов организации эксплуатационной работы железных дорог и экономико-математического моделирования. Проведен анализ экономической целесообразности применения частных локомотивов для осуществления перевозок. Установлена зависимость величины экономии затрат на перевозку грузов частными локомотивами от расстояния перевозок.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, грузовые перевозки, реструктуризация железных дорог, организация перевозок, частная локомотивная тяга.

THE RESEARCH OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF PRIVATE LOCOMOTIVES ON THE UKRAINIAN RAILWAYS

The state of providing locomotive traction of the railway transport was analyzed in this article. Assessment of costs associated with the use of railway infrastructure, energy, remuneration of locomotive crews, acquisition and operation of locomotives with the cost of Ukrzaliznytsia services. The research is based on the methods of organization of operational work of Railways and economic and method of mathematical modeling. The analysis of economic expediency of the use of private locomotives for carrying out of transportations was carried out. The dependence of the cost savings on the transportation of goods by private locomotives on the distance of transportation.

Key words: railway transport, freight transportation, railway restructuring, transportation organization, private locomotive traction.

УДК 656.2

Турпак С.М.

Запорізький національний технічний університет

Васильєва Л.О.

Запорізький національний технічний університет

Падченко О.О.

Запорізький національний технічний університет

Лебідь Г.О.

Запорізький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ВІДВАНТАЖЕННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

У статті виконано дослідження процесів перевезення вузькономенклатурної крупнопартійної продукції металургійних підприємств. Установлено необхідність удосконалення транспортних технологій на етапі формування вантажних відправлень. У загальному логістичному ланцюзі виділено та досліджено роботу мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургійного підприємства. Отримано цільову функцію оптимізації транспортно-складських процесів у цих умовах. Надано рекомендації щодо практичного використання виконаних досліджень.

Ключові слова: транспортні засоби, металургійне підприємство, навантаження, металопродукція, вантажопідйомність.

Постановка проблеми. Перевезення вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції потребують удосконалення транспортних технологій на етапі формування вантажних відправлень. Коли технологія виробництва зумовлює випадковий характер маси вантажних місць, а ринок – різноманітність замовлень продукції та операторів перевезень, неможливе ні повне використання транспортних засобів за вантажопідйомністю, ні ідеальне розташування вантажів на складах готової продукції з позиції забезпечення найшвидшого завантаження транспорту. Ситуація ускладнюється постійним удосконаленням та зміною вимог до розміщення вантажу в рухомому складі, транспортно-складських та технологічних процесів. У загальному логістичному ланцюзі необхідно виділити та дослідити роботу мікрологістичної системи відвантаження готової продукції (МЛС ВГП) металургійного підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прокатні цехи, які відвантажують готову продукцію, належать до несприятливих ланок металургійного виробництва через нерівномірність, яка має місце в транспортному процесі [1]. Дослідження системи відвантаження готової продукції металургійного підприємства, знайшли своє відбиття в роботах В.Є. Парунакяна, Г.В. Маслак і

М.І. Аксьонова [2–7], С.І. Файнштейна, В.Д. Тугарова [8], А.Н. Рахмангулова, С.Е. Гавришева [9–12] та ін. Авторами часто застосовувався логістичний та системний підходи з використанням сучасних методів аналізу та оптимізації транспортних систем. Але запропоновані ними методи не враховують особливості певних видів металопродукції та необхідності більш глибокого рівня деталізації досліджуваних процесів.

До 2006 року в Україні діяли Технічні умови розміщення та кріплення вантажів (ТУ) [13]. З 01.07.2006 р. у відповідності з Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 18 травня 2010 року N 299 [14] розміщення і кріплення вантажів у вагонах і контейнерах повинно відповідати вимогам додатка 14 до «Соглашения о международном железнодорожном грузовом сообщении» (далі – СМГС) [15]. За цим документом загальна маса вантажу та засобів кріплення у вагоні не повинна перевищувати його трафаретної вантажопідйомності, а навантаження від вісі вагону на рейки не повинна перевищувати величин, що допускаються залізницею [13; 15; 16]. Відповідно до ГОСТ 22235-76 [17] у разі необхідності несиметричного розміщення вантажу у вагоні різниця у завантаженні візків не повинна перевищувати для чотирьохвісних вагонів – 10

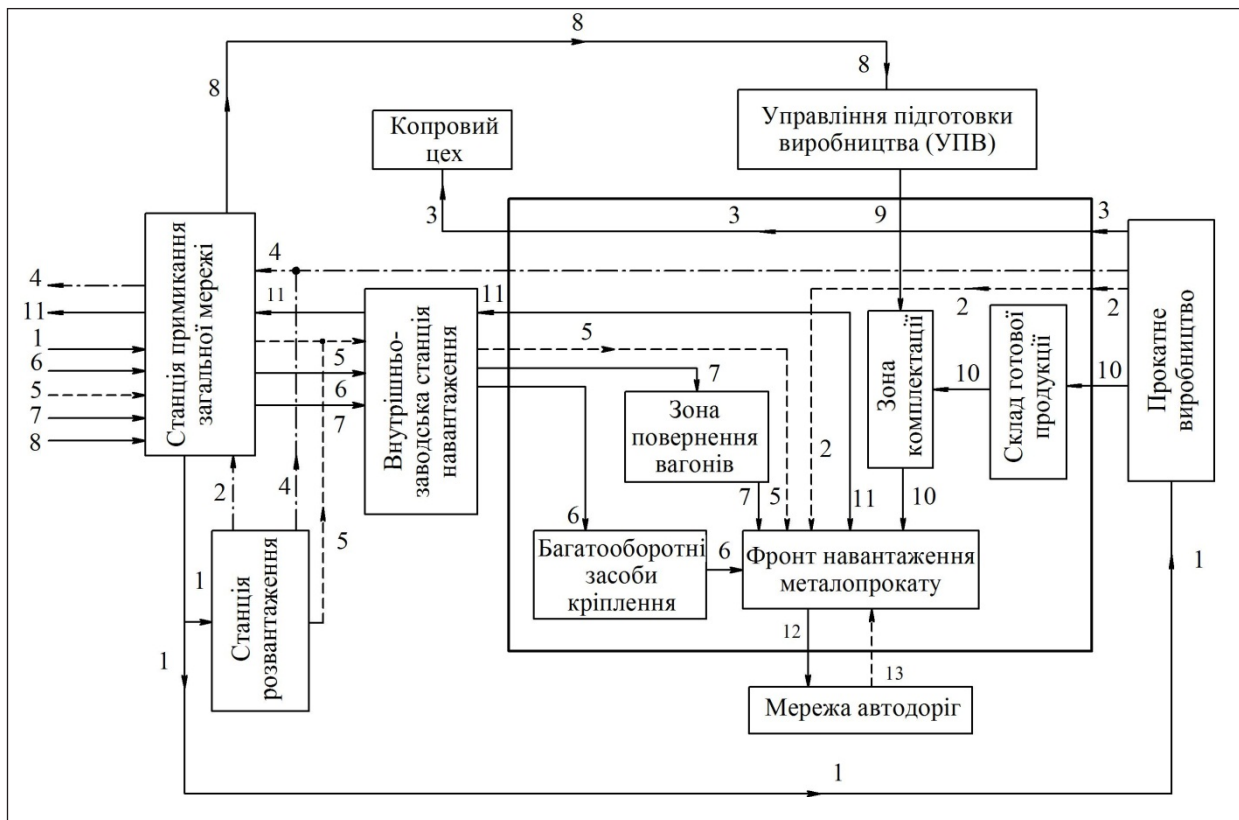


Рис. 1. Схема проходження матеріальних потоків прокатного виробництва

1 – вагони із сировиною для технологічного виробництва; 2 – порожні вагони після вивантаження сировини для виробництва; 3 – вагони з відходами прокатного виробництва; 4 – порожні вагони, що повертаються на мережу Укрзалізниці; 5 – порожні вагони під навантаження металопрокату; 6 – вагони з багатоборотними засобами кріплення; 7 – вагони з порушеннями умов навантаження; 8 – матеріали для виготовлення засобів кріплення та пакування металопрокату; 9 – потік засобів кріплення та пакування металопрокату; 10 – металопотік (металопрокат); 11 – вагони з готовою продукцією (металопрокатом); 12 – завантажені автомобілі з металопрокатом; 13 – порожні автомобілі.

т; для шестивісних – 15 т та для восьмивісних – 20 т [13; 15; 16].

Для забезпечення безпеки руху, схоронності перевезених вантажів та деталей рухомого складу вантажовідправникам пропонується [15] розробляти такі схеми завантаження вагонів, за яких загальний центр ваги вантажів співпадає з осями симетрії вагону навіть у збиток використання корисної площі кузову та вантажопідйомності вагону.

Для розміщення й транспортування у вагонах рулонів прокату великої маси використовуються різні багатоборотні засоби кріплення, які дозволяють розмістити й зафіксувати рулон за допомогою вантажозахватного механізму без застосування додаткових технічних засобів, пристосувань і працевитрат. Для транспортування використовують багатоборотні металеві рами конструкції ВАТ «Новолипецький металургічний комбінат» [18], комплекти з двох металевих

рам конструкції ПАТ «Запоріжсталь» [15] та ВАТ «Магнітогорський металургічний комбінат» [15]. Під час використання багатоборотних засобів кріплення рулонів виключається ймовірність ушкодження внутрішніх і зовнішніх витків рулонів у процесі навантажувальних операцій і транспортування, забезпечуються мінімальні переміщення рулону в горизонтальній площині під час транспортування як під час руху поїзда, так і під час виконання маневрів. Крім того, виключається ймовірність ушкодження й руйнування штирів і торцевих упорів рам при ударах, пов'язаних із різким гальмуванням й/або зупинкою вагона. Але проблема не повного використання вантажопідйомності вагонів, зумовлена випадковим характером маси вантажних місць залишається.

Постановка завдання. Головними цілями статті є формалізація мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургічного підприємства, аналіз процесів її функціону-

вання та визначення в неявному вигляді цільової функції. Це дає можливість поєднати локальні оптимізаційні методи та сформувавши методологію, яка забезпечить підвищення ефективності МЛС ВГП.

Виклад основного матеріалу дослідження. Прокатний цех є частиною логістичної системи металургійного підприємства й виконує окремі конкретні завдання в загальнозаводських процесах приймання сировини, відвантаження готової продукції й технологічних перевезень між цехами підприємства.

Прокатний цех взаємодіє не тільки з виробничими цехами, що забезпечують прокатне виробництво, але й з об'єктами внутрішньозаводського й зовнішнього транспорту (рис. 1).

Транспортне обслуговування прокатних цехів металургійних підприємств полягає у виконанні різних операцій із навантаженими й порожніми вагонами: починаючи з подання порожніх вагонів із заводської сортувальної станції під навантаження в прокатні цехи й закінчуючи збиранням

завантажених вагонів із металопрокатом із вантажних фронтів.

На станцію примикання металургійного підприємства надходять вагони із сировинними матеріалами для технологічного виробництва (1), які згодом передаються на fronti вивантаження виробничих цехів.

Після розвантаження сировинних матеріалів порожні вагони передаються на станції навантаження (2), де визначається придатність для зведеної операції – навантаження металопрокату. Кожний вид металопрокату визначає вимоги, які надаються до порожніх вагонів. Під час сортування вагонів враховують технічний стан і приналежність різним операторам рухомого складу й власникам вагонів.

На станціях навантаження виконують підготовку вагонів зовнішньої мережі, в яких надходять сировинні матеріали, для повторного використання під час навантаження продукції, а також повернення надлишків порожніх вагонів на зовнішню мережу. Тут виконується комплекс операцій, що включає, за необхідності, очищення й підбирання вагонів відповідно до комерційних і технічних вимог та передання у встановлений строк у виробничі цехи під навантаження заявленого обсягу металопродукції.

Було проведено аналіз використання протягом року вагонів під подвійні операції, який показав, що після вивантаження приблизно 70% порожніх вагонів придатні під навантаження й 30% – непридатні (рис. 2). Із загальної кількості вагонів, використовуваних під навантаження металопрокату, 61% є придатним без застережень, а 9% – придатні тільки навантаження металопрокату тільки на піддонах. У кількісному відношенні це так: 17911 вагонів придатні без застережень; 2736 – придатні під навантаження прокату на піддонах і 8697 – не придатні під навантаження.

Слід указати на наявність невеликого вантажопотоку відходів металопродукції (3) до копрового цеху.

Надлишки порожніх вагонів формують у переданні й повертають на станцію примикання зовнішньої мережі (4).

Крім вивантажених вагонів під навантаження подаються й порожні вагони із зовнішньої мережі (5). У різні часові періоди співвідношення вагонів, використовуваних після вивантаження, і порожніх

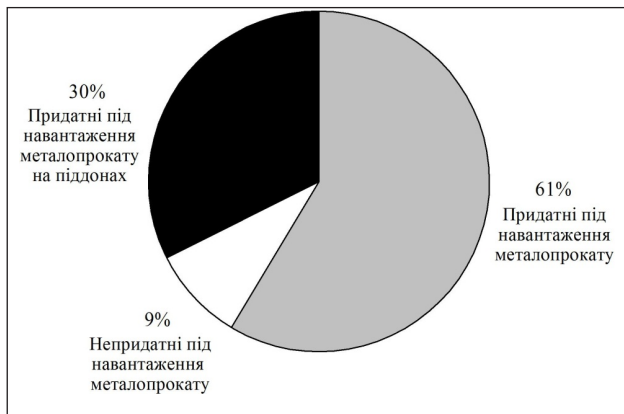


Рис. 2. Діаграма придатності порожніх вагонів під навантаження металопрокату

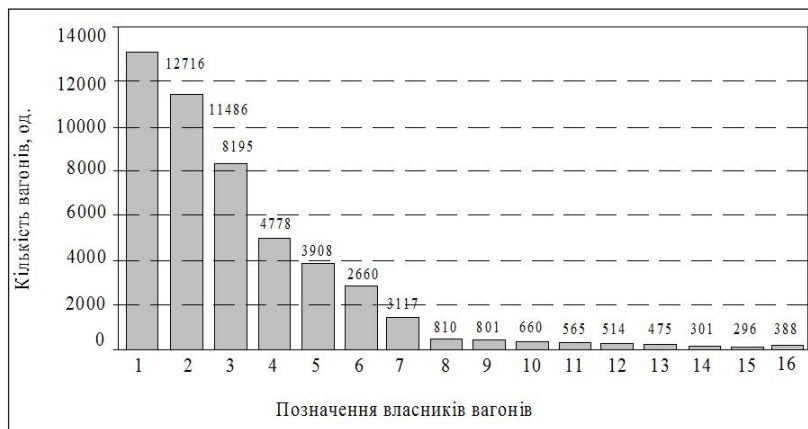


Рис. 3. Діаграма розподілу приналежності вагонів, що надходять на підприємство, по власниках

вагонів із зовнішньої мережі, міняється. Як показує аналіз, від 50% до 95% вагонів може використовуватися під подвійні операції.

Крім вивчення фактора придатності вагонів, був проведений аналіз у розрізі приналежності вагонів різним власникам, тому що цей фактор зумовлює підбір вагонів під різні види металопрокату. Діаграма розподілу вагонів по власниках наведена на рис. 3.

Крім навантажених і порожніх вагонів, на підприємство надходять вагони з багатооборотними засобами кріплення, на яких раніше відвантажувалася металопрокат (6), і незначна частина вагонів із порушеннями умов навантаження (7). Ці категорії вагонів після надходження на підприємство із вхідної сортувальної станції одразу передаються безпосередньо в прокатний цех.

Багатооборотні засоби кріплення вивантажуються й подаються на вантажний фронт для розміщення у вагонах для навантаження металопрокату.

Вагони, не прийняті до перевезення залізницею, подаються в зону повернення прокатного цеху для усунення порушень Технічних умов навантаження з наступним відправленням продукції замовникам.

Крім вагонів із сировиною (1) і порожніх (5), на підприємство надходять вагони з матеріалами для виготовлення одноразових не багатооборотних засобів кріплення й упакування металопрокату (8). Ці вагони подаються в Управління підготовки виробництва (далі – УПП).

За заявками прокатного цеху в міру необхідності засобу кріплення й пакувальні матеріали (9) автотранспортом завозяться в прокатні цехи для пакування й відвантаження металопрокату.

Із технологічних ліній прокатних цехів металопрокат (10) надходить на склад готової продукції, де виконується його сортування й підготовка до відвантаження, комплектація окремими партіями відповідно до заявок споживачів. Кожна сформована партія повинна відповідати вагонній нормі. На наступному етапі оформляється формувальна картка на відвантаження прокату, продукція надходить у зону комплектації, де проводиться її впакування й маркування.

Металопрокат, сформований у відправлення відповідно до замовлень споживачів, передається

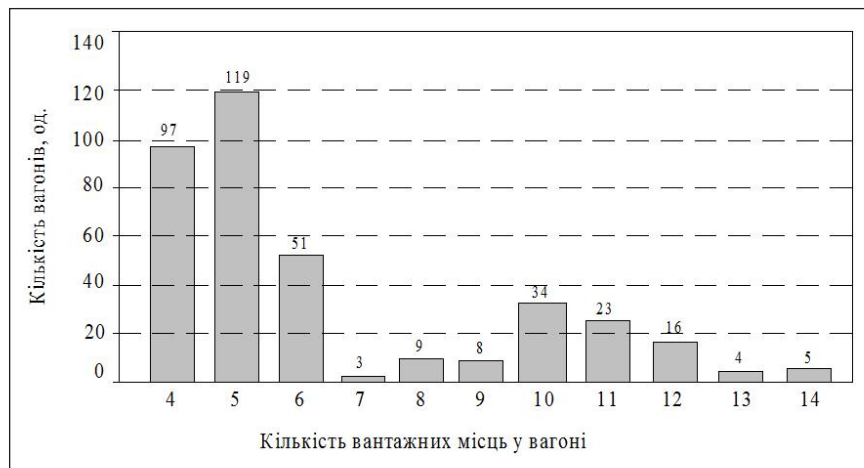


Рис. 4. Діаграма розподілу кількості вантажних місць у відвантажувальній партії

на вантажні fronti навантаження прокатних цехів.

