

**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 31 (70) № 2 2020

Частина 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

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;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

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

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

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

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технології та дизайну;

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

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

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

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 7 від 27.04.2020 року)**

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

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1)

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

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

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2020

ЗМІСТ

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Вапнічна В.В., Виноградова О.П.

РОЗШИРЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ СИРОВИНИ ЩЕБЕНЕВОГО КАР'ЄРУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ.....1

МЕТАЛУРГІЯ

Нежурин В.И., Николенко А.В., Куваев В.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГАЗОДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ВАННЫ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ РПЗ-48(63) ПРИ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОСИЛКОМАРГАНЦА.....9

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Зінченко Н.Ю., Попова І.В.

ВИВЧЕННЯ СОРБЦІЇ ПАРІВ ВОДИ ІНУЛІНОМ..... 17

Іванченко А.В., Хавікова К.С., Макарченко Н.П., Кузьменко В.Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДСОРБЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ ФЕНОЛІВ ТА РОДАНІДІВ З РІДКИХ ВІДХОДІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА..... 24

Ларичева Л.П., Гребанова Є.С., Ільченко С.А., Бабенко А.В.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ УМОВИ КИСЛОТНОЇ ПЕРЕРОБКИ НИЗЬКОЯКІСНИХ ФОСФОРИТІВ..... 29

Петріна Р.О., Загородня Д.С., Хом'як С.В., Новіков В.П.

ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ ЕКСТРАКТІВ КАЛУСНОЇ БІОМАСИ *DELFINIUM ELATUM* 34

Римар Т.Е.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПОВНЮВАЧІВ НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ХОЛОДНОГО СПІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА ..39

Ткачук К.К., Tverda O.Ya., Repin M.V.

EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION OF THE INSTALLATION FOR NATURAL RESERVOIR CLEANING..... 45

Фролова Л.А.

СПІВОСАДЖЕННЯ ФЕРУМ(ІІ) ТА КОБАЛЬТ(ІІ) ГІДРОКСИДІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ФЕРИТІВ..... 50

Cheltonov M.M., Kirichenko A.L., Ustimenko E.B.

EXTRACTION OF CYCLOTETRAMETHYLENETETRANITRAMINE FROM SOLID PROPELLANT UTILIZATION PRODUCTS55

Шумило К.П., Белянська О.Р., Крюковська О.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВО-ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....62

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бабенко В.І., Велика А.О., Пещера Л.С.

РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУР КУПАЖОВАНИХ ОЛІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РІПАКОВИХ ОЛІЙ.....68

Бажай-Жежерун С.А., Береза-Кіндзерська Л.В.

БІОЛОГІЧНЕ АКТИВУВАННЯ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ.....73

Бахмач В.О.

РОЗРОБКА КРЕМУ ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРСПЕКТИВНИХ ДОБАВОК.....79