Кожний прокатний цех характеризується певним видом продукції, що випускається, способом відвантаження споживачам, кількістю вантажних місць у відвантажувальній партії.

Результати аналізу кількості вантажних місць у відвантажувальній партії представлено на рис. 4.

Як видно з діаграми, найбільша кількість вагонів відвантажуються з металопрокатом у рулонах по 4, 5 і 6 рулонів у відправленні (близько 2/3 від загального обсягу відвантаження). Приблизно третина відвантажених вагонів – це вагони з листовим прокатом у пачках.

Кожний прокатний цех має велику кількість вантажних фронтів з оброблення транспортних засобів, що прибувають під вантажними операціями. На цих фронтах проводиться вивантаження кріпильних і пакувальних матеріалів для відвантаження металопрокату, навантаження готової продукції й відходів прокатного виробництва.

Порожні вагони під навантаження металопрокату подаються на вантажні fronti задовго до початку навантаження, причому в більшій кількості, ніж потрібно для відвантаження. Це пов'язане з тим, що в прокатних цехах порожні вагони (5) також сортуються для навантаження відповідно до формувальних карток, оформленими на кожен відвантажувальну партію.

Оброблення вагонів і автомобілів на вантажних фронтах ускладнюється тим, що навантаження здійснюється кранами, зайнятими не тільки на вантажних операціях, але й в основному технологічному процесі прокатного цеху.

Вагони з металопрокатом (11) передаються на внутрішньозаводську станцію, що обслуговує

вантажні фронти прокатних цехів, а звідти – на станцію примикання загальної мережі для відправлення на станції призначення.

Металопрокат відвантажується із прокатних цехів як вагонними нормами (11), так і автотранспортом (12).

Автотранспортом металопрокат доставляється місцевим споживачам, а також у порт для відвантаження на судна. Порожні автомобілі (13) після вивантаження вертаються в прокатні цехи під чергове навантаження.

Фактори, що впливають на функціонування мікрологістичної системи відвантаження готової продукції (МЛС ВГП) металургійного підприємства представлено на рис. 5.



Рис. 5. Групи факторів, що впливають на логістичну систему відвантаження готової продукції

Критерієм ефективності функціонування МЛС ВГП є економічний – мінімум загальних логістичних витрат. Витрати в цій системі, які не залежать від параметрів вантажних місць, під час визначення цільової функції, немає сенсу враховувати. Це, наприклад, витрати, пов'язані з неприйняттям вагонів до перевезень через невідповідність технічним умовам навантаження та кріплення, витрати по перевезенню відходів виробництва та ін.

Від параметрів вантажних місць та характеристик матеріального потоку можуть залежати такі витрати:

- вартість доставки продукції споживачу, що зумовлюється коефіцієнтом використання вантажопідйомності;
- вартість використання засобів кріплення (зумовлюється використанням на інтенсивних напрямках перевезень у якості кріплень – багатооборотних металевих піддонів);
- плата за користування транспортними засобами, які завантажуються продукцією через різні технології роботи складу.

Таким чином, цільова функція приймає такий вигляд:

$$z = f[C_{дп}(N_{тз}, c_{дп}, K_{вп}); C_{кр}(N_{тз}, N_{мп}, c_{мп}, c_{ок}); C_{пл}(N_{тз}, c_{пл})] \rightarrow \min \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$N_{тз} \geq N_{мп} \geq 0, 1 \geq K_{вп} \geq 0, \quad (2)$$

де $C_{дп}$ – загальна вартість витрат на доставку продукції споживачу, грн;

$N_{тз}$ – кількість відправлених транспортних засобів з продукцією, од.;

$c_{дп}$ – вартість доставки відправки, грн/од.;

$K_{вп}$ – коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортного засобу;

$C_{кр}$ – витрати на засоби кріплення, грн;

$N_{мп}$ – кількість відправлень з використанням багатооборотних засобів кріплення, од.;

$c_{мп}$ – витрати на одне відправлення з багатооборотними засобами кріплення, грн.;

$c_{ок}$ – витрати на одне відправлення з одноразовими засобами кріплення, грн.;

$C_{пл}$ – загальна вартість плати за користування транспортними засобами, грн.;

$c_{пл}$ – ставка плати за користування транспортним засобом, грн.

Отримана в неявному вигляді функція (1) дозволить у подальшому поєднати локальні оптимізаційні методи та сформуванню методологію, яка забезпечить підвищення ефективності МЛС ВГП.

Висновки. Під час дослідження визначено структуру МЛС ВГП металургійного підприємства шляхом аналізу вхідних та вихідних даних цієї системи і проведено її дослідження:

1) виконано аналіз МЛС ВГП та її процесів, що дає можливість визначення основних факторів, параметрів та показників ефективності її функціонування;

2) встановлено, що зовнішніми факторами впливу на функціонування МЛС ВГП є технологічні процеси виробництва, які зумовлюють характер вхідних матеріальних потоків, та вимоги щодо розміщення та кріплення вантажів у транспортних засобах, що структурують вихідний потік. Головним внутрішнім фактором МЛС ВГП є транспортно-складські процеси, які формуються, виходячи з стану інфраструктури складу продукції, рівня організації та управління його роботою, інформаційного забезпечення тощо;

3) отримано цільову функції оптимізації МЛС ВГП металургійного підприємства та її обмеження;

4) визначено головну мету подальших досліджень: вироблення ефективної стратегії управління МЛС ВГП в умовах постійного удосконалення транспортних засобів, схем навантаження, технології виробництва та виконання вантажних і транспортно-складських робіт.

Список літератури:

1. Маслак А.В. Особенности функционирования промышленного железнодорожного транспорта в условиях роста динамики производственного процесса. Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. праць / ПДТУ. Маріуполь, 2013. Вип. 9. Ч. 1. С. 94–98.
2. Парунакян В.Э., Сизова Е.И. Оптимизация взаимодействия потоковых процессов в логистических транспортно-грузовых комплексах предприятий. Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. праць / ПДТУ. Маріуполь, 2009. Вип. 19. С. 251–255.
3. Парунакян В.Э., Маслак А.В. Повышение эффективности взаимодействия производства и транспорта в процессе материалодвижения металлургических предприятий. Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. праць / ПДТУ. Маріуполь, 2017. Вип. 35. С. 237–244.
4. Парунакян В.Э., Головченко А.В. Логистический подход к транспортному обслуживанию производственных цехов металлургических предприятий при отгрузке готовой продукции. Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. Маріуполь, 2004. Вип. 14. С. 315–318.
5. Парунакян В.Э., Маслак А.В., Аксенов М.Л. Идентификация внешних вагонопотоков металлургических предприятий. Вестник Приазовского гос. техн. ун-та : сб. научн. тр. Мариуполь, 2012. Вып. 24. С. 295–303.
6. Аксенов М.Л. Комплексная модель системы транспортного обслуживания металлургического предприятия. Вестник Приазовского гос. техн. ун-та: сб. научн. тр. Мариуполь, 2012. Вып. 25. С. 252–259.
7. Маслак Г.В. Підвищення ефективності взаємодії виробництва і транспорту при відвантаженні готової продукції металургійних підприємств : дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.12 / Приазов. держ. техн. ун-т. Маріуполь, 2009. 162 с.
8. Оперативное планирование движения готовой продукции на складах металлургических предприятий / Файнштейн С. И. и др. Вестник МГТУ им. Г. И. Носова: сб. научн. тр. Магнитогорск, 2007. Вып. 4. С. 108–112.
9. Рахмангулов А.Н. Разработка методики транспортного обслуживания предприятий на основе оптимизации взаимодействия сортировочных комплексов промышленного и магистрального железнодорожного транспорта: дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.01 / Моск. гос. ун-т путей сообщения. Москва, 1996. 220 с.
10. Рахмангулов А.Н. Методологические основы организации функционирования промышленных железнодорожных транспортно-технологических систем: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01 / Моск. гос. ун-т путей сообщения. Москва, 2013. 373 с.
11. Транспортная логистика : учеб. пособие / Гавришев С. Е. и др. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 372 с.
12. Лукьянов В.А. Методика оптимизации взаимодействия промышленного транспорта и основных производств предприятий черной металлургии : дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.01. Санкт-Петербург, 2003. 154 с.
13. Технические условия погрузки и крепления грузов. Москва: Транспорт, 1988. 408 с.
14. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 18 травня 2010 року N 299 Про затвердження Порядку розроблення технічної документації щодо розміщення і кріплення вантажів у вагонах і контейнерах, які перевозяться залізничним транспортом. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua>.
15. Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов и вагонов в контейнерах». Москва: Планета, 2008. 191 с.
16. Збірник № 28 Правил перевезень і тарифів залізничного транспорту України : вид. на підставі ст. 5 Статуту залізниць України та ст. 37 «Соглашения о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС)» / Мінтранс та зв'язку України. Держ. адмін. заліз. транспорту України. Укрзалізниця. Київ : Інпрес, 2010. 80 с.
17. ГОСТ 22235-2010 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. [Введен 2011-04-30]. Москва: Стандартинформ, 2011. 24 с. URL: <http://vsegost.com / Catalog>.
18. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. Москва: Юридическая фирма «Юртранс», 2003. 544 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЛОГИСТИЧНОЙ СИСТЕМЫ ОТГРУЗКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье выполнены исследования процессов перевозки узкономенклатурной крупнопартионной продукции металлургических предприятий. Установлена необходимость усовершенствования транспортных технологий на этапе формирования грузовых отправок. В общей логистической цепи выделена и исследована работа микрологистической системы отгрузки готовой продукции металлургического предприятия. Получена целевая функция оптимизации транспортно-складских процессов в данных условиях. Представлены рекомендации относительно практического использования выполненных исследований.

Ключевые слова: транспортные средства, металлургическое предприятие, погрузка, металлопродукция, грузоподъемность.

INVESTIGATION OF THE MICRO-LOGISTIC SYSTEM OF SHIPMENT OF FINISHED PRODUCTS OF METALLURGICAL ENTERPRISE

The article includes researches of transportation processes of low-variety large-scale production of metallurgical enterprises. The necessity of improvement of transport technologies at the stage of formation of cargo shipments is established. The work of the micro-logistic system of shipment of finished products of the metallurgical enterprise is highlighted and investigated in the general logistic chain. The target function of optimization of transport and warehouse processes in given conditions is obtained. Recommendations on practical use of performed researches are provided.

Key words: transport vehicles, metallurgical enterprise, loading, metal products, load-carrying capacity.

УДК 656.13

Шелудченко Л.С.

Подільський державний аграрно-технічний університет

Чинчик О.С.

Подільський державний аграрно-технічний університет

Поліщук Д.В.

ТД ВО «Машинобудівний завод»

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОЗНАКИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ТА ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИДОРІЖНЬОЇ ТЕРИТОРІЇ

У статті на підставі критерію неперервності кусочно-лінійної функції режимів руху автотранспортних засобів визначено мінімальне значення щільності, інтенсивності та швидкості, за яких колективний рух окремих одиниць автотранспорту набуває характерних ознак синхронізованого автотранспортного потоку та специфіки впливу на придорожні ландшафти.

Ключові слова: автотранспортний потік, синхронізація автотранспортного потоку, функціональні ознаки, кусочно-лінійна функція, екологічна безпека.

Постановка проблеми. Автотранспортним потоком є множина (C) автотранспортних засобів, які беруть участь у спільному русі вздовж деякої ділянки автомобільної дороги і характеризуються такими фізичними ознаками, як габарит (G), динамічний габарит (GD), інтервал руху (I), протилежно напрямлені підмножини (C_1 і C_2) транспортних засобів тощо [2; 3; 6]. Рух автотранспортного засобу в складі автотранспортних потоків значно відрізняється від руху окремого транспортного засобу, що зумовлює зміну навантажувально-швидкісних режимів роботи двигунів, тому й показників витрат пального та, як наслідок, викидів шкідливих речовин в об'єкти навколишнього середовища [5; 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними чинниками, які спричиняють вплив автотранспортних потоків на навколишнє середовище, є склад і структура автотранспортних засобів у потоці, швидкість, навантажувальний режим, інтенсивність і щільність руху, технічний стан і експлуатаційні властивості окремих фізичних одиниць потоку, хімічний склад використаного пального тощо [2; 6].

Окрім суто технічних чинників автотранспортного потоку, визначальним показником міграційних процесів забруднювачів у межах природно-техногенної геоекосистеми (смуги впливу автомобільної дороги) є характеристики автотранспортної мережі [1]. До цих характеристик необхідно віднести показник автотран-

спортної ємності території природно-техногенної геоекосистеми, ландшафтні особливості трасування та конструкційні параметри автомобільної дороги, її технічний стан (зокрема за показником пошкодження дорожнього покриття) та експлуатаційні показники, відповідність щодо рівня інтенсивності автотранспортного потоку і питомого навантаження на дорожні покриття, наявність газопилозахисної інфраструктури в межах резервно-технологічної смуги, локальна варіативність усталеного функціонального стану автотранспортного потоку на ділянках автомобільної дороги з особливими умовами руху (перехрестя та вузли автотранспортної мережі, «спуски-підйоми», серпантини, тунелі, мостові переходи, екодуки) [1; 5; 6; 7].

Постановка завдання. Розглянемо фрагмент автотранспортного потоку спрямованою сукупністю (множиною) автотранспортних засобів на автодорозі (за віссю $x-x$), підмножини (C_1 і C_2) яких рухаються в протилежних напрямках (рис.1). При цьому вважаємо, що внесок підмножин C_1 і C_2 дорівнює кількості частки по довжині, які припадають на ділянку A_x-B_x автомобільної дороги. Позначимо цю кількість через $R(t, x_{A-B})$.

Оскільки кожний транспортний засіб із $R(t, x_{A-B})$ визначений множиною дійсних чисел на заданому інтервалі, то функція $R(t, x_{A-B})$ неперервна по t є гладкою, тобто має кусочно-неперервні похідні першого і другого порядків. Таким чином, $R(t, x_{A-B})$ є кусочно-лінійною по t

(за умови усталеної швидкості автотранспортного потоку) [4, 7]. У цьому разі:

– інтенсивність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial t} = q(t, x) \quad (1)$$

– щільність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial x} = \rho(t, x) \quad (2)$$

Звідси швидкістю автотранспортного потоку є функція:

$$V(t, x) = \frac{q(t, x)}{\rho(t, x)} \quad (3)$$

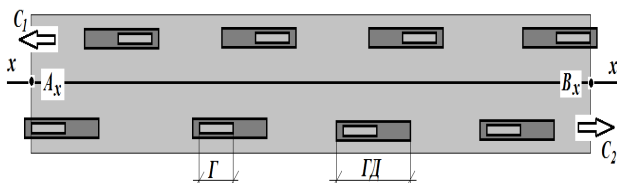


Рис. 1. Фрагмент автотранспортного потоку, підмножини (C_1 і C_2) якого рухаються вздовж x - x

Якщо швидкість V автотранспортного потоку є відомою функцією його щільності ρ , отримуємо:

$$V = f(\rho) \quad (4)$$

Будемо вважати вираз (4) функцією стану автотранспортного потоку. Тому:

$$q(t, x) = \rho(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (5)$$

а також:

$$\frac{\partial R}{\partial t}(t, x) = \frac{\partial R}{\partial x}(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (6)$$

Відповідно (6) необхідно розрізняти три основних режими руху автотранспортних засобів:

– вільний рух, що характеризується малою інтенсивністю, відсутністю взаємних перешкод поміж окремими автотранспортними засобами і відповідною швидкістю V_c . Незначна щільність автотранспортних засобів зумовлює нещільну кореляцію поміж V_c та ρ ;

– колективний рух (колективний потік), що визначається зростанням щільності ρ автотранспортного потоку, колективна швидкість V_k автотранспортних засобів визначається проектною пропускною здатністю автодороги. Кореляційний зв'язок V_c та ρ є достатньо щільним;

– насичений (синхронізований) потік, що характеризується суттєвим взаємовпливом окремих автотранспортних засобів, швидкість автотранспортного потоку V_n тісно корелює з інтенсивністю q та щільністю ρ . Характерною рисою синхронізованого автотранспортного потоку є суттєве варіювання значення середньої швидкості потоку. Визначального значення набуває технічний та експлуатаційний стани автомобільної дороги.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для подальшого аналізу режимів колективного руху автотранспортних засобів узгоджуємо відповідність розрахункової інтенсивності q потоку з технічною класифікацією автомобільних доріг за ДБН В.2.3-4:2007 С.5.