Бідюк Д.О., Серeda О.Г. НОВИЙ ВИД БІОРОЗКЛАДУВАНОЇ ТАРИ.....	85
Гайдай І.В., Матенчук Л.Ю., Токар А.Ю. БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ДЕРЕЛОВИХ НАПОЇВ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ.....	95
Helikh A.O., Dan Gao, Zhenhua Duan OPTIMIZATION OF ULTRASOUND-ASSISTED ALKALINE EXTRACTION OF PUMPKIN SEED MEAL PROTEIN ISOLATE BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY.....	100
Дубініна А.А., Попова Т.М., Ленерт С.О., Гершун В.С. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПШОНА ІЗ ПРОСА РІЗНИХ СОРТІВ.....	105
Дубініна А.А., Селютіна Г.А., Шербакова Т.В., Хацкевич Ю.М., Селютін В.М. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПАСТИ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	111
Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М. РОЗРОБКА СКЛАДУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АНТИЦЕЛЮЛІТНОГО ЕМУЛЬСІЙНОГО КРЕМУ З КОФЕЇНОМ.....	117
Ищик Т.В., Кременець Т.В., Сидорук Ю.В., Устименко І.М., Михайленко В.М., Дмитренко М.С., Бережна Т.О. ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ – БРАУНІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	122
Очеретна А.В., Фролова Н.Е. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКООЛЕЇНОВИХ СОРТІВ ОЛІЇ СОНЯШНИКА У ПРОДУКТАХ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІЇ ДЛЯ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ	129
Паска М.З., Маслійчук О.Б. ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЛЮПИНОВОГО БОРОШНА ТА ДИВОСИЛУ В КОНТЕКСТІ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ.....	136
Скирда О.Є., Гавриш А.В., Хацкевич Ю.М., Віннікова В.О., Гапонцева О.В. ТОВАРОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ЯКОСТІ М'ЯКИХ ТА РОЗСІЛЬНИХ СИРІВ.....	143
Таланюк В.В., Шадрін А.О., Юрженко М.В., Кораб М.Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЗРАЗКІВ З БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРІВ ТИПУ ПОЛГІДРОКСИБУТИРАТ/ПОЛІЛАКТИД (ПГБ/ПЛА).....	149
ТРАНСПОРТ	
Галь А.Ф., Гайдай Г.Ю., Грешнов А.Ю. АНАЛІЗ БАГАТОЯКІРНОЇ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПЛАВУЧИХ ОБ'ЄКТІВ ОКЕАНОТЕХНІКИ.....	154
Кисельов В.Б., Доля О.Є. РИЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ.....	160
Кутковецька Т.О., Березовський А.П. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ З ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	164
Мельник О.М. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ТА ОБРОБКИ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ.....	168
Турпак С.М., Васильєва Л.О., Харченко Т.В., Веремєнко Л.А., Гришко В.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ВИЗНАЧЕННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ РУХУ.....	175

Черноусенко О.Ю., Бутовський Л.С., Грановська О.О., Мороз О.С., Старченко О.С. СТАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ НА «БІДНОМУ» ЗРИВІ ПІД ЧАС МІКРОДИФУЗІЙНОГО СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ ЗА СТАБІЛІЗАТОРОМ.....	182
---	-----

БУДІВНИЦТВО

Азізов Т.Н., Орлова О.М. ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ БЕРЕГІВ НОРМАЛЬНОЇ ТРИЩИНИ ПРИ КРУЧЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ.....	189
Зуєвська Н.В., Шайдецька Л.В., Губашова В.Є. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУМЕНЕВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ В ЗАТОРФОВАНОМУ СУГЛИНКУ.....	198
Кравченко С.А., Столевич І.А., Костюк А.І., Столевич О.І. ОПТИМІЗАЦІЯ СВОЙСТВ КЕРАМЗИТОБЕТОННИХ СМЕСЕЙ И БЕТОНОВ НА КАРБОНАТНОМ ПЕСКЕ.....	204
Чичулін В.П., Чичуліна К.В. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РАМ ЗА НАЙБІЛЬШ ЙМОВІРНИМ МЕХАНІЗМОМ РУЙНУВАННЯ.....	211

ГЕОДЕЗІЯ

Wen Mingming, Mamonov K.A., Frolov V.O. LAND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE REGION: ANALYSIS AND PRACTICE OF THE USE OF THE TERRITORIES OF THE COASTAL CITIES OF CHINA ¹	218
Дорожко Є.В. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАСКРІЗНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	225
Поморцева О.Є. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС.....	230

ЕЛЕКТРОНІКА

Макаренко В.В., Лукашев О.Ю. ВПЛИВ ТОПОЛОГІЇ DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА РІВЕНЬ СТВОРЮВАНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД.....	235
Макаренко В.В., Савченко Ю.Г. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДЛИШКОВОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АНАЛОГОВОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ.....	244
Фурс Т.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ І ОБ'ЄМНОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ДЕТЕКТОРНИХ РВІ ₂ -СТРУКТУР.....	252
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	257

CONTENTS

RESOURCE DEVELOPMENT

Vapnichna V.V., Vynohradova O.P.

EXTENSION OF THE NOMENCLATURE OF RAW MATERIALS OF CRUSHED STONE QUARRY FOR OBTAINING FACING PRODUCTS FROM NATURAL STONE.....1

METALLURGY

Nezhurin V.I., Nikolenko A.V., Kuvaiev V.Yu.

THE STUDY OF THE GAS DYNAMICS OF THE WORKING SPACE OF THE EXISTING ELECTRIC FURNACE RPZ-48 (63) BATH AT THE FERROSILICON MANGANESE SMELTING9

CHEMICAL TECHNOLOGY

Zinchenko N.Yu., Popova I.V.

THE STUDY OF WATER VAPOUR SORPTION INULIN17

Ivanchenko A.V., Khavikova K.E., Makarchenko N.P., Kuzmenko V.Yu.

STUDY OF THE TECHNOLOGY OF ADSORPTION EXTRACTION OF PHENOLES AND RHODANIDES FROM LIQUID WASTES OF COKE-CHEMICAL PRODUCTION24

Larycheva L.P., Hrebanova Ie.C., Ilchenko S.A., Babenko A.C.

PHYSICO-CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF ACID PROCESSING OF LOW QUALITY PHOSPHORITES29

Petrina R.O., Zahorodnia D.S., Khomiak S.V., Novikov V.P.

SECONDARY METABOLITES OF EXTRACTS OF CALLUS BIOMASS OF *DELFINIUM ELATUM*34

Rymar T.E.

STUDY OF THE INFLUENCE OF FILLERS ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE THERMAL INSULATION MATERIALS OF COLD FOAMING BASED ON LIQUID GLASS39

Tkachuk K.K., Tverda O.Ya., Repin M.V.

EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION OF THE INSTALLATION FOR NATURAL RESERVOIR CLEANING.....45

Frolova L.A.

CO-PRECIPIATION OF FERUM (II) AND COBALT (II) HYDROXIDES IN THE FERIT'S TECHNOLOGY50

Cheltonov M.M., Kirichenko A.L., Ustimenko E.B.

EXTRACTION OF CYCLOTETRAMETHYLENETETRAMINE FROM SOLID PROPELLANT UTILIZATION PRODUCTS55

Shumylo K.P., Belyanska A.R., Kryukovskaya O.A.

RESEARCH OF ENERGY-ECOLOGICAL METHOD OF RECYCLING INDUSTRIAL AND DOMESTIC WASTES62

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Babenko V.I., Velyka A.O., Peshchera L.S.

DEVELOPMENT OF RIPPUT OIL RECIPES WITH THE USE OF RAPE OILS68

Bazhay-Zhezherun S.A., Bereza-Kindzerska L.V.

BIOLOGICAL ACTIVATION OF GRAIN TRITICALE73

Bakhmach V.O.