Представивши значення щільності ρ , інтенсивності q та характерної швидкості V сукупності автотранспортних засобів на фрагменті A_x – B_x автомобільної дороги (рис. 1), відповідно ДБН В.2.3-4:2007 С.5, в основних одиницях SI (метр, секунда) функцію стану автотранспортного потоку (4) може бути представленою у матричній формі у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Функціональні ознаки стану автотранспортних потоків

Категорія автомобільної дороги	Швидкість автотранспортного потоку, м/с	Інтенсивність потоку, 1/с	Щільність потоку, 1/м
1-а	41	> 0,17	> 0,005
1-б	38	> 0,17	> 0,004
2	33	0,17	0,005
3	27	0,07	0,003
4	25	0,03	0,001
5	25	0,003	0,0001

Якщо визначити категорію автомобільної дороги деяким бальним показником K , який набуває значень $K = 1a; 1б; 2; 3; 4; 5$ і враховуючи кусочно-лінійний характер функцій (3) і (4) за числовими значеннями матриці, які наведено в таблиці 1, то може бути побудована поверхня відгуку в координатах $K \sim \rho \sim q$ (рис. 2).

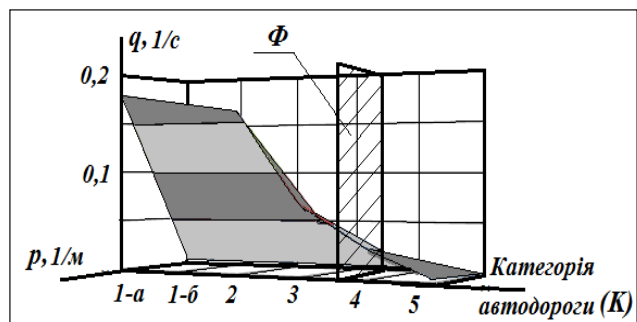


Рис. 2. Поверхня відгуку функціональних ознак стану автотранспортних потоків в координатах: категорія автодороги (K) ~ щільність автотранспортного потоку (ρ) ~ інтенсивність автотранспортного потоку (q)

Графічний аналіз висхідного лівостороннього тренду значень q та ρ (рис. 2) в напрямку зворотного зростання координаті K чітко визначає координати характерної площини Φ , яка відокремлює режим вільного руху автотранспортних засобів від колективного та синхронізованого автотранспортних потоків [4; 7].

Координати цієї площини за значеннями q та ρ становлять:

$$\begin{cases} q = 0,035 \left[\frac{1}{c} \right] \\ \rho = 0,0021 \left[\frac{1}{m} \right] \end{cases} \quad (7)$$

Наведені в (7) значення інтенсивності q та щільності ρ автотранспортного потоку визначають мінімальну швидкість V автотранспортних засобів, за якої відбувається перехід від вільного руху до колективного та синхронізованого потоків, яка, відповідно до (3), становитиме:

$$V = \frac{q}{\rho} = \frac{0,035}{0,0021} = 17,5 \left[\frac{m}{c} \right] \quad (8)$$

Мінімальні значення V , q та ρ , за яких характер руху автотранспортних засобів набуває ознак колективного руху з подальшою синхронізацією автотранспортного потоку, наведено в таблиці 2.

Аналіз даних за показниками інтенсивності q , щільності ρ та швидкості V автотранспортних потоків, які 3 можуть бути віднесені до автодорогі із колективним наведено в таблиці 2, свідчить про те, що лише автомобільні дороги категорій

1-а, 1-б, 2 і синхронізованим автотранспортним потоком у відповідності до ДБН В.2.3-4:2007 С.7 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги».

Таблиця 2

Мінімальні значення щільності ρ , інтенсивності q та швидкості V , за яких автотранспортний потік набуває характерних ознак

Інтенсивність автотранспортного потоку, авт/добу	Щільність автотранспортного потоку, авт./км	Швидкість автотранспортного потоку, км/год.
3 024	2,1	63,0

Отримані результати щодо мінімальної межі характерних ознак автотранспортного потоку, повністю збігаються з результатами розрахунків категорії небезпечності автомобільних доріг (як об'єктів господарської діяльності і відповідають вимогам галузевих будівельних норм України ДБН В.2.3-218-007:2012 «Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування»).

Висновки. Мінімальне значення інтенсивності руху автотранспортних засобів, за якого режим вільного руху сукупності фізичних автотранспортних одиниць набуває ознак колективного синхронізованого (когерентного) руху в складі автотранспортного потоку становить 3×10^3 автомобілів/добу, що відповідає нормованим значенням інтенсивності руху для автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2, 3.

Список літератури:

1. Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных. Москва: Транспорт, 1980. 189 с.
2. Внукова Н.В., Подригало М.А., Калініченко А.В., Коробко А.І. Аналіз та прогнозування європейських екологічних норм для автомобільного транспорту та аналогічні нормативи в Україні. Екологія і промисленість. 2010. № 1 (22). С. 4–9.
3. Внукова Н.В. Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу «автомобіль – дорога – середовище». Східно-Європейський журнал передових технологій. 2011. № 5/3 (53). С. 43–46.
4. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике. Москва: Речной транспорт. 1999. С. 150.
5. Дзенис П.Я., Рейнфельд В.Р. Пространственное проектирование автомобильных дорог. Москва: Транспорт. 1968. С. 112.
6. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная. [Под ред. В.Н. Луканина]. Москва: Высшая школа. 2001. С. 273.
7. Шелудченко Л.С., Вознюк С.В., Чинчик О.С., Кобринська Л.В., Носко В.Л. Автомобільні дороги: експлуатаційна надійність та екологічна безпека. Кам'янець-Подільський: ПДАТУ. 2017. С. 62.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА И ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИДОРОЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ

На основании критерия непрерывности кусочно-линейной функции режимов движения автотранспортных средств установлены минимальные значения плотности, интенсивности и скорости, при которых коллективное движение физических единиц автотранспорта приобретает характерные свойства синхронизированного автотранспортного потока и специфики воздействия на придорожные ландшафты.

Ключевые слова: автотранспортный поток, синхронизация, функциональные свойства, кусочно-линейная функция, экологическая безопасность.

**FUNCTIONAL CHARACTERS OF THE MOTOR VEHICLE FLOW
AND WAYS OF PROVIDING ENVIRONMENTAL SAFETY
OF THE TRANSITIONAL TERRITORY**

On the basis of the continuity criterion for the piecewise linear function of vehicle traffic modes, the minimum values of density, intensity and speed at which the collective movement of physical units of auto transport acquire the characteristic properties of a synchronized motor transport stream are established and the specifics of impact on roadside landscapes.

Key words: motor flow, synchronization, functional properties, piecewise linear function, ecological safety.

БУДІВНИЦТВО

УДК 625.731

Арсеньєва Н.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПІД ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ

Стаття присвячена моделюванню напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу. У більшості матеріалів, які застосовують у техніці, пластичні деформації залежать тільки від величин діючих сил і від порядку їх прикладання, але не від тривалості дії і не від швидкості, з якою проводиться навантаження. Асфальтобетон як термопластичний композитний матеріал знаходиться в іншому становищі. В експлуатаційних умовах для асфальтобетонних матеріалів за підвищених температур зв'язок між силами й переміщеннями виявляється суттєво залежним від часу. Тому ставиться завдання щодо визначення внутрішніх сил (напружень), деформацій (переміщень для точок) тіла довільної форми під час його довільного навантаження.

Ключові слова: напружено-деформований стан нежорсткого дорожнього одягу, асфальтобетонні шари, метод кінцевих елементів, головні напруження, еквівалентні напруження.

Постановка проблеми. Згідно з методологією розрахунків асфальтобетонних шарів (покриття) нежорстких дорожніх одягів, основною задачею є визначення міцнісно-експлуатаційних критеріїв, характеристика принципів забезпечення безвідмовної роботи конструкції (надійності) і прийняття розрахункової моделі конструкції. В процесі проектування будь-якого об'єкта (машини, конструкції вузла і такого іншого) одним з основних постає питання про міцність і твердість (жорсткість) як об'єкта в цілому, так і будь-якого його елемента з урахуванням заданих умов навантаження. Відомо, що для оцінки міцності тіла необхідно визначити внутрішні сили (напруження), що виникають у тілі за умови дії на нього зовнішнього навантаження. Оцінюючи внутрішні сили, ми можемо говорити про міцність – здатність тіла сприймати зовнішні навантаження не руйнуючись. Під твердістю тіла розуміємо здатність сприймати зовнішні навантаження, не змінюючи істотно свою первісну форму. Для оцінки твердості тіла необхідно визначити його деформації або переміщення точок. Задачу визначення напружень, деформацій і переміщень для прийнятої моделі тіла можна вирішувати за допомогою методу кінцевих елементів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Методом оцінки ступеня достовірності

отриманих результатів моделювання може бути порівняння з загально визначеними, апробованими рішеннями напружено-деформованого стану шаруватих систем і пружного півпростору. Просторова задача розподілу напружень у разі дії зосередженої сили для пружного півпростору була вирішена професором Ж. Буссінеском. Визначення напружень для майданчиків, які паралельно обмежують площини півпростору, було вирішено професором М. Цитовічем і професором В. Кирпичовим. Відзначимо, що величини як стискаючих, так і зсуваючих напружень для майданчиків, які паралельно обмежують площини, не залежать від характеристик півпростору (E , μ). Встановлена закономірність характерна як для простої задачі за умови зосередженої сили, так і для навантаження, рівномірно розподіленого по площі круглого або квадратного штампу [1, 2, 3]. Це положення може бути прийняте як один із критеріїв встановлення достовірності теоретичного вирішення напружено-деформованого стану багатошарової системи (три шари на пружному півпросторі). Теоретичною основою розрахунку нежорстких дорожніх одягів за критеріями міцності є теорія напружено-деформованого стану шаруватого лінійно-деформуемого півпростору [1]. Чисельні значення напруг і деформацій від навантаження,

рівномірно розподіленого по площі кола, були отримані в Науково-дослідному інституті основ і підземних споруд Б.Л. Фаянс [4] для однорідного шаруватого півпростору. Рішення і чисельні розрахунки Б.Л. Фаянс серед фахівців у галузі механіки ґрунтів і напружено-деформованого стану шаруватих пружних систем на пружному півпросторі визнаються коректними, апробованими і достовірними [4]. Оскільки досліджується напружено-деформований стан багатошарового пружного півпростору в процесі осесиметричного навантаження, рівномірно розподіленого по площі кола, то, якщо задати параметри пружності, за яких були зроблені розрахунки Б.Л. Фаянс [4], порівнювати значення напруг і переміщень цілком коректно.

Постановка завдання. Основною метою дослідження є моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу; аналіз покриття з урахуванням термопластичних властивостей матеріалу шару, та визначення небезпечних напружень у конструкції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу насамперед необхідно визначити елементи конструкції і розрахункове навантаження. Елементом конструкції, відносно якого досліджується напружено-деформований стан, є верхні асфальтобетонні шари нежорсткого дорожнього одягу. Ці шари можуть бути покриттям або покриттям і верхніми шарами основи. У теорії розрахунку нежорстких дорожніх одягів предметом дослідження є багатошаровий півпростір, до якого застосовані рішення теорії пружності. Допускається замінити низку шарів, які підстиляють верхні шари дорожнього одягу, на еквівалентний за прогином півпростір, що значно спрощує задачу. Будемо аналізувати чотиришарову модель, в якій три верхні шари монолітні (асфальтобетон), четвертий шар – пружний півпростір. Враховуючи термопластичні властивості асфальтобетону, модуль пружності прийнято як функцію релаксації асфальтобетону за певної температури і часу дії навантаження (статичні і динамічні модулі). За математичний апарат для моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів покриття під дією вертикального і горизонтального навантажень був вибраний метод кінцевих елементів. Для вибраної розрахункової моделі основними граничними умовами будуть:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= P \quad \text{при} \quad z = 0; \quad x = (-r; +r) \\ \tau_{xz(yz)} &= 0 \quad \text{при} \quad z = 0; \quad -r < x < +r; \quad Q_{\text{зоп}} = 0 \\ \tau_{xz(yz)} &\neq 0 \quad \text{при} \quad z = 0; \quad Q_{\text{зоп}} \neq 0 \\ \sigma_z, \sigma_x, \sigma_y, \tau &\rightarrow 0 \quad \text{при} \quad z \rightarrow \infty \\ \sigma_z, \sigma_x, \sigma_y, \tau &\rightarrow 0 \quad \text{при} \quad x \rightarrow \infty \end{aligned} \quad (1)$$

За забезпеченого зчеплення на контакті шарів (А-В, С-Д, Е-Ф) $\tau_{xz(yz)} \neq 0$. За незабезпеченого зчеплення на контакті шарів А-В, або С-Д, або Е-Ф, або вільні контакти на цих контактах дотичні напруження не можуть перебільшувати сили тертя-зчеплення

$$\tau_{xz(yz)} \leq P_z f + C \quad (2)$$

де P_z – вертикальний тиск на глибині z , м;
 f – коефіцієнт тертя;
 C – зчеплення, МПа.

Таким чином, форма розрахункової моделі визначається як шаруватий півпростір зі спаяними або вільними контактами між шарами. Для практичних цілей розміри розрахункової моделі слід обмежити, ґрунтуючись на літературних даних досліджень у цій галузі [5]. Розмір моделі – $2 \times 2 \times 2$ м. Параметри розрахункової моделі вибрані наступним чином: кожен шар з асфальтобетону характеризується товщиною (h_i), модулем пружності (E_i) і коефіцієнтом Пуассона (μ_i). Основа характеризується загальним (еквівалентним) модулем пружності (E_4) і коефіцієнтом Пуассона (μ_4).

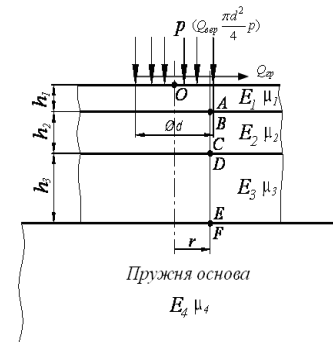


Рис. 1. Розрахункова модель чотиришарової конструкції дорожнього одягу

На поверхні моделі прикладене вертикальне ($Q_{\text{вер}}$) або вертикальне та горизонтальне ($Q_{\text{вер}} + Q_{\text{зоп}}$) навантаження. Розрахунок напружень для моделювання напружено-деформованого стану виконується методом кінцевих елементів та програмного забезпечення. Термопластичні властивості асфальтобетону враховуються через розрахункову температуру шару і термін дії навантаження. Тобто, модуль шару (E) і коефіцієнт Пуассона призначають для конкретної температури

шару і для терміну дії навантаження. Як контрольні використовувалися точки O, A, B, C, D, E, F . Точка O знаходиться на осі симетрії. Навантаження здійснювалося на поверхні першого шару по колу діаметром D см. На бічних поверхнях задавалися умови симетрії. Граничні умови закріплення задавалися на нижній стороні основи. Як такі використовувалися обмеження на переміщення за всіма напрямками. Всього було проаналізовано більше 100 моделей з різними значеннями модулів шарів по глибині і коефіцієнту Пуассона. Цим враховувався фактор зміни температури по глибині шарів, а також різні типи навантаження [6]. У результаті розрахунку отримані значення головних напружень ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$), напружень по Мізесу (σ_M) і еквівалентних напружень σ_{e4} по площинах: O – на поверхні моделі, A – на глибині 2,5 см, B – на глибині 5 см, C – на глибині 7,5 см, D – на глибині 10 см, E – на глибині 12,5 см, F – на глибині 22,5 см; 27,5 см; 32,5 см і 37,5 см. Після аналізу графіків і таблиць, за даними яких вони будуються, стає зрозумілим, що за дії тільки вертикального навантаження епюри ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) симетричні зліва і справа відносно осі на кожній з 7-ми площин ($O - F$). Така ж сама залежність і у ($\tau_{окт}$). Тому під час пошуку небезпечних перетинів достатньо буде проаналізувати перетин на осі і ліву або праву половини, оскільки вони однакові. Епюри розподілу напружень на поверхнях від O до F за дії вертикального навантаження представлені на рис. 2–5.