DEVELOPING CREAM FOR FACE WITH USING PROSPECTIVE ADDITIVES79

Bidiuk D.O., Sereda O.H. A NEW TYPES OF BIODEGRADABLE PACKAGING	85
Haidai I.V., Matenchuk L.Yu., Tokar A.Yu. BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF DOGWOOD BEVERAGES AS FUNCTIONAL NUTRITION PRODUCTS	95
Helikh A.O., Dan Gao, Zhenhua Duan OPTIMIZATION OF ULTRASOUND-ASSISTED ALKALINE EXTRACTION OF PUMPKIN SEED MEAL PROTEIN ISOLATE BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY.....	100
Dubinina A.A., Popova T.M., Lenert S.O., Hershun V.S. COMPLEX ASSESSMENT OF QUALITY OF FRUITS OF MILLS OF DIFFERENT VARIETIES.....	105
Dubinina A.A., Seliutina H.A., Shcherbakova T.V., Khatskevych Yu.M., Seliutin V.M. OPTIMIZATION OF PASTA COMPOSITION FROM VEGETABLE RAW BY MATHEMATICAL MODELING	111
Yefimova V.G., Pilipenko T.M. DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION AND DETERMINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF ANTI-CELLULITE EMULSION CREAM WITH CAFÉ	117
Ischeyk T.V., Kremenets T.V., Sydoruk Y.V., Ustymenko I.M., Mykhailenko V.M., Dmytrenko M.S., Berezhna T.O. QUALITY AND SAFETY INDICATORS OF FLOUR CONFECTIONERY – BROWNIE OF SPECIAL PURPOSE.....	122
Ocheretna A.V., Frolova N.E. PROSPECTS OF USE OF HIGH-OLED SUNFLOWER OILS IN FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS	129
Paska M.Z., Masliichuk O.B. FUNCTIONAL-TECHNOLOGICAL INDICATORS OF LUPINO FLOUR AND DIVASIL IN THE CONTEXT OF THE MEAT SEMI-FOOD PRODUCTION.....	136
Skyrda O.Ye., Havrysh A.V., Khatskevych Yu.M., Vinnikova V.O., Hapontseva O.V. COMMODITY ASPECTS OF QUALITY OF SOFT AND BRINED CHEESES	143
Talanyuk V.V., Shadrin A.O., Iurzhenko M.V., Korab M.G. RESEARCH OF TECHNOLOGY FOR FORMATION OF WELDED COMPOUNDS OF PHB / PLA TYPE BIOPOLYMERS	149
TRANSPORT	
Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. ANALYSIS OF THE MARINE TECHNOLOGY FLOATING OBJECTS MULTI-ANCHOR POSITIONING SYSTEM	154
Kyselov V.B., Dolia O.Ye. RISKS OF FUNCTIONING OF URBAN PASSENGER TRANSPORT SYSTEMS	160
Kutkovetska T.O., Berezovskyi A.P. THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE PERFORMANCE INDICES OF MACHINE-TRACTOR UNITS USE BY SOIL CULTIVATION.....	164
Melnyk O.M. TECHNOLOGICAL ASPECTS OF OVERSIZED CARGO TRANSPORTATION. TECHNOLOGICAL SUPPORT OF THE PROCESSES OF DELIVERY AND HANDLING OF OVERSIZED CARGOES.....	168
Turpak S.M., Vasylieva L.O., Kharchenko T.V., Veremeyenko L.A., Hryshko V.V. INCREASING THE INTERACTION EFFICIENCY OF RAILWAY AND WATER TRANSPORT BY DETERMINING RATIONAL SIZES OF MOTION.....	175

Chernousenko O.Yu., Butovsky L.S., Hranovska O.O., Moroz O.S., Starchenko O.S. THE STABILITY OF THE COMBUSTION PROCESS ON «POOR» FLAME OUT IN CONDITION OF THE MICROFLAME BURNING OF THE GAS BEHIND THE STABILIZER	182
---	-----

CONSTRUCTION

Azizov T.N., Orlova O.M. THE DETERMINATION OF MUTUAL MOVEMENT OF THE BORDERS OF NORMAL CRACK UNDER THE CONDITION OF REINFORCED CONCRETE I-BEAM ELEMENTS TORSION	189
---	-----

Zuievskaya N.V., Shaidetska L.V., Gubashova V.Ye. PECULIARITIES OF FORMATION OF THE JET-GROUTED ELEMENTS IN PEAT CLAY LOAM.....	198
---	-----

Kravchenko S.A., Stolevich I.A., Kostyuk A.I., Stolevich O.I. OPTIMIZATION OF PROPERTIES OF EXPANDED CLAYDITE-CONCRETE MIXES AND CONCRETES ON CARBONATE SAND	204
---	-----

Chichulin V.P., Chichulina K.V. ASSESSMENT OF FRAME RELIABILITY BASED ON THE MOST PROBABILITY FAILURE MECHANISM.....	211
---	-----

GEODESY

Wen Mingming, Mamonov K.A., Frolov V.O. LAND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE REGION: ANALYSIS AND PRACTICE OF THE USE OF THE TERRITORIES OF THE COASTAL CITIES OF CHINA ¹	218
---	-----

Dorozhko Ye.V. DEVELOPMENT OF CROSS-CUTTING AUTOMATED PROCESSING TECHNOLOGY FOR GEODETIC MEASUREMENT RESULTS IN THE DESIGN OF HIGHWAY OVERHAUL	225
---	-----

Pomortseva O.E. INCREASING EFFICIENCY OF DESIGNING A TRANSPORT ROUTE USING A GIS.....	230
---	-----

ELECTRONICS

Makarenko V.V., Lukashev O.Yu. THE INFLUENCE OF DC/DC CONVERTER TOPOLOGY ON THE LEVEL OF CREATED ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE.....	235
---	-----

Makarenko V.V., Savchenko Y.G. FEATURES OF USE OF STRUCTURAL EXTRAORDINARY TO ENSURE THE RELIABILITY OF ANALOG ELECTRONIC EQUIPMENT.....	244
---	-----

Furs T.V. RESEARCH OF SURFACE AND VOLUME CONDUCTIVITY OF DETECTOR PbI ₂ STRUCTURES	252
---	-----

INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	257
---------------------------------------	-----

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/01>

Ваннічна В.В.

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

Виноградова О.П.

Інститут надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля Національної академії наук України

РОЗШИРЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ СИРОВИНИ ЩЕБЕНЕВОГО КАР'ЄРУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

У роботі обґрунтовано використання технології обробки природного каменю дисковим алмазним інструментом у поєднанні з буровибуховим способом видобування сировини. Розроблена технологічна лінія, що дозволяє отримати блок граніту правильної форми з тріщинуватістю не більше 100 мт, що придатний по макроеометричних параметрах як облицювальна сировина.

Була проведена експрес-діагностика за допомогою мікроскопа ЛомоМетам Р-1 (після розпилу зразків) із метою порівняння отриманих значень мікротріщинуватості (сіро-червоний – 10–60 мт, червоний – 230–400 мт). У результаті аналізу проб продуктів руйнування (шламу) методом магнітної сепарації з використанням мікроскопу ЛомоМетам при різних режимах різання алмазним дисковим інструментом встановлено, що при другому різанні з подачею столу верстату 800 мм/хв відколюються частинки шламу зі значними габаритними розмірами до 900 мт, у порівнянні з подачею столу верстата 315 мм/хв із товщиною 200–300 мт, тому процес різання менш енергомісткий, проте відбувається пошкодження поверхні зразка.

Портативним профілометром проводилися вимірювання поверхні шорсткості й тріщинуватості зразків відповідно до ДСТУ Б EN 1467:2007. Визначений економічний технологічний режим різання дисковим інструментом, який впливає на шорсткість досліджуваного зразка таким чином, що зменшує затрати на полірувальні роботи.

Під час видобутку й перероблення природного каменю частка витрат пов'язана зі зносом дорогого алмазного інструменту, водночас зношення інструменту сильно залежить від режимів його експлуатації. В області раціональних режимів під час експлуатації видобувного обладнання вартість алмазного інструменту становить 75% від загальної вартості витрат на відділення блоку від масиву, а при експлуатації переробного – 52% від вартості операції на оброблення. Цей показник значно зростає, якщо алмазний інструмент використовується в режимах, відмінних від раціональних. Тому з метою зниження собівартості й підвищення конкурентоспроможності готової продукції виробів із природного каменю необхідно встановити раціональні режими пиляння, фрезерування та шліфування алмазним інструментом, під час яких витрата алмазного інструменту буде мінімальною.