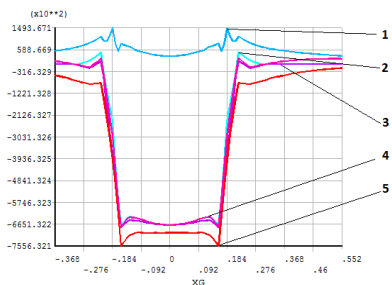


Рис. 2. Графіки розподілу напружень на поверхні O за дії вертикального навантаження. 1 – σ_{e4} – еквівалентне напруження згідно з енергетичною теорією міцності; 2, 3, 5 – $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження; 4 – σ_x – горизонтальний складник напруженого стану

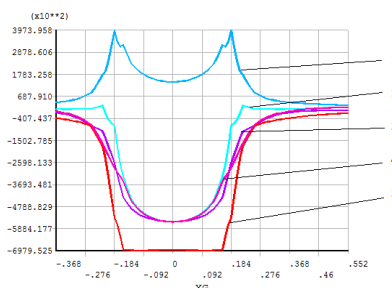


Рис. 3. Графіки розподілу напружень на поверхні A за дії вертикального навантаження

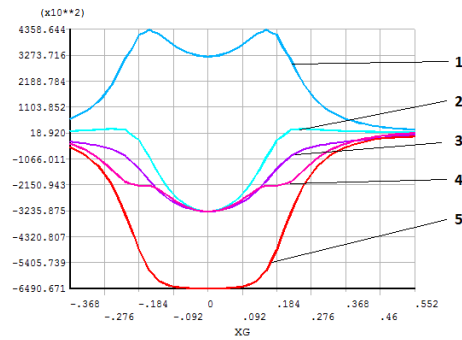


Рис. 4. Графіки розподілу напружень на поверхні C за дії вертикального навантаження

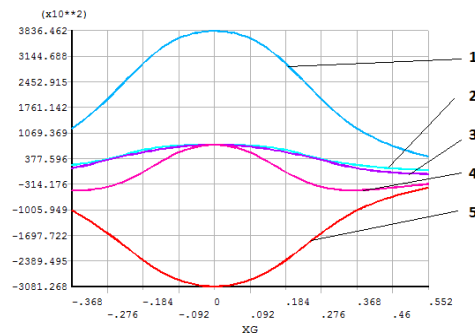


Рис. 5. Графіки розподілу напружень на поверхні F за дії вертикального навантаження

Аналіз напружено-деформованого стану за даними розрахунку показує, що небезпечні перетини максимального головного і максимального октаедричного напружень знаходяться на різній відстані від осі штамп. Небезпечний перетин буде в тому місці, де максимальні еквівалентні напруження за критерієм міцності Писаренка-Лебедева, оскільки вони враховують максимальні головні, максимальні октаедричні напруження і те, що асфальтобетон по-різному працює на розтяг і стиск [7]. Під час розрахунку було розглянуто 3 варіанти, а саме: модуль пружності покриття більше модуля пружності основи, модуль пружності основи більше модуля пружності покриття і варіант, за якого ці величини рівні (190 МПа \approx 200 МПа). Можливо стверджувати, що ці фактори не впливають на місце знаходження небезпечних перетинів, оскільки у всіх випадках виявилось, що на осі штамп виникають максимальні стискаючі, а на відстані 22,08 см від вісі вліво і вправо максимальні напруження, які розтягують. У реальних умовах на асфальтобетонне покриття діє не тільки вертикальне навантаження, але і горизонтальне, яке змінюється залежно від різних умов руху (рух на горизонтальній прямолинійній ділянці, на кривих в плані, на підйом – спуск з максимальним ухилом, рух на підйом – спуск на кривих в плані,

планове (передбачене) гальмування перед зупинками, перехрестями, екстремне гальмування). Тому необхідно проаналізувати місце знаходження небезпечних перетинів за комплексної дії вертикальної і горизонтальної сил. В результаті аналізу напружено-деформованого стану по всім перетинам (O – F), виявилось, що під час появи горизонтальної сили у головного напруження (σ_1) і октаедричного напруження ($\tau_{окт}$) зникла симетрія відносно осі штампуги [7]. Тому визначення небезпечного перетину необхідно робити на осі, ліворуч від осі і праворуч (рис.6 – рис.9).

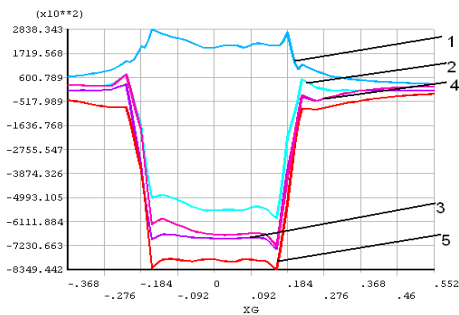


Рис. 6. Графіки розподілу напружень на поверхні O за дії комплексного навантаження. 1 – σ_{e4} – еквівалентне напруження згідно з енергетичною теорією міцності; 2, 3, 5 – $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження; 4 – σ_x горизонтальний складник напруженого стану

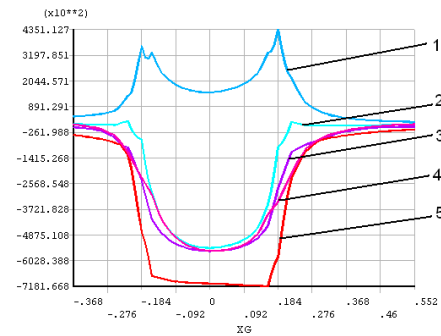


Рис. 7. Графіки розподілу напружень на поверхні A за дії комплексного навантаження

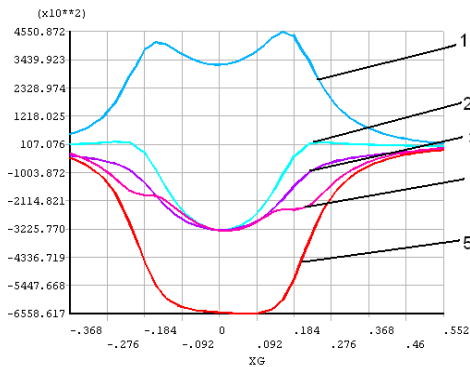


Рис. 8. Графіки розподілу напружень на поверхні C за дії комплексного навантаження

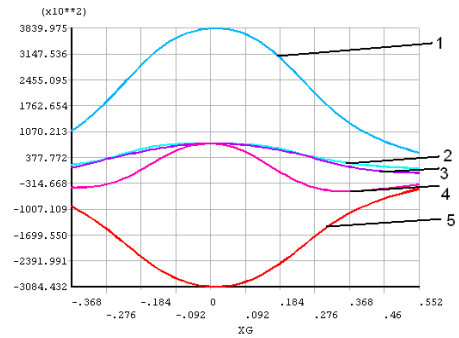


Рис. 9. Графіки розподілу напружень на поверхні F за дії комплексного навантаження

В результаті аналізу розрахунку на моделях під час прикладання горизонтальної сили 5 МПа, 10 МПа, 35 МПа, 40 МПа виявилось наступне: на вісі штампуги виникають максимальні стискаючі напруження; на відстані 22,08 см від вісі максимальне напруження перед штампом (колесом) менше, ніж на відстані 22,08 см за штампом. Цей показник незмінний по всій глибині моделі, окрім покриття. На покритті навпаки перед штампом напруження більше ніж за штампом. У зв'язку з тим, що небезпечні перетини визначають за критерієм Писаренка-Лебедева, за результатами моделювання НДС асфальтобетонних шарів різної товщини з різним співвідношенням модуля шару і основи, були проведені спеціальні розрахунки. Визначались величини еквівалентних напружень за Писаренком-Лебедевим за різних $\alpha = \frac{R_{роз}}{R_{ос}}$ від 0,08 до 0,15 по всьому перерізу моделей. В результаті можна констатувати наступне:

- найбільшого значення еквівалентні напруження (критерій міцності) набувають або по вісі, або на відстані $0,6 D$ від вісі;
- за дії тільки вертикального навантаження графіки симетричні і не має значення, на якій ділянці навантаження визначати напруження;
- за дії комплексного навантаження (вертикального та горизонтального) небезпечною є ділянка завантаження.

Висновки. На основі аналізу моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу встановлено, що небезпечними можуть бути один з перетинів – по вісі моделі ($x=0$) або на відстані $0,6D$ від вісі на ділянці завантаження ($x = -0,6D$). На підґрунті всього масиву результатів моделювання були побудовані розрахункові таблиці для визначення головних напружень і встановлені розрахункові небезпечні перетини покриття за умови вертикального і комбінованого навантаження конструкції.

Список літератури:

1. Корсунский М.Б. Метод численного определения напряжений и перемещений в многослойном линейно-деформированном полупространстве. Доклады и сообщения на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог. М.: Из-во Союздорнии, 1963. С. 227–239.
2. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. М.: Стройиздат, 1966. 318 с.
3. Цытович М.А. Механика грунтов. М.: Госстройиздат, 1968. 636 с.
4. Фаянс Б.Л. Построение линий равных напряжений и деформаций в однородном полупространстве от вертикальной равномерно-распределенной нагрузки по кругу. Труды научно-исследовательского института оснований и подземных сооружений. М.: Стройиздат, 1964. Вып. 55. С. 16–26.
5. Иванов Н.И. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. М.: Транспорт, 1973. 328 с.
6. Ряпухін В.М., Нечитайло Н.О. Моделивання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів. Містобудування та територіальне планування: наук.-тех збірник. К.: КНУБА, 2011. Вип. 40. Част. 2. С. 258–263.
7. Ряпухін В.М., Нечитайло Н.О., Дорожко Є.В. Визначення найбільш небезпечних перетинів у асфальтобетонних шарах при розрахунках міцності на зсув. Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: міжнарод. наук.-техн. конф., яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дор.-буд. факультету, 28-30 жовтня 2010 р.: тези допов. Харків: ХНАДУ, 2010. С. 44–50.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СЛОЕВ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЕЕ КОНСТРУКЦИИ

Статья посвящена моделированию напряженно-деформированного состояния асфальтобетонных слоев нежесткой дорожной одежды. Для большей части материалов, которые применяют в технике, пластические деформации зависят только от величин действующих сил и от порядка их прикладывания, но не от длительности действия и не от скорости, с которой прилагается нагрузка. Асфальтобетон, как термопластичный композитный материал находится в другом положении. В эксплуатационных условиях для асфальтобетонных материалов при повышенных температурах связь между силами и перемещениями существенно зависит от времени. Поэтому ставится задание об определении внутренних сил (напряжений), деформаций (перемещений для точек) тела произвольной формы при его произвольной нагрузке.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние нежесткой дорожной одежды, асфальтобетонные слои, метод конечных элементов, главные напряжения, эквивалентные напряжения.

ANALYSIS OF THE ASPHALT LAYERS STRESS-STRAIN STATE OF FLEXIBLE PAVEMENT WHEN HER DESIGNS MODELLING

The article is devoted to modeling the asphalt-concrete layers stress-strain state of flexible pavement. For most of the materials used in the technique, plastic deformations only depend of the acting forces values and of their application order, but not on the duration of the action and not on the speed which the load is applied. Asphalt concrete, as thermoplastic composite material is in a different position. In asphalt-concrete materials operating conditions when temperatures elevated, the relationship between forces and displacements is significantly time-dependent. Therefore, a task is set about determining the internal forces (stresses), deformations (displacements for points) of arbitrary shape body with its arbitrary load.

Key words: stress-strain state of flexible pavement, asphalt concrete layers, method of eventual elements, main stresses, equivalent stresses.

УДК 624.05

Менейлюк А.И.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Петровский А.Ф.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Борисов А.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Кирилюк С.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА СО ШНЕКОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Рассмотрено устройство противофильтрационных экранов с применением оборудования для разработки прямоугольных скважин; использование противофильтрационных экранов для защиты зданий и сооружений от подтопления и затопления. Представлены основные технологические процессы производства работ по устройству прямоугольных скважин с использованием шнекового оборудования. Описано планирование экспериментальных исследований устройства прямоугольных скважин с использованием шнекового оборудования.

Ключевые слова: *противофильтрационный экран, защита от подтопления, устройство прямоугольных скважин, планирование эксперимента, измерение показателей.*

Постановка проблемы. Защита территорий от подтопления актуальна уже много десятков лет. Эффективным способом защиты зданий и сооружений от подземных вод является устройство вертикальных противофильтрационных экранов [1], но при достигаемой глубине водоупорного горизонта. В других случаях может применяться разработанная технология устройства сопряженного противофильтрационного экрана под существующими зданиями и сооружениями с использованием шнекового оборудования.

Шнек буровой установки направлен вдоль скважины [2] и устройство антифильтрационного экрана трудоемко из-за большого количества рядом расположенных скважин. В экспериментальном исследовании шнек расположен перпендикулярно направляющим скважинам и используется для разработки, транспортировки и смешивания грунта с твердеющими растворами.

Анализ последних исследований и публикаций. При сооружении противофильтрационных экранов более эффективное бурение скважин прямоугольного сечения. С помощью прямоугольного сечения сохраняется постоянная толщина экрана, что в итоге приводит к уменьшению объемов разрабатываемого грунта и экономии твердеющего раствора.

Конструкция бурового инструмента с криволинейной рабочей поверхностью предложена в Казахском политехническом институте (рис. 1).

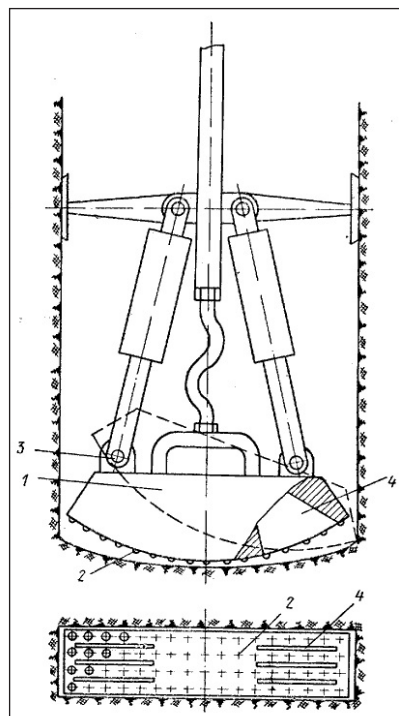


Рис. 1. Буровой инструмент для образования скважин прямоугольного сечения:
1 – корпус; 2 – зубья; 3 – шарниры;
4 – щели для промывочной жидкости

Долото выполнено в виде усеченного сектора плоского диска. Рабочая поверхность сектора 1 оснащена твердосплавными зубьями 2. На усеченной части сектора размещены шарниры 3, связывающие долото с механизмом циклического действия, например эксцентрикового типа, вращаемого бурильными трубами. Разрушение горной породы на забое прямоугольной скважины происходит при периодическом перекачивании долота по забою [3].

Рассмотренная конструкция бурового инструмента предназначена для разработки вертикальных скважин прямоугольного сечения и может быть использована при сооружении противофильтрационного экрана с водоупором. При отсутствии водоупора на достигаемой глубине использование наклонного бурения и использование шнекового оборудования позволит создать противофильтрационный экран под существующим зданием.

Постановка задачи. До проведения экспериментальных исследований устройства противофильтрационного экрана шнековым оборудованием необходимо составить план эксперимента, выбрать необходимые материалы, оборудование и инструменты.

Изложение основного материала исследования. Противофильтрационный экран образуется за счет перемешивания грунта основания с твердеющими растворами (бентонит, цемент, жидкое стекло и т.п.). При разработке грунт транспортируется двунаправленным шнеком (рис. 2а) от центра к направляющим скважинам и насосами откачивается на поверхность. В результате формируется плоская полость между направляющими скважинами.

После достижения глубины бурения к шнеку подается твердеющий раствор, который при обратной проходке (рис. 2б) заполняет сформированную прорезь. Гидравлический двигатель вращает двунаправленный шнек в противоположном направлении и смешивает разработанный грунт с раствором. Буровая установка равномерно поднимает вращающийся шнек с помощью направляющих штанг.

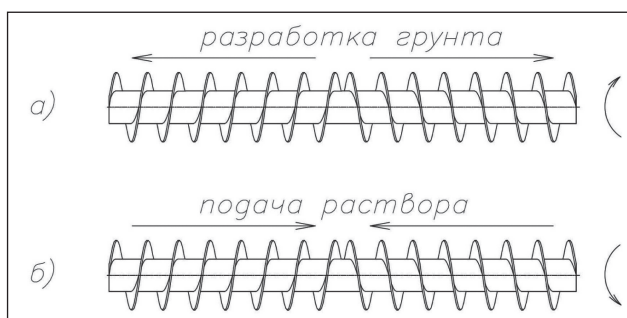


Рис. 2. Двунаправленный шнек:
а – разработка грунта; б – подача раствора

Двунаправленный шнек состоит из двух противоположно друг к другу направленных половин, которые представляют собой обычный однонаправленный шнек. Каждая половина разрабатывает грунт в свою направляющую скважину и после разработки подает твердеющий раствор из этой же скважины. Потому эксперимент может быть проведен с однонаправленным шнеком с созданием половины противофильтрационной панели (части противофильтрационного экрана между двумя направляющими скважинами) в натуральную величину.

Толщина прямоугольной скважины для сооружения противофильтрационного экрана 10–30 см зависит от размеров сооружения и грунтовых условий. Диаметр шнека равен толщине разрабатываемой скважины. Для экспериментальных исследований задается меньшей толщиной и подбираем соответствующий шнек диаметром 10 см (рис. 3).



Рис. 3. Однонаправленный шнек

Ширина разрабатываемой скважины для противофильтрационного экрана 1–2 м в зависимости от толщины скважины и от грунтовых условий. Длина двунаправленного шнека равна ширине скважины, а для сооружения половины противофильтрационной панели будет достаточно однонаправленного шнека длиной 50 см (рис. 3).

Разрабатываемый грунт может использоваться от I до IV группы, но без крупных твердых включений, которые превышают 1/2 диаметра шнека. Для экспериментальных исследований выбран песок средней крупности и влажность 10–15% для уплотнения. Уплотнение песка производится для уменьшения осыпания его в разрабатываемую скважину.

Ящик для грунта (рис. 4) имеет размеры 60х60х60 см, исходя из длины шнека (50 см) плюс диаметр направляющей скважины – 10 см. Материал для изготовления ящика – лист OSB, который легкий, простой в обработке и соединяется шурупами по дереву.

Для передачи вращения шнека и направления разработки скважины в ящик выпилены продольные отверстия (рис. 4). Для устройства наклонных прямоугольных скважин противофильтрационного экрана отверстия для шнека расположены под углом 30°.

Направляющая скважина (рис. 4) в экспериментальном исследовании образуется при помощи установки поливинилхлоридной трубы диаметром 10 см, которая используется как форма и после уплотнения грунта удаляется.