Ключові слова: *блоки природного каменю, щебеневий кар'єр, граніт, алмазний дисковий інструмент, тріщинуватість, шорсткість.*

Постановка проблеми. Родовища блокового декоративного каменю України мають сприятливі гірничо-геологічні умови залягання, невелику потужність покривних порід і видобуваються виключно відкритим способом. Під час видобування порід повинні бути збережені міцнісні властивості й декоративна якість гірської породи. Крім цього, визначальними є розміри видобутих

блоків, що зумовлено природною тріщинуватістю та обладнанням, яке застосовується під час видобування. Вихід готових блоків знаходиться в межах від 6–10 до 50–60% від об'єму розроблюваних порід.

Природний камінь – цінний декоративно-облицювальний і оздоблювальний матеріал. Але на деяких кар'єрах, які працюють на бут і щебінь,

втрачається ця цінність, тому що відсутній обґрунтований комплекс розробок, який би дозволив видобуток мало тріщинуватих гранітних блоків, що нині актуальне. Це дозволить підвищити технічні, економічні й екологічні показники ефективності виробничої діяльності такого щабелевого кар'єру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес руйнування гірських порід характеризується особливостями їхньої тріщинуватої структури. Фізичні закономірності зародження та розвитку тріщин лежать в основі теорій міцності А. Гріффітса, Е. Орована, Дж. Ірвіна й інших вчених.

Вихід блоків із гірської маси залежить від системи тріщинуватості масивів і способів видобування блоків. Система тріщинуватості, напрямки, кути падіння та частота тріщин – основні фактори, які впливають на розміри можливих для видобування блоків і процент їхнього виходу з гірської маси [1–5].

Однією з найважливіших технічних характеристик облицювального каменю є його довговічність, тобто здатність каменю чинити опір різного виду зовнішнім впливам, зберігаючи свої властивості в певних умовах експлуатації.

Фізико-механічні параметри порід поділяють на деформаційні, міцнісні, реологічні. В роботах [1–3] розглядається актуальне питання щодо встановлення зв'язку між фізико-механічними властивостями каменю та його довговічності.

Постановка завдання. Метою роботи є розширення номенклатури сировини щабелевого кар'єру з метою отримання облицювальної продукції з природного каменю. Встановлення режимів роботи алмазного дискового інструменту, під час яких напрацювання його буде максимальним, а експлуатаційні витрати на процес обробки – мінімальними, є актуальним завданням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для практичних досліджень використовувалися зразки гранітного каменю з різних ділянок одного кар'єру, які були видобуті на Звірківському родовищі гранітів за допомогою вибухової технології (рис. 1, 2). Їх умовно можна поділити на 2 групи. До групи № 1 були віднесені зразки з червоним відтінком. Цю групу можна віднести до сильно тріщинуватої породи, яка вивітрилася. До групи № 2 були віднесені породи, які мають сіро-рожевий колір [6].

У процесі обробки кам'яних блоків до отримання готових виробів матеріал проходить кілька технологічних стадій: видобування блоків, розпилювання блоків, полірування блоків.

Робочий процес, у результаті якого камінь набуває заданої форми й розміру, а лицьова поверхня – задану фактуру, заведено називати обробкою каменю [7]. Розпилювання відбувається канатною або дисковою пилкою. Після розпилу від блоку залишаються гранітні плити («сляби») з неполірованими по обидва боки поверхнями й шлам (гранітний пил).

В каменеобробній промисловості найширшого розповсюдження набули способи різання, що базуються на використанні алмазних дискових пил, які є продуктивнішим інструментом з усіх відомих у цій галузі. Саме цим способом було здійснено розпилювання досліджуваних зразків (рис. 3).