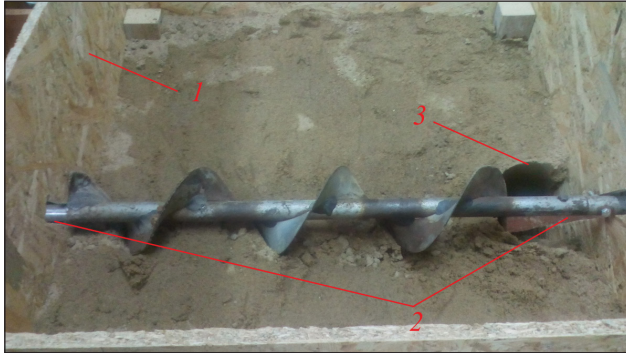


Рис. 4. Направляющая скважина:
1 – ящик для грунта; 2 – продольные отверстия для шнека; 3 – направляющая скважина

Разработка грунта производится при вращении шнека против часовой стрелки при наблюдении относительно стороны ящика с направляющей скважиной. Для изменения скорости разработки, кроме собственного веса шнека, прикладывается дополнительный вес, который приводит к увеличению крутящего момента, требуемого для вращения шнека.

Дополнительный вес прикладывается с обеих сторон ящика к валу шнека грузами через подшипники, чтоб минимизировать влияние сил трения. Масса грузов изменяется от 1 до 3 кг, увеличивая врезание лопастей шнека в грунт и скорость разработки скважины.

Увеличения скорости разработки прямоугольной скважины можно также добиться путем увеличения скорости вращения шнека, что приводит к увеличению потребляемой мощности электродвигателя и возрастанию нагрузок действующих на шнековое оборудование.

Измерение скорости разработки будет производиться путем фиксирования времени прохождения шнека одного метра при непрерывной разработке грунта прямоугольной скважины. Каждый показатель скорости будет измеряться при одинаковом дополнительном грузе и постоянной скорости вращения шнека.

Измерение потребляемой мощности будет производиться энергометром (ваттметр), который предназначен для получения информации о расходе электроэнергии (рис. 5).

Особенностью данного прибора является возможность подсчитывать финансовую составляющую расхода электроэнергии. Указав стоимость киловатта в поле COST, можно измерить то, сколько потребил электродвигатель в финансовом эквиваленте за определенный период времени. При этом прибор потребляет всего 0,5 W и предназначен только для работы в сети 220–230V, 50Hz. Диапазон измерения от 5W до 3680W [4].

Для удержания стенок скважины от обрушения при разработке используются глинистые суспензии, создающие избыточное гидростатическое давление на грунт. Наиболее стабильные тиксотропные глинистые растворы получают на основе бентонитовых глин, которые разделяют на монтмориллонитовые и каолинитовые. Важной характеристикой глин, применяемых для приготовления глинистой суспензии, является величина набухания и емкость обмена. Тонкодисперсные бентонитовые глины состоят из минерала монтмориллонита, обладающего высокой набухаемостью и большой емкостью обмена.

Глинистая суспензия, приготовленная на тонкодисперсных натриевых бентонитовых глинопопорошках, не требует дополнительной обработки [5].

После разработки прямоугольной скважины подаются материалы, твердеющие растворы для устройства элементов (панелей) противофильтрационного экрана.

Для бетонирования применяются литые бетоны с осадкой конуса 16–20 см со сроком схватывания не менее 2 ч., с сохранением подвижности в течение 40 мин. и крупностью заполнителя не более 30 мм. Для получения бетонов требуемых технологических параметров (повышенной подвижности, связности и замедленного схватывания) вводятся химические добавки.



Рис. 5. Энергометр (ваттметр)

Гидрофобизация растворов и бетонов приводит к улучшению удобоукладываемости бетонных и растворных смесей и сокращает расход цемента, а также уменьшает водопотребность этих смесей. Гидрофобизирующие добавки повышают связанность бетонных смесей, предотвращая их расслоение и значительно облегчая транспортирование.

В качестве гидрофобизирующих веществ применяются алкилалкоксисиланы, низкомолекулярные металлоорганические соединения, кремнийорганические смолы и соединения кремниевой кислоты.

Использование армокаркасов для армирования прямоугольной панели по данной технологии затруднено, так как после разработки скважины подаются твердеющие растворы и производится извлечение шнека с его вращением в противоположном направлении (в данном случае за часовой стрелкой). С помощью вращения шнека бетонная смесь транспортируется к центру скважины для формирования противифльтрационной панели.

Для армирования бетона могут применяться металлические и неметаллические (стеклянные, базальтовые, асбестовые и др.) волокна. В качестве фибр используют тонкую проволоку диаметром 0,1–0,5 мм, нарубленную на отрезки длиной 10–50 мм. Лучшие результаты обеспечивают фибры диаметром 0,3 мм и длиной 25 мм [6].

Развитие в бетонах волосных трещин эффективно приостанавливается введением фибр. Фибры вводят в бетонную смесь обычно в количестве 1–5% объема бетона. Прочность бетона на растяжение увеличивается на 10–30%, резко повышаются его сопротивляемость ударам, предел усталости и износостойкость.

Выводы:

1) проведено анализ использования прямоугольных скважин для устройства противифльтрационных экранов, которые могут использоваться для защиты зданий и сооружений от подтопления и затопления;

2) выполнено планирование экспериментальных исследований устройства прямоугольных скважин с использованием шнекового оборудования.

Список литературы:

1. Зарубина Л.П. Защита территорий и строительных площадок от подтопления грунтовыми водами. Москва: Инфра-Инженерия, 2017. 212 с.
2. Кантович Л.И., Хазанович Г.Ш. Машины для горностроительных работ: Учебное пособие. Москва: Издательство «Горная книга», 2011. 445 с.
3. Лысенко В.М., Ситников В.Д., Ситников Е.В. Буровой инструмент для образования прямоугольного сечения. Патент № 400699, 1973.
4. URL: <https://bt.rozetka.com.ua/26628913/p26628913> (дата звернення: 22.07.2018).
5. Бадьин Г.М., Сычев С.А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
6. Ржевская С.В. Материаловедение: Учеб. для вузов. Москва: Издательство МГГУ, 2003. 456 с.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗІ ШНЕКОВИМ ОБЛАДНАННЯМ

Розглянуто влаштування протифільтраційних екранів із застосуванням обладнання для розробки прямокутних свердловин; використання протифільтраційних екранів для захисту будівель та споруд від підтоплення та затоплення. Представлено основні технологічні процеси виконання робіт для влаштування прямокутних свердловин із застосуванням шнекового обладнання. Описано планування експериментальних досліджень влаштування прямокутних свердловин із застосуванням шнекового обладнання.

Ключові слова: протифільтраційний екран, захист від підтоплення, влаштування прямокутних свердловин, планування експерименту, вимірювання показників.

THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR CONDUCTING EXPERIMENTS WITH SCREW EQUIPMENT

The device of anti-filter screens with application of equipment for development of rectangular wells is considered. Use of anti-filter screens to protect buildings and structures from flooding and flooding. The main technological processes of the production of rectangular wells using screw equipment are presented. Described is the planning of experimental studies of rectangular wells using screw equipment.

Key words: anti-filtration screen, protection against flooding, device of rectangular wells, experiment planning, measurement of indicators.

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 620.3

Кутова О.Ю.

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

Душейко М.Г.

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

Шкель К.О.

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

Тимофєєв В.І.

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

ШВИДКИЙ АНАЛІЗ СРБ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОСЕНСОРА НА ОСНОВІ ІСПТ

У роботі описано розробку нової біосенсорної системи, побудованої на основі іонселективного польового транзистора для детектування білка гострої фази запальних процесів – С-реактивного білка (СРБ). Описано принцип його роботи і представлено результати експериментів з використанням розведеного стандартного набору проб. Установлено робочий об'єм – 20 мкл і діапазон робочих концентрацій СРБ в розчині для запропонованого сенсора – 0,2 мг/л–25 мг/л. Для запропонованого сенсора чутливість становить 91,25 мВ/(мг/л), а час вимірювання – близько 1 хв. Окрім експериментальних даних, також запропоновано подальші етапи вивчення й удосконалення ІСПТ біосенсора.

Ключові слова: біосенсор, С-реактивний білок, іонселективний польовий транзистор, аналіз, гостра, фаза.

Постановка проблеми. Польові транзистори мають широкий спектр застосування. Зростає зацікавленість до виготовлення сенсорів на основі МДН-транзисторів, завдяки їх вагомим перевагам, а саме: високому співвідношенню сигнал-шум, швидким процесам вимірювання, а також компактності й портативності. Сьогодні існує низка біосенсорів на основі МДН-транзисторів для дослідження взаємодії біомолекул, що є ключовою особливістю біологічних реакцій у системах *in vitro* та *in vivo*. А використання іон селективного польового транзистора (далі – ІСПТ) для таких застосувань набирає популярності. Тому виникає необхідність створення біосенсора С-реактивного білка (далі – СРБ) саме з використанням ІСПТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. СРБ є багатофункціональним біомаркером гострої фази в разі запалень і захисту від чужорідних

агентів, некрозів та аутоімунних процесів [1–3]. Визначення концентрацій СРБ в біологічних рідинах використовується для прогнозування ступеня ризику розвитку гострого інфаркту міокарда, мозкового інсульту, раптової смерті людей, які не страждають на серцево-судинні захворювання [2–7]. У зв'язку з цим спостереження за вмістом СРБ в сироватці крові або інших біологічних рідинах людини має велике значення для діагностики та прогнозу розвитку запального процесу. Сьогодні більшість вимірювань СРБ виконуються в централізованих лабораторіях, що призводить до значних затримок у часі визначення результату. Саме тому є необхідність розробки мініатюрної сенсорної системи, яка має переваги в часі та зручності.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка біосенсорної системи на основі ІСПТ для

швидкого експрес-аналізу вмісту СРБ у фізіологічних розчинах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Усі МДН-транзистори мають три напівпровідникові ділянки: витік, стік і затвор. Між стоком і витоком немає фізичного контакту, але струм між ними проходить по провідному каналу. Напруга між затвором і витоком вмикає або вимикає транзистор. Струм стоку транзистора визначається потоком носіїв, а саме для каналу n-типу це електрони, а для р-типу – дірки. Для МДН-транзисторів р-типу негативна напруга, прикладена до затвору, відкриває його й спричиняє рух дірок через канал від витоку до стоку. Проте в разі прикладання негативної напруги до МДН-транзистора n-типу вона закриває його. Для МДН-транзисторів n-типу спостерігається протилежна ситуація, позитивна напруга відкриває канал, а негативна – закриває. Розподіл електричного поля відбувається вертикально вниз і залежить від прикладеної напруги. Коли прикладена напруга досягає деякого порогового значення (напруги насичення $V_{пор}$), струм починає протікати від витоку до стоку. Напруга насичення визначається як деяке критичне значення напруги між затвором і витоком ($V_{зв}$), при якій накопичується достатня кількість рухомих електронів чи дірок, що породжують провідний канал. Коли $V_{зв}$ близька до $V_{пор}$ чи менша МДН р-типу відкривається, а для МДН n-типу ситуація протилежна, $V_{зв}$ повинна бути більша за $V_{пор}$, щоб утворився канал між витоком і стоком. Рівняння, яке наведено нижче, широко використовується для теоретичного пояснення роботи МДН-транзистора з метою з'ясування причин змін електричного поля в режимі насичення чи в активному режимі.

$$I_c = \frac{1}{2} \mu_p C^* \left(\frac{W}{L} \right) (V_{зв} - V_{пор})^2, \quad (1)$$

де μ_p – мобільність дірок, C^* – ємність підзатворного діелектрика, L – довжина каналу, W – ширина каналу, $V_{пор}$ – напруга насичення та прикладена напруга зміщення $V_{зв}$.

Щільність поверхневих зарядів аналіту впливає на прикладену напругу $V_{зв}$. Щоб детектувати біологічні молекули, використовуючи МДН-транзистори, досліджуваний зразок речовин повинен бути прив'язаний до активного чутливого шару.

Тоді рівняння (1) зміниться:

$$I_c = \frac{1}{2} \mu_p C^* \left(\frac{W}{L} \right) (V_{зв} - V_{пор} + V_{біо})^2. \quad (2)$$

Додатковий доданок $V_{біо}$ істотно впливає на струм I_c . Відповідно до описаного вище прин-

ципу, струм стоку збільшується, коли негативно заряджені молекули прив'язуються до поверхні підзатворного діелектрика МДН-транзистора.

Електричне поле, викликане змінами щільності поверхневих зарядів аналіту поблизу затвора, рівне напрузі затвору.

Серед усіх наявних сьогодні типів МДН-транзисторів метал-оксид-напівпровідник польові транзистори є найпоширенішими. В основі його роботи лежить використання електричного поля, яке модулює за формою та розміром канал між стоком і витоком, що називається модуляцією довжини та форми каналу. У відповідь на досліджуваний аналіт затвор контролює потік дірок через канал, сформований між стоком і витоком, так змінюючи струм I_c . Такий тип біосенсора використовують для аналізу ДНК-білкової взаємодії [8].

Використання ІСПТ як сенсора являє собою перспективний інструмент для біологічного застосування. Структурно ІСПТ та МДН-транзистори подібні. Загалом ІСПТ немає металевого затвора, оскільки він замінений на іончутливу мембрану, розчин електроліту й електрод порівняння. Значення струму в ІСПТ цілком залежить від щільності заряду молекул аналіту на поверхні затвору.

Незважаючи на численні переваги у використанні МДН-біосенсорів, вони все ще мають проблеми, пов'язані з дебаївською довжиною екранування. Інколи обмеження щодо дебаївської довжини вважаються основними для пристроїв на основі МДН-транзисторів. В останні три десятиліття прикладено значні зусилля для покращення структури МДН-транзисторів з кращою продуктивністю і зняття фізичних обмежень МДН-технології.

Для розпізнавання біомолекул (рецепторів) найчастіше використовують антитіла як захоплюючий елемент для виявлення, ізоляції та кількісного аналізу досліджуваного розчину, оскільки вони можуть специфічно зв'язуватися з антигеном. Під час утворення комплексу «антиген-антитіло» відбуваються істотні зміни в потенціалі на затворі через зміну поверхневого заряду.

У роботі досліджується сенсор на основі ІСПТ для визначення концентрацій СРБ в біологічних рідинах.

Для проведення експерименту використовували мультиметр Keithley 2410, програмне забезпечення Origin, фосфатний буферний розчин (pH = 7,4), антитіла Mix-n-Stain™ Biotin reagent MSDS available (Biotin Antibody Labeling Kit), стрептавін-HRP, біотин, TritonX100 концен-

трацією 1% і 2%, моноклональні антитіла СРБ, С-реактивний білок (СРБ) від MyBioSource.com чистота > 95% (SDS-PAGE (нередукований): одночастотний 21kDa). Використовували розведений стандартний тестовий набір з концентраціями: 0 мг/л, 0,25 мг/л, 1 мг/л, 2,5 мг/л, 10 мг/л, 25 мг/л. Для перевірки виконаних розведень використовували NanoDrop™ 2000/2000c Spectrophotometers.

ІСПТ біосенсор є польовим транзистором р-каналу типу метал-діелектрик-напівпровідник, який виготовлено на кремнієвій пластині (Si-n-тип, напівпровідник) легованій фосфором (n-тип), з опором 4,5 Ом/□, орієнтацією (111), товщиною 450 мкм. Як підзатворний діелектрик вибрано SiO₂-CeO₂, товщиною 60 нм. Діоксид кремнію одержано шляхом термічного окислення, а тонкий шар оксиду церію – методом «окислення металевого дзеркала». Омичні контакти з р-Si зроблені з алюмінію, ізоляція робочої ділянки – клей ВК-9.

Вибір робочої напруги на електроді порівняння здійснювався з робочою характеристикою польового транзистора, що знімалася при U_{св} = 2,5 В (рис. 1). При U_{зв} = -5В проводили вимірювання розчинів з різними концентраціями СРБ. На першому етапі на очищену поверхню біосенсора наносили стрептавідин на 12 год. (знижує неспецифічне зв'язування та покращує зв'язування антитіла з поверхнею сенсора). Після змивання фосфатним буфером незв'язаних залишків реактиву наносили кон'югатантитіл до СРБ, мічений з пероксидазою хрому й біотином (20 мкл), і залишали на 15 хв. І лише після повторного змивання буферним розчином незв'язаних залишків комплексу та вимірів для буферного розчину проводили вимірювання для різної концентрації антигену (СРБ) в діапазоні 0–25 мг/л. Між вимірюваннями поверхню біосенсора промивали буферним розчином з 1%-TRITONX100. Для надійності утворення комплексу АТ-АГ після нанесення проби перед вимірюванням очікували близько 5 хв. Вимірювання зразків проводили в бік збільшення концентрацій. Кожне вимірювання зразка СРБ проводили щонайменше три рази й розраховували середнє значення.

Результати та обговорення

З робочою характеристикою ІСПТ (рис. 1), знятої при фіксованій напрузі між стоком і витоком U_{св} = 2,5, вибирали робочу напругу на затворі U_{зв} = -5В, при якій знімали вихідні характеристики ІСПТ при різних концентраціях СРБ в стандартних розчинах (рис. 2).

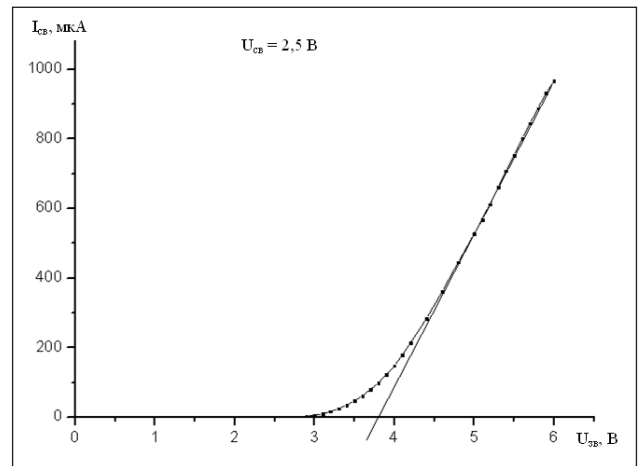


Рис. 1. Робоча характеристика біосенсора при U_{св} = 2,5В

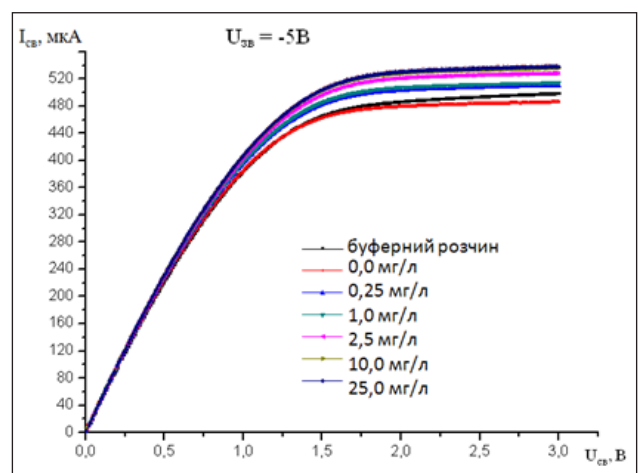


Рис. 2. ВАХ ІСПТ при різних концентраціях СРБ стандартного набору при U_{зв} = -5В

Похибка проведених розведень стандартного набору концентрацій перевірялась за допомогою NanoDrop™ 2000/2000c Spectrophotometersta, становила 1–2%. Час проведення одного вимірювання становить 47+/-2 с.

З отриманого сімейства ВАХ при U_{св} = 2,5 і напруги на затворі U_{зв} = -5В визначали чутливість сенсора як кут нахилу характеристики ΔU_{зв} = f(C), використовуючи рис. 1, 2 (рис. 3). Апроксимуючи отриману залежність ΔU_{зв} = 0,12–0,11*exp(-0,86*C) і значення чутливості:

$$\alpha = \frac{d\Delta U_z}{dC} = 91,25 \text{ мВ}/(\text{мг/л}).$$

У разі зміни концентрації антигену зміна значення струму для транзистора має лінійну кореляцію й описується логарифмом концентрації в діапазоні від 0,25 мг/л до 25 мг/л. Показник R²-лінійної залежності значення струму для вимірюваного діапазону близький до одиниці (R² = 0,98), означає, що розроблений біосенсор має високий потенціал для практичного застосування у визначенні СРБ в розчинах (рис. 4).

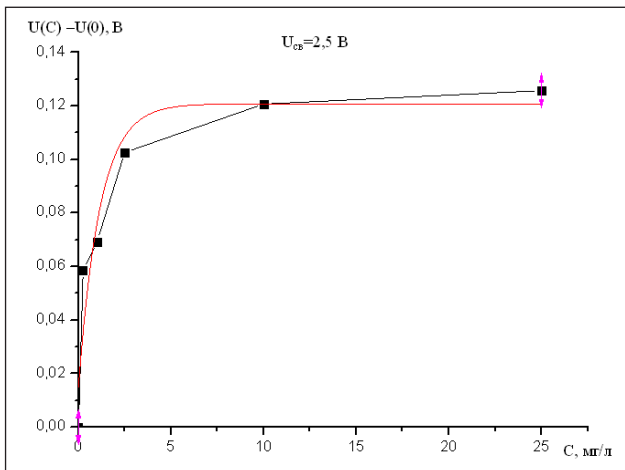


Рис. 3. Залежність зміни напруги на затворі ΔU_3 від концентрації СРБ

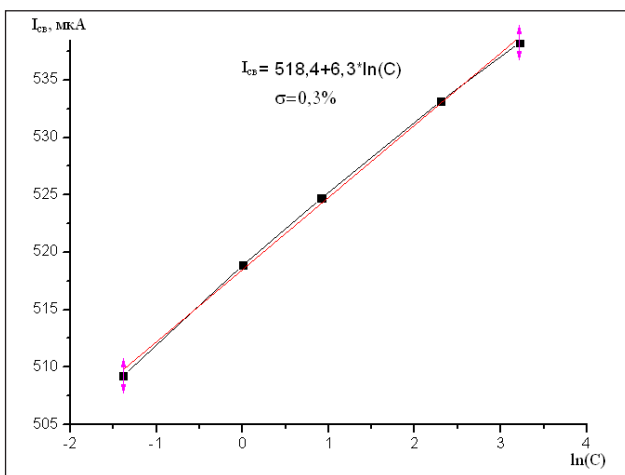


Рис. 4. Графік лінійної залежності струму від логарифму концентрації

У процесі експерименту зафіксовано час для проведення одного вимірювання є меншим, ніж 1 хв. Також для забезпечення точності вимірювань необхідно враховувати температуру та освітлення. Так як біологічним об'єктом роботи є білок, то варто приділити необхідну увагу температурі процесу. Як відомо, при високих температурах реакція відбуваються швидше і краще, а при низьких температурах збільшується час проходження реакції. Варто зазначити, що рекомендовано не перевищувати температуру більше за 50°C , щоб уникнути денатурації білка й втрати структури СРБ, що визначається, у розчині. Установлено, що найбільш оптимальною робочою температурою є $19 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Висновки. У результаті вперше розроблено модифікацію ІСПТ, яка дає змогу визначати вміст СРБ в розчинах у встановленому діапазоні детектування. Запропонований біосенсор відрізняється простотою конструкції, дешевизною та широкою доступністю матеріалів (Si , SiO_2 , CeO_2), а швидкість вимірювання становить до 1 хв. Для запропонованого сенсора чутливість становить $\alpha = 91,25$ мВ/(мг/л). Максимальна концентрація, що була виміряна, – 25 мг/л. Вимірювання більших значень не проводилися, так як вони не мають клінічного значення. Запропонований датчик є перспективним і достатньо чутливим для виявлення СРБ у крові людини для використання з метою діагностики запальних процесів. Отже, отримане значення чутливості підтверджує можливість використання цього біосенсора, а дослідження його порогу буде проводитися в наступних дослідженнях.

Список літератури:

1. Hom N.M., Promptmas C and Kesara W.-A. Detection of DNA Hybridization Using Protein A Modified Ion Sensitive Field Effect Transistor, *Analytical Letters* 48 (7). 2015. P. 1128–1138.
2. Dong Z., Wejinyaa U.C., Elhajj I.H. Fabrication and testing of ISFET based pH sensors for microliter target solutions, *Sensors and Actuators A: Physical*. 2013, 194. P. 181–187.
3. Poghosian A., Ingebrandt S., Offenhäusser A., Schöning M.J. Field-effect devices for detecting cellular signals. *Semin. Cell Dev. Biol.* 2009, 20 (1). P. 41–48.
4. Clark L.C.Jr. and Lyons C. Electrode Systems for Continuous Monitoring in Cardiovascular Surgery, *Annals of the New York Academy of Sciences*. Vol. 102, 1962. P. 29–45. doi:10.1111/j.1749-6632.1962.tb13623.x.
5. Kutova O., Dusheiko M., Obukhova T., Maksimchuk N., Borodinova T., Tymofeev V. H₂O₂ sensor based on MOSFET with active layer in substrate area, *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2017 – T. 14. № 4. P. 5–12.
6. Bergveld P. Development of an ion-sensitive solid-state device for neurophysiological measurements, *IEEE Trans. Biomed Eng.* 17(1), 1970. P. 70–71.
7. Steve. Caras, Jiri. Janata, Field effect transistor sensitive to penicillin, *Anal Chem*, 1980, 52 (12). P. 1935–1937.
8. Han S.H., Kim S.K., Park K., Yi S.Y., Park H., Lyu H., Kim M. and Chung B.H. Detection of mutant p53 using field-effect transistor biosensor, *Anal. Chim. Acta* 2010, 665 (1). P. 79–83.

БЫСТРЫЙ АНАЛИЗ СРБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОСЕНСОРА НА БАЗЕ ИСПТ

В работе описано разработку новой биосенсорной системы, построенной на базе ионселективного полевого транзистора для детектирования белка острой фазы воспалительных процессов – С-реактивного белка (СРБ). Представлены принцип его работы и результаты экспериментов, используя разбавленный стандартный набор проб. Установлено рабочий объем – 20 мкл и диапазон рабочих концентраций СРБ в растворе для предложенного сенсора – 0,2 мг/л–25 мг/л. Для предложенного сенсора чувствительность составляет 91,25 мВ/(мг/л), а время непосредственного измерения – около 1 мин. Также предложены дальнейшие этапы изучения и усовершенствования ИСПТ биосенсора для СРБ.

Ключевые слова: биосенсор, С-реактивный белок, ионселективный полевой транзистор, анализ, острая, фаза.

RAPID CRP ANALYSIS USING ISFET BIOSENSOR

In this work new biosensor system based on ion selectivity field effect transistor is proposed. This sensor is used to detect the acute phase protein – C-reactive protein (CRP). There is the working principle and the results of experiments using a diluted standard samples kit. A working volume is only 20 μ l and a range of working concentrations of CRB in the solution for the proposed sensor is 0.2 mg/L–25 mg/L have been established. For the proposed sensor, the sensitivity is 91.25 mV/(mg/L), and the measurement time is just about 1 min. In addition to experimental data, further stages of research and ISFET biosensor's improvement are proposed.

Key worlds: biosensor; C-reactive protein, ion sensitivity field effect transistor; analysis, acute, phase.

УДК 621.398

Ямненко Ю.С.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Онищенко О.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БІОТЕЛЕМЕТРИЧНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Сьогодні активно розвиваються дослідження та рішення у галузі моніторингу фізіологічних параметрів за допомогою біотелеметрії. Це набуває особливої актуальності, особливо в надзвичайних ситуаціях, природних та техногенних катастрофах, коли швидкість прийняття рішень щодо стану людини та надання першої допомоги є надзвичайно важливою для збереження життя людей. Серцево-судинні захворювання можуть бути небезпечними не тільки пацієнту, але й оточуючим, коли він керує обладнанням або в інших ситуаціях, пов'язаних із виконанням будь-яких відповідальних дій. Метою роботи є розроблення біотелеметричного модуля, який виконує функції вимірювання електричних потенціалів тіла людини, а також вирішення питань посилення, первинного оброблення сигналів, передавання по каналах бездротового зв'язку, захисту каналів бездротового зв'язку, а також синхронізація пристроїв через Bluetooth. Через надзвичайно високу вартість медичного обладнання та неможливість постійного спостереження за роботою серця, цей пристрій буде актуальним для ранньої діагностики та профілактики серцево-судинних захворювань.

Ключові слова: біотелеметрія, модуль, мікроконтролер, робота серця, серцево-судинні захворювання.

Постановка проблеми. Одним з актуальних напрямів електроніки є медична електроніка. Цей клас електроніки реалізує діагностичні та лікувальні апарати, що вирішують широкий спектр медико-біологічних задач. Також для медичної електроніки властива велика точність вимірювань і стабільність роботи, оскільки від цієї техніки часто залежить життя людини.

Захворювання серцево-судинної системи можуть бути небезпечні не тільки для хворого, але і для оточуючих в ті моменти, коли він керує технікою або в інших ситуаціях, пов'язаних із виконанням будь-яких відповідальних дій.

Тому контроль стану серцево-судинної системи необхідний практично кожній людині починаючи від спортсменів і закінчуючи пересічними громадянами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість існуючих реалізацій систем для віддаленого моніторингу стану здоров'я людини використовують тришарову архітектуру з яскраво вираженими апаратним, комунікаційним і аналітичним шаром [1], [2], [3], [4]. Доповненням до аналітичного шару так само є медична інтерпретація отриманих результатів та візуалізація. Оскільки такі системи працюють із багатовимірними і мультимодаль-

ними даними, то існує підвищений ризик помилки, пов'язаний із різноманітністю і складністю сигналів. Мінімізація таких помилок можлива шляхом застосування алгоритмів машинного навчання, що останнім часом широко використовується в [5], [6]. Будову сучасних бездротових біомедичних систем моніторингу стану людини можна розділити на три шари:

- бездротової переносної мережі, датчики і прилад, що опитує датчики;
- Комунікаційний;
- аналітики і сервісу.

I. ЗАВДАННЯ І ВИМОГИ ДО МОДУЛЯ

A. Мета дослідження

Перед розроблюваним прототипом ставляться задачі зняття електричних потенціалів із тіла людини (скорочення серцевого м'яза) і реєстрації їх у режимі реального часу для ранньої діагностики проблем, що виникають у роботі серця.

B. Вимоги до модуля

- Напруга живлення 5 В \pm 10% ;
- Характер передачі даних: бездротовий;
- Можливість запису даних у файл;
- Мінімальний радіус передачі – 10 м;
- Можливість перегляду біотелеметричної інформації в реальному часі;

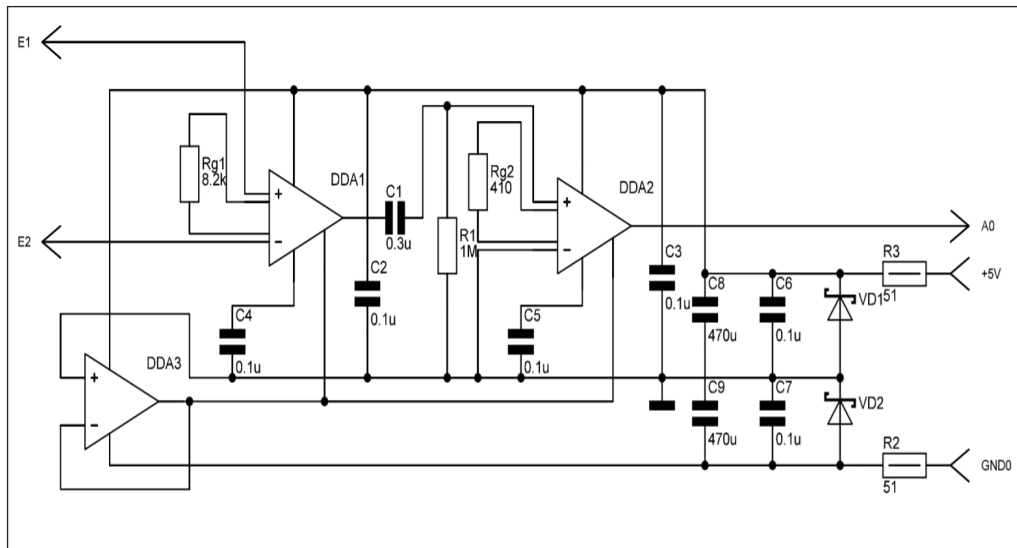


Рис. 1. Принципова схема первинної ланки.

II. РОЗРОБКА МОДУЛЯ

С. Принципова схема

Виходячи з тришарової структури модуля, було розроблено принципову схему ланки (Рис.1), що здійснює первинну реєстрацію електричних сигналів серця, їх підсилення і фільтрацію, та подальшу передачу на мікроконтролер Arduino.

Д. Підсилення сигналу та його фільтрація

Необхідно зазначити, що існує таке явище, як поляризація електродів при їх контакт з шкірою [8]. Це призводить до того, що на вході підсилювача, крім змінної різниці потенціалів, зумовленої електричною активністю серця (корисний сигнал, який вимірюється) з'являється ще й постійна складова частина, величина якої може досягати 300 мВ як у позитивну, так і в негативну сторону. Якщо відразу посилити цей сигнал у 1000 разів, то в результаті отримується величина, яка виходить за межі робочого діапазону підсилювача. Як наслідок, підсилювач буде в режимі насичення. Щоб цього уникнути підсилювальний каскад будують з 2-х ОП і фільтра високих частот (ФВЧ) між ними; це і зображено на рис. 1.

Для першого підсилювача AD620 приймемо коефіцієнт підсилення $G=7$. Для забезпечення такого коефіцієнту (так як він регулюється лише величиною R_G) користуються формулою з [7] і розраховують значення необхідного опору.

Далі у посиленого таким чином сигналу за допомогою фільтра високих частот (RC-ланцюжок) забирається постійна складова частина, що формується в результаті поляризації електродів при контакт з шкірою [8].

Далі сигнал підсилюється другим AD620A для досягнення сумарного коефіцієнта підсилення близько 1000.

За такого коефіцієнта підсилення напруга аналогового входу МК стає порядку 1В, що дає можливість коректної реєстрації роботи серця людини.

Е. Живлення підсилювачів та опорний рівень напруги

Для коректної роботи AD620A необхідний опорний рівень напруги з низьким входним опором. Це легко реалізувати за допомогою OP97, що працює в режимі повторювача, тобто з коефіцієнтом посилення 1. Також необхідно додати конденсатори ємністю 0.1 мкФ для боротьби із самозбудженням по живленню ОП. За допомогою схеми стабілізованого двополярного джерела живлення (рис.2), отримаємо необхідні +2.5В і -2.5В. Номінали елементів і схема взяті з [9].

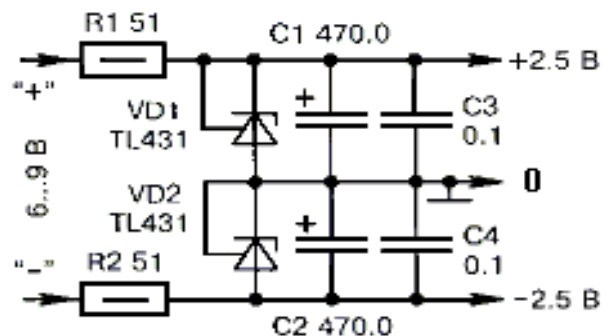


Рис. 2. Двополярне джерело живлення

Ф. Мікроконтролер

Мікроконтролером, що буде обробляти сигнал, що надходить з аналогової частини на вхід A0 обрано плату Arduino Uno.