Рис. 1. Вибухова технологія видобування: а) бурові роботи (буріння свердловин); б) розкол внаслідок проведення бурових вибухових робіт



Рис. 2. Граніти Звірківського родовища, які були видобуті методом багато вибійних свердловин: а) червоний граніт; б) сірий шаруватий граніт

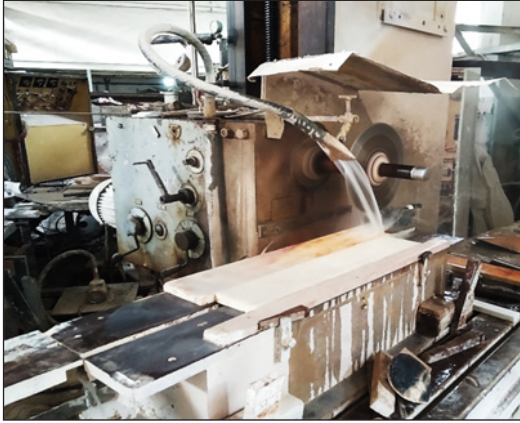


Рис. 3. Горизонтально-фрезерний верстат

Різання здійснене алмазним дисковим інструментом із такими параметрами: діаметр диску – 250 мм, товщина алмазного шару – 2,1 мм, його зернистість – 300/250 (це числа характеристика алмазних кругів, на значення якої безпосередньо впливають розміри алмазних зерен і їхня концентрація на робочих поверхнях інструментів) за різних режимів (рис. 4), швидкість пилки незмінна – 1600 хв⁻¹. Швидкість пересування столу була різною при двох різках – червоний зразок 1 різ – 800 мм/хв, 2 різ – 315 мм/хв; сіро-червоний – 1 різ – 315 мм/хв, 2 різ – 800 мм/хв.

Деформаційні властивості гірських порід визначаються багатьма сучасними методами. Найпростішим методом дефектоскопії є візуальний – неозброєним оком або за допомогою оптичних приладів. Він дозволяє виявити лише поверхневі дефекти. З розвитком сучасних технічних засобів можливо провести більш точну оцінку природного каменю. В роботі використовується методика дослідження, яка була розроблена кандидатом технічних наук, старшим науковим співробітником Інституту надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля В.А. Александровим [8], який застосовував мікроскопічний метод для вивчення робочої поверхні алмазно-абразивного інструмента. До основних параметрів, які характеризують робочу поверхню інструмента, відносяться форма, геометрія та робочий стан зерен, розподілення зерен і відстань між ними в об'ємі алмазного шару й на поверхні робочих елементів, розподіл зерен по

виступу над рівнем зв'язки. Проте в дослідженні вивчалася не робоча поверхня алмазної пилки, а поверхня каменю після розпилювання під час варіювання режимів експлуатації однією пилкою за допомогою мікроскопа ЛомоМетам Р-1, оснащеного CCD відеокамерою Digital КОСОМ, підключеного до персональної електронної обчислювальної машини [9]. За допомогою мікроскопа на поверхні розпилу блоку були виявлені тріщини l_{1-10} , які безпосередньо впливають на міцнісні характеристики гірської породи. Виявлено, що червоний зразок граніту, взятий зі Звірківського родовища, не придатний для декоративно-оздоблювального матеріалу, тому що глибина тріщин коливається в межах від 230 до 400 μm (вимірювання проведені методом «палетки» й належать до вимірювання довжини тріщин [10], а також має великі площі вірогідного кварцового включення, які перевищують норми (25–30%), що також є причиною його непридатності для оздоблювальних робіт.

Крім визначення глибини тріщин, мікроскопічному дослідженню підлягала їхня довжина. Після фотографування тріщин за допомогою відеокамери персонального комп'ютера їхні контури окреслювали й виміряли довжину методом «палетки». Залежність кількості тріщин від їхньої довжини зведемо в таблицю 1 для побудови графіку розподілу кількості тріщин у залежності від їхнього розміру, кривої Гауса (рис. 5, рис. 6).