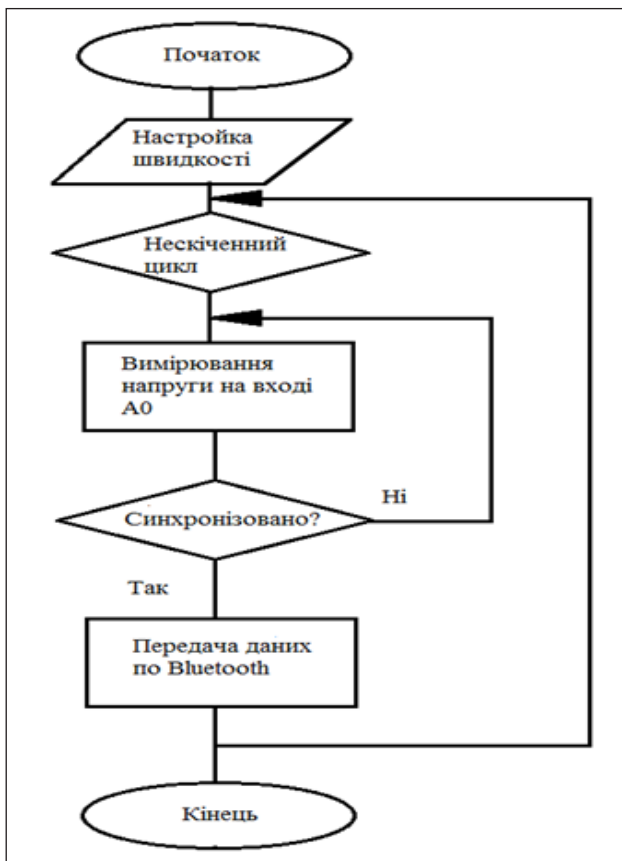


Рис. 3. Алгоритм роботи програми в мікроконтролері

Arduino Uno контролер побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових входів / виходів (6 із яких можуть використовуватися виходами ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB, або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC або батареї. Характеристики плати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики Arduino Uno

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Вхідна напруга(рекоменд.)	7-12В
Вхідна напруга(граничн.)	6-20В
Аналогові входи	6
Постійний струм через вх./вих.	40мА
Флеш-пам'ять	32кБ
ОЗУ	2кБ
EEPROM	1кБ
Тактова частота	16МГц

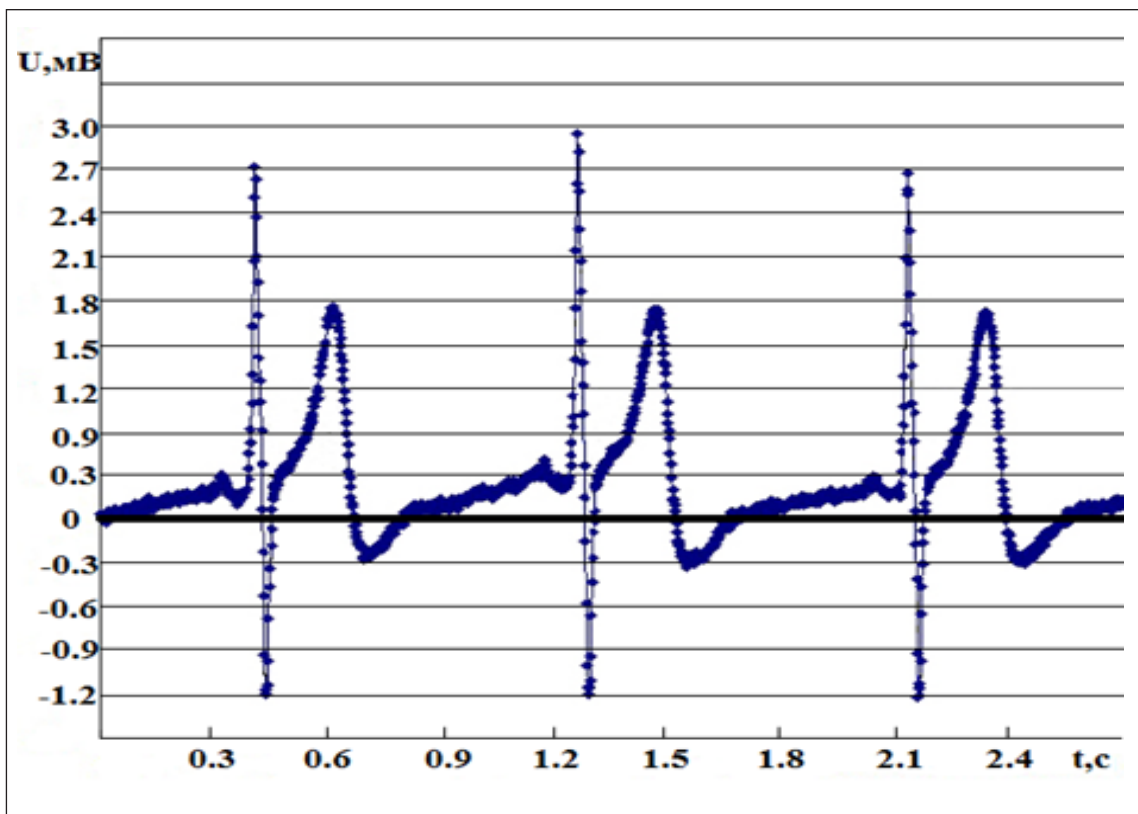


Рис. 4. Результуючий графік роботи серця на комп'ютері

Плата Arduino Uno має 10-бітний АЦП, що перетворює вхідну напругу від 0 до 5 В в значення від 0 до 1023 (всього 1024 значення). Ураховуючи викладеневрозділі2, маємо, що в середньому період кардіограми приймає значення $T_k = 0.35-1.5$ с. Тобто для якісного відображення сигналу необхідно робити близько 1000 замірів електричного потенціалу (напруги на вході А0) в секунду.

Зчитування відбувається за допомогою функції AnalogRead і ведеться порядку 100 мкс, що відповідає частоті замірів в 10кГц. Тобто за 1с можна зчитати з входу А0 10000 значень, чого вистачає.

Вхідні дані зберігаються в буфер, розмір якого 2 кБ. Одне значення напруги займає в буфері 10 біт, але воно буде заноситись в змінну типу int, що займає 2 байти. Для масиву в 1000 значень пам'яті якраз достатньо.

Програма, що «зашита» в контролер працює по алгоритму, наведеному на рис. 3.

III. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ

Більшість сучасних ноутбуків оснащено вбудованими Bluetooth-модулями. Для початку передачі даних необхідно лише синхронізувати два модулі між собою (той що на МК і той що на ПК).

Результатом є можливість дистанційного спостереження роботи серця людини в режимі реального часу шляхом зняття електрокардіограми. Рис. 4 ілюструє результати роботи прототипу модуля.

Як видно з рисунку, можна спостерігати характерні зубці електрокардіограми [10], за допомогою якої можна проводити первинну діагностику захворювань серцево-судинної системи. Також на графіку присутні «паразитні» зубці, що з'являються в результаті недосконалості механізму фільтрації сигналу.

Отримані дані про роботу серця є лише початковим етапом на шляху дослідження параметрів людського тіла в режимі реального часу. Для покращення дії модуля необхідно вдосконалити механізм фільтрації сигналу. У перспективі можливе нарощування потенціалу модуля шляхом уведення додаткових датчиків (температура, вологість шкіри, тощо). Таким чином, можна суттєво розширити потенціал модуля, перетворивши його в комплексну телеметричну систему, придатну для задоволення медичних та військових потреб контролю параметрів людини.

Список літератури:

1. N.G., Bourbakis, Pantelopoulos A., «A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis,» IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, т. Part C (Applications and Reviews), № 40, pp. 1-12, 2010.
2. Otto C., Jovanov E., Milenković A., «Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation,» Computer communications, т. 13, № 29, pp. 2521-2533, 2006.
3. Loriga G., Taccini N., Paradiso R., «A wearable health care system based on knitted integrated sensors,» IEEE transactions on Information Technology in biomedicine, т. 3, № 9, pp. 337-344, 2005.
4. Conzon D., Scalera A., Spirito M.A., Trainito, C.I., «IEEE 11th International Confere,» в Bazzani M. Enabling the IoT paradigm in e-health solutions through the VIRTUS middleware. In Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2012.
5. Rajamani S.T., Balachandran B., Friese T., Ukis V., «Architecture of cloud-based advanced medical image visualization solution. In Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM),» в IEEE International Conference, 2013.
6. Jovanov E. A, Milenković A., De Groen, P.C., «Wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation,» Journal of NeuroEngineering and rehabilitation, т. 1, № 2, p. 6, 2013.
7. «AD620A Data-Sheets,» [В Інтернеті]. Available: <http://www.alldatasheet.com/AD620A.pdf>.
8. S.V. Frolov, V.M. Stroyev, A.V. Gorbunov, V.A. Trofymov, Metody i prystroyi funkcionalnoyi diagnostyky, Tambov: TDTU, 2008 [Methods and devices of functional diagnostics].
9. «Dvopolyarne dzherelo zhyvlennya», Available: <http://geecmatic.in.ua/dvohpoliarnoe> [Bipolar power supply].
10. Krejcar O., Janckulik D., Motalova, L., «EUROCON.IEEE,» в Complex Biomedical System with Biotelemetric Monitoring of Life Functions, 2009.

БИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

В настоящее время активно развиваются исследования и решения в области мониторинга физиологических параметров с помощью биотелеметрии. Это приобретает особую актуальность, особенно в чрезвычайных ситуациях, природных и техногенных катастрофах, когда скорость принятия решений о состоянии человека и оказания первой помощи является чрезвычайно важной для сохранения жизни людей. Сердечно-сосудистые заболевания могут быть опасными не только пациенту, но и

окружающим, когда он руководит оборудованием или в других ситуациях, связанных с выполнением любых ответственных действий. Целью представленной работы является разработка биотелеметрического модуля, который выполняет функции измерения электрических потенциалов тела человека, а также решение вопросов усиления, первичной обработки сигналов, передачи по каналам беспроводной связи, защиты каналов беспроводной связи, а также синхронизация устройств Bluetooth. Из-за чрезвычайно высокой стоимости медицинского оборудования и невозможность постоянного наблюдения за работой сердца, это устройство будет актуальным для ранней диагностики и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: биотелеметрии, модуль, микроконтроллер, работа сердца, сердечно-сосудистые заболевания.

BIOTELEMETRIC MODULE FOR LOCAL WIRELESS NETWORKS

Currently, research and solutions in the field of monitoring physiological parameters by means of biotelemetry is actively developing. That acquires special relevance, particularly, in emergencies, natural and man-made disasters, when the speed of decision-making on the human condition and first aid is crucial for human life saving. Cardiovascular diseases can be dangerous not only to the patient but also to those around them when he manages the equipment or in other situations related to the execution of any responsible actions. The purpose of the presented work is the development of a biotelemetric module that performs the function of measuring the electrical potentials of the human body, as well as addressing issues of amplification, primary signal processing, transmission over wireless communication channels, protection of wireless communication channels, and synchronization of devices via Bluetooth. Due to the extremely high cost of medical equipment and the impossibility of monitoring the work of the heart constantly, this device will be relevant for early diagnosis and prevention of cardiovascular diseases.

Key words: biotelemetry, module, microcontroller, heart work, three-layer architecture, transmission, portable cardiograph.

Яненко М.В.

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

КЛАСИФІКАЦІЯ РУХІВ ПАЛЬЦЯМИ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ МОЗКОВОЇ АКТИВНОСТІ

У статті наведено методи визначення пальця, що здійснює рух у цей момент, на основі параметричних моделей. Також досліджується можливість використання параметрів моделі авто регресії – усереднення зі зсувом (як ознак для подальшої класифікації). Модель застосована до сформованих віртуальних каналів за допомогою методу загальних просторових шаблонів. Класифікатором було обрано метод опорних векторів, що дозволило отримати точність визначення пальця, що здійснює рух 93,1%. Такий принцип може бути використаний для створення пристроїв зв'язку «мозок – комп'ютер».

Ключові слова: машинне навчання, інтерфейс мозок – комп'ютер, електрокортикограма, модель авторегресії-усереднення зі зсувом, класифікація.

Постановка проблеми. Існують типи інтерфейсів зв'язку «мозок – комп'ютер», у яких не потребується точного положення пальця, а є достатнім визначення самого факту руху кожного конкретного пальця. Наприклад, взаємодія з віртуальною клавіатурою або з іншим віртуальним оточенням, зокрема для мультимедіа та комп'ютерних ігор. Також можливе створення простих протезів рук, що повністю стискає палець, на якому був визначений рух, і розтискає, коли рух припиняється. Тому завдання визначення руху конкретного пальця буде розглянуто в цій роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтерфейс мозок-комп'ютер (Brain Computer interface (далі – BCI)) – це система апаратних і системних засобів, що дозволяє людському мозку взаємодіяти з об'єктами навколишнього світу без участі периферичних нервів і м'язів за допомогою керуючих сигналів, що генеруються на основі електричної активності мозку.

BCI є системою, що містить штучний інтелект, яка може розпізнавати певний набір шаблонів мозкової активності. Зазвичай, така система матиме такі основні послідовні етапи оброблення мозкового сигналу: попереднє оброблення сигналу, обчислення ознак, класифікація сигналу, генерування сигналів управління [1]. Найчастіше для BCI використовують електроенцефалографію – метод реєстрації біопотенціалів мозку, що генеруються клітинами мозку – нейронами. Зчитування таких потенціалів проводиться за допомогою електродів, що знаходяться на поверхні скальпу і реєструють електроенцефалограму (далі – ЕЕГ), потенціали коркових областей, що розташовані біля поверхні голови [2]. Такий під-

хід має низку таких переваг, як неінвазивність, низька собівартість та невеликі габарити, але, є і низка недоліків: високий рівень шумів і низька роздільної здатності сигналу. У деяких дослідженнях [3] використовують й інші способи отримання сигналів із мозку, зокрема електрокортикографію (Electrocorticography – ECoG), що реєструє мозкову активність використовуючи електроди, розташовані безпосередньо на корі головного мозку [4], яка проте потребує хірургічного розрізу для імплантації електродів, отже є інвазивним методом.

BCI створює додатковий канал в обхід м'язів для управління різноманітними зовнішніми пристроями, тому технологія BCI набула широкого застосування. Зокрема з використанням BCI виконують управління віртуальними транспортними засобами [5] та змодельованим віртуальним оточенням [6], що робить таку взаємодію більш реалістичною і зручною. Також BCI може бути застосований для управління курсором [1]. Також була представлена система управління автомобілем на основі BCI [7] [8]. Було представлено крісло з двигуном для людей з обмеженими можливостями [9] та маніпулятор для паралізованих людей [10] під управлінням BCI.

Безсумнівно, BCI-EEG є видатною технологією в галузі оброблення сигналів і принесе покращення в галузі медицини і нашого життя [11], що є особливо важливим для осіб із важкими порушеннями рухових функцій. Такий інтерфейс дозволить поліпшити якість життя і призведе до зниження витрат на інтенсивну терапію.

Така технологія була використана для управління нейропротезами на основі ЕЕГ [2]. Для

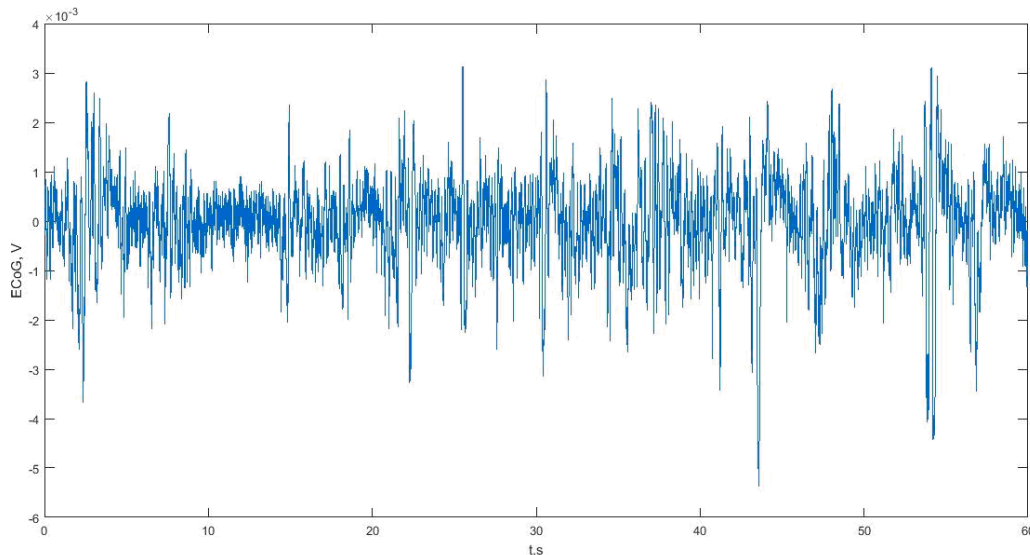


Рис. 1. Сигнал електрокортикограми з одного з електродів

таких систем важливим є розпізнавання рухів кінцівками, а особливо рухів пальцями. Більшість сучасних досліджень зосереджено на передбаченні траєкторії руху кожного пальця на основі мозкової активності [12].

Постановка завдання. Завданням роботи є визначення наявності руху кожного конкретного пальця або моментів без руху, що може бути представлена завданням класифікації. Таким чином, існує шість класів, де перший відповідає моментам без руху, інші п'ять відповідають пальцям від великого до мізинця, лише один клас може бути визначений одночасно. На вхід класифікатора подається вектор особливостей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дані для дослідження були записані у Вашингтонському Університеті на дев'яти анонімних пацієнтах, що були проінформовані про подробиці експерименту [13]. На кору головного мозку було поміщено масив з електродів (від 48 до 64), що реєстрували електрокортикограму. Під час запису пацієнт здійснював рухи пальцями однієї руки по черзі, згідно з написом на екрані. Координати кожного пальця фіксувались із частотою дискретизації в 25 Гц. Середня тривалість кожного руху становить 2 секунди, середня тривалість відсутності руху – 3 секунди. Усього за час руху було здійснено біля 30 рухів кожним пальцем. Дані ЕКоГ були записані з частотою дискретизації 1000 Гц. Запис проводився протягом 10 хвилин.

Для зменшення розмірності даних і формування навчальної вибірки для навчання було використано метод загального просторового шаблону.

Метод загальних просторових шаблонів (Common Spatial Pattern – CSP) дозволяє розкласти багатоканальний сигнал на адитивні компоненти, зважаючи на збільшення дисперсії між двома вибраними вікнами (X_1, X_2), що належать до різних класів. Розклад полягає в знаходженні вагових коефіцієнтів зваженої суми всіх каналів із такого виразу [14]:

$$(P_1 + P_2)^{-1} P_1 W = \Lambda W$$

Де: Λ – вектор власних значень;

W – матриця просторового фільтра;

P_1, P_2 – коваріаційні матриці для вікон X_1, X_2 .

Отриманий вектор $w = W_1$ і буде набором вагових коефіцієнтів, що були нормовані так щоб: $\sum_i w_i = 0$.

Для формування вікон X_1 та X_2 було використано відфільтровані в смузі 65-200 Гц дані. Тривалість вікон 1.9 секунд. Вікно X_1 було вибрано момент без руху, X_2 – момент руху вибраним пальцем. Процедура отримання вагових коефіцієнтів була повторена п'ять разів для кожного з пальців та окремо для всіх пацієнтів. Надалі було сформовано п'ять віртуальних каналів.

Як ознаки для класифікації було використано параметри параметричної моделі, що була побудована під час роботи. Моделлю було вибрано модель авторегресії-усереднення зі зсувом. Модель авторегресії – усереднення із зсувом (autoregressive moving-average model, ARMA) – це математична модель, що використовується для аналізу і прогнозування стаціонарних часових рядів у статистиці. ARMA-модель об'єднує дві більш прості моделі – модель авторегресії (autoregression, AR)

Test dataset 6 classes svm with Gaussian kernel fun.

1	368 15.8%	18 0.8%	8 0.3%	19 0.8%	17 0.7%	19 0.8%	82.0% 18.0%
2	2 0.1%	359 15.4%	1 0.0%	4 0.2%	3 0.1%	2 0.1%	96.8% 3.2%
3	0 0.0%	3 0.1%	386 16.6%	8 0.3%	1 0.0%	4 0.2%	96.0% 4.0%
4	5 0.2%	5 0.2%	3 0.1%	351 15.1%	3 0.1%	3 0.1%	94.9% 5.1%
5	1 0.0%	3 0.1%	2 0.1%	2 0.1%	374 16.0%	7 0.3%	96.1% 3.9%
6	2 0.1%	0 0.0%	3 0.1%	6 0.3%	7 0.3%	333 14.3%	94.9% 5.1%
	97.4% 2.6%	92.5% 7.5%	95.8% 4.2%	90.0% 10.0%	92.3% 7.7%	90.5% 9.5%	93.1% 6.9%
	1	2	3	4	5	6	

Рис. 2. Матриця невідповідності для шестикласової класифікації

і моделі усереднення зі зсувом (moving-average, MA) [15].

Моделлю ARMA(p, q), де p, q – цілі числа, що задають порядок моделі, називається такий процес генерації часового ряду:

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{j=0}^q \beta_j \varepsilon_{t-j} + \sum_{j=0}^p \alpha_j X_{t-j}$$

де c – константа, ε_t – білий шум, тобто послідовність незалежних і однаково (як правило, нормально) розподілених випадкових величин, з нульовим середнім, α_j і β_j – дійсні числа, авторегресійні коефіцієнти і коефіцієнти усереднення із зсувом відповідно.

Класифікатором було використано метод опорних векторів (Support Vector Machine – SVM). У класичному випадку цей метод навчання з учителем, що полягає в проведенні гіперплощини розмірності n, таким чином, щоб відстань від точок цього простору для двох класів до розділяючої гіперплощини була максимальна [16]. Така гіперплощина проводиться по вибраним опорним векторам. У загальному вигляді такий класифікатор матиме вигляд:

$$a(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i c_i K(x_i, x) + b \right),$$

де $a(x)$ – вихід класифікатора, рівний 1 або -1; λ_i – число складності, що показує те, наскільки корисний приклад вхідних параметрів x_i . Якщо $\lambda_i > 0$ то x_i – опорний вектор; c_i – бінарний вектор вхідних даних; $K(x_i, x)$ – базисна функція методу.

У більшості реальних випадків дані для навчання не можуть бути розділені лінійно. Тому

в цій роботі було застосовано нелінійну радіальну базисну функцію Гауса, що має вигляд [17]:

$$K(x_i, x) = \exp \left(- \frac{\|x - x_i\|^2}{2\sigma^2} \right)$$

Класичний метод опорних векторів є бінарним класифікатором. Оскільки для задачі, що була виконана в цій роботі, потрібно визначення шести класів (моменти без рухів та рухи п'яти пальців), потрібно використати багатокласову модифікацію методу. У цій роботі було використано метод виправлення вихідних помилок (Error-Correcting Output Codes - ECOC). За такого підходу багатокласова проблема розбивається на деяку кількість бінарних [18]. Для цього створюється кодуєча матриця M, кожен елемент якої може бути рівний -1, 0, +1, тобто тактика один проти одного. Рядки матриці відповідають класам, стовпці – класифікаторам. Кількість бінарних класифікаторів рівна $n(n-1)/2$, де n – кількість класів.

Вибірка вхідних даних була сформована з рівною кількістю прикладів для двох класів. Дні були перемішані у випадковому порядку. Для навчання нейронної мережі було використано 70% початкової вибірки, 30% – для тестування.

Результати класифікації тестової вибірки представимо у вигляді матриці невідповідності.

На рисунку 2 зображено матрицю невідповідності для цього завдання. Рядки матриці відповідають класифікованим класам, стовпці – реальним класам, головна діагональ – правильно визначені класи. Числа поза діагоналлю відповідають невірно визначеним прикладам. Зелені цифри в крайньому лівому стовпчику відповідає параметру позитивної прогностичної цінності (positive predictive value – PPV), червоні – складність неправильного визначення (false discovery rate – PDR) для кожного класу. Зелені цифри у нижньому рядку мають істинно позитивне визначення (true positive rate – TPR), червоні – помилково-позитивне визначення (false negative rate FNR). Нижня права клітинка – загальна точність (зелені цифри) та загальна похибка (червоні цифри). Як бачимо, точність становить 93,1%.

Висновки. Застосування параметрів ARMA-моделі до сигналу рухової активності мозку з формуванням віртуальних відведень за допомогою CSP дозволяє визначити як факт руху будь-яким пальцем.

Визначення пальця, що рухається, має загальну точність 93,1%, при цьому для моментів без руху істинно позитивне визначення становить 97,4%. Серед пальців найбільший відсоток істинно позитивного визначення має визначення вказівного пальця – 95,8%, найменшу – середній палець – 90,0%.

Список літератури:

1. Pfurtscheller G. Rehabilitation with Brain-Computer Interface Systems. IEEE Computer Society. 2008. P. 58–65.
2. Richard T. Lauer, C. P. Hunter Peckham and Kevin L. Kilgore. EEG-based control of a hand grasp neuroprosthesis. NeuroReport 10. 1999.
3. Leuthardt E.C., Schalk G., Wolpaw J.R., Ojemann J.G., Moran D.W. A brain-computer interface using Electro Cortico Graphic signals in humans. J. Neural Eng., no. 1. 2004. P. 63–71.
4. Rouse A.G., D. W. Moran. Neural adaptation of epidural electrocorticographic (EECoG) signals during closed-loop brain computer interface (BCI) tasks. in Proc. IEEE MBS. 2009. P. 5514–5517.
5. Makeig S. First Demonstration of a Musical Emotion BCI/ Scott Makeig, Grace Leslie, Tim Mullen, Devpratim Sarma, Nima Bigdely-Shamlo, Christian Kothe. ACII: part 2. Tennessee (USA). 2011. P. 487–496.
6. Role of EEG in Brain to Computer Interface. Silicon Mentor. 2015. URL: <http://siliconmentor.blogspot.in/2015/05/role-of-eeeg.html>
7. BrainDriver: A Mind Controlled Car/ Markus Waibel. IEEE Spectrum. 2011. URL: <http://spectrum.ieee.org/automaton/transportation/human-factors/braindriver-a-mind-controlled-car>
8. Mind-controlled car unveiled in China/ Madhumita Murgia. The Telegraph. 2015. URL: <http://www.telegraph.co.uk/technology/news/12040216/Mind-controlled-cars-unveiled-in-China.html>
9. Iturrate I. A Noninvasive Brain-Actuated Wheelchair Based on a P300 Neurophysiological Protocol and Automated Navigation/ Inaki Iturrate, Javier M. Antelis, Andrea Kubler, Javier Minguez. IEEE transactions on robotic. 2009. Vol. 25. No. 3. P. 614–627.
10. Wang C. Motor Imagery BCI-based robot arm system/ Cong Wang, Bin Xia, Jie Li, Wenlu Yang, Dianyun Xiao, Alejandro Cardona Velez, Hong Yang. Seventh International Conference on Natural Computation. Shanghai (China). 2011. P. 181–184.
11. Palmieri, A. The concept of the epileptogenic zone: A modern look at Penfield and Jasper's views on the role of interictal spikes. Epileptic Disorders 8. 2006.
12. Onaran, I. Classification of Multichannel ECoG Related to Individual Finger Movements with Redundant Spatial Projections/ Ibrahim Onaran, N. Firat Ince, A. Enis Cetin. Conference of the IEEE EMBS. Boston, Massachusetts (USA). 2011. P. 5424–5427.
13. Kai J. Miller, Dora Hermes, Human Motor Cortical Activity Is Selectively Phase-Entrained on Underlying Rhythms. PLOS Computational Biology. 2012.
14. Alexandre Barachant, Stephane Bonnet, Marco Congedo, Christian Jutten. Common Spatial Pattern revisited by Riemannian Geometry. 2010 IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSp). 2010.
15. Brockwell P.J.; Davis R.A. Time Series: Theory and Methods (2nd ed.). New York: Springer. 2009. 273 p.
16. Christianini, N., and J. C. Shawe-Taylor. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2000.
17. Bernhard Scholkopf, Kah-Kay Sung, Chris J. C. Burges, Federico Girosi, Partha Niyogi, Tomaso Poggio, and Vladimir Vapnik. Comparing Support Vector Machines with Gaussian Kernels to Radial Basis Function Classifiers. IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING. 1997.
18. Sergio Escalera, Oriol Pujol, Petia Radeva. On the Decoding Process in Ternary Error-Correcting Output Codes. IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE. 2010.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ПАЛЬЦЕВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ

В статье приведены методы определения пальца, осуществляет движение в данный момент, на основе параметрических моделей. Также исследуется возможность использования параметров модели авто регрессии - усреднения со сдвигом в качестве признаков для дальнейшей классификации. Модель применена к сложившимся виртуальных каналов с помощью метода общих пространственных шаблонов. Как классификатор был выбран метод опорных векторов, позволило получить точность определения пальца, который осуществляет движение, 93,1%. Такой принцип может быть использован для создания устройств связи «мозг – компьютер».

Ключевые слова: машинное обучение, интерфейс мозг – компьютер, электрокортикограмма, модель авто регрессии-усреднения со сдвигом, классификация.

**CLASSIFICATION OF FUEL MOVEMENTS BASED
ON PARAMETRIC MODEL OF CARBON ACTIVITY**

The article describes the methods of determining the moment of a moving finger on the basis of parametric models. Also, the possibility of using parameters of the auto regression model – averaging with a shift as signs for further classification is investigated. The model is applied to the generated virtual channels using the method of general spatial patterns. As a classifier, the method of reference vectors was selected, which made it possible to obtain the accuracy of the determination of the finger, moving 93.1%. Such a principle can be used to create communication devices for the brain – a computer.

Key words: machine learning, interface brain – computer, electrocorticogram, model of auto regression – moving averaging, classification.

Відомості про авторів

Антіпіна О.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії та експертизи Одеської національної академії харчових технологій;

Арсеньєва Н.О. – кандидат технічних наук, асистент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожного університету;

Бойко С.М. – кандидат технічних наук, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

Борисов О.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури;

Васильєва Л.О. – старший викладач кафедри транспортних технологій Запорізького національного технічного університету;

Вікуль С.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії та експертизи Одеської національної академії харчових технологій;

Галімова В.М. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Гомеля М.Д. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Горзей О.В. – аспірант, асистент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій;

Дедів Л.Є. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Дозорська О.Ф. – аспірант кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Дозорський В.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Дорохович А.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів Національного університету харчових технологій;

Дурас М.В. – аспірант Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»;

Душейко М.Г. – провідний інженер науково-дослідної лабораторії напівпровідників кафедри мікроелектроніки факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Зінченко В.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Запорізької державної інженерної академії;

Іваненко О.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Іванов В.І. – старший науковий співробітник кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Запорізької державної інженерної академії;

Іванова В.П. – молодший науковий співробітник кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Карпенко В.О. – студент Національного університету харчових технологій;

Каюков Ю.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики та гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії;

Кириленко М.В. – магістр кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Кирилюк С.В. – кандидат технічних наук, завідувач лабораторії кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури;

Кирпиченкова О.М. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри готельно-ресторанної справи Національного університету харчових технологій;

Кірюхіна М.В. – викладач циклової комісії соціально-гуманітарних дисциплін Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

Козлов О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Козяр Ю.В. – магістрант Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету;

Комарчук Д.С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматичних та робототехнічних систем імені академіка І.І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Кондратенко Ю.П. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили;

Косенко А.В. – магістр з гірництва, асистент, аспірант кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Кулик М.П. – кандидат технічних наук, доцент Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Кутова О.Ю. – асистент кафедри мікроелектроніки факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Кучма В.С. – магістрант Одеського національного політехнічного університету;

Лавріщев О.О. – аспірант Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»;

Лебідь Г.О. – старший викладач кафедри транспортних технологій Запорізького національного технічного університету;

Майданик К.О. – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету;

Маринін А.І. – старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій;

Мартиненко Т.А. – науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій;

Менейлюк О.І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури;

Миколенко С.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету;

Нестеренко Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металургії Запорізької державної інженерної академії;

Носач І.В. – кандидат педагогічних наук, викладач кафедри управління та адміністрування Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

Онищенко О.М. – кафедра промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Падченко О.О. – старший викладач кафедри транспортних технологій Запорізького національного технічного університету;

Петриченко А.І. – молодший науковий співробітник кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Петровський А.Ф. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва та архітектури;

Півоваров О.А. – доктор технічних наук, ректор ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»;

Погосов О.Ю. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри атомних електростанцій Одеського національного політехнічного університету;

Поліщук Д.В. – кандидат технічних наук, головний інженер ТД ВО «Машинобудівний завод»;

Прокудін Г.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету;

Прохоренко Ж.І. – старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій;

Радовенчик Я.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Редіч Ю.А. – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету;

Ремех І.О. – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету;

Санницький Н.М. – викладач Львівського коледжу транспортної інфраструктури Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна;

Святненко Р.С. – науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій;

Силка І.М. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій;

Сімахіна Г.О. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій;

Тарасенко Я.В. – аспірант кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії Черкаського державного технологічного університету;

Тарасютін В.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

Тимофєєв В.І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронної інженерії факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Ткаченко В.В. – студент магістратури Одеського національного політехнічного університету;

Томашевський Р.С. – кандидат технічних наук, доцент, директор Навчально-наукового інституту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Топалов А.М. – асистент кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Турпак С.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних технологій Запорізького національного технічного університету;

Уліцька О.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

Фролова Л.А. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин і екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»;

Хебда А.С. – викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

Чепрасов О.І. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри теплоенергетики та гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії;

Чинчик О.С. – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри екології та збалансованого природокористування Подільського державного аграрно-технічного університету;

Шаблій Т.О. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Швачко Д.Г. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Шелудченко Л.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування Подільського державного аграрно-технічного університету;

Шкель К.О. – студент кафедри екобіотехнології і біоенергетики факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Щербина В.Ю. – доктор технічних наук, доцент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»;

Яворська Є.Б. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Ямненко Ю.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Яненко М.В. – студент кафедри інженерної електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий журнал

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

Серія: Технічні науки

Том 29 (68) № 4 2018

Частина 2

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Івана Кудрі, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 16,42. Ум.-друк. арк. 23,48. Зам. № 0918/124

Підписано до друку 01.10.2018. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.