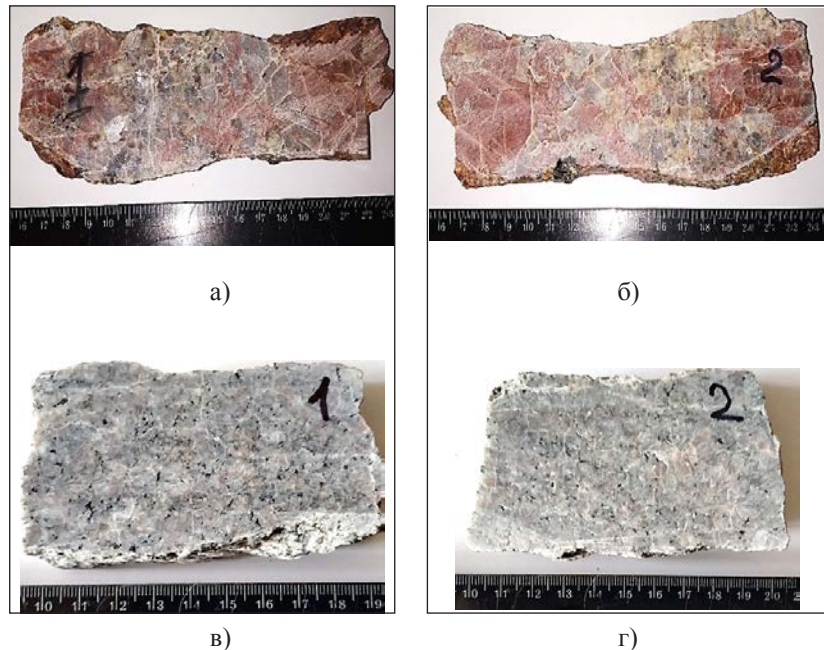


Рис. 4. Граніти Звірківського родовища, розпиляні алмазним дисковим інструментом за різних експлуатаційних режимів: а), б) червоний граніт; в), г) сіро-червоний граніт

Таблиця 1
Залежність кількості тріщин від їхньої довжини

1 різ – 315 мм/хв		2 різ – 800 мм/хв	
Розмір тріщин, μm	Кількість тріщин	Розмір тріщин, μm	Кількість тріщин
Сіро-червоний зразок			
646	12	963	4
1 268	9	1 469	7
1 864	6	4 236	4
4 635	12	6 872	7
6 956	2	1 0726	4
Червоний зразок			
1 різ – 800 мм/хв		2 різ – 315 мм/хв	
2 672	3	2 876	9
6 954	8	19 153	12
19 768	6	22 254	6
23 815	10	26 932	15
29 634	12	29 357	7

Отже, на підставі проведених мікроскопічних досліджень можна зробити висновок, що довжина тріщин на поверхні червоного граніту більша в середньому довжини тріщин на поверхні сіро-червоного граніту в 5,8 рази, відповідно відношенню довжин тріщин 26932 мкм (рис. 6, а) і 4635 (рис. 5, а) та досягає значення 11,9 раз при порівнянні довжин тріщин 22254 мкм (рис. 6, а) і 1864 мкм (рис. 5, а) при одному режимі подачі столу – 315 мм/хв. Крім того, кількість тріщин на поверхні червоного граніту при обох режимах експлуатації монотонно зростає зі збільшенням їхньої довжини, що свідчить про більш руйнівний процес пошкодження на поверхні каменю в порівнянні з інтенсивністю поширення тріщин

на поверхні блоку сіро-червоного граніту. Отже, згідно з мікроскопічним дослідженням, червоний граніт застосовувати для облицювальних робіт не рекомендується.

Що стосується реакції поверхні блоку сірого граніту на режими експлуатації, то під час збільшення швидкості стола горизонтально-фрезерного верстата довжина тріщин на поверхні блоку сірого граніту зростає, отже оптимальним режимом експлуатації алмазного сегментного круга для отримання якісної поверхні сірого граніту є режим подачі стола горизонтально-фрезерного верстата – 315 мм/хв.

Дослідження шорсткості поверхні зразків.

Будь-яка, навіть ретельно оброблена поверхня, не може бути повністю ідеально рівною. Значення гладкості й рівності поверхні в будь-якому випадку буде відрізнятися від заданого значення, тобто від номінального значення. Водночас відхилення може бути або макрогеометричне, або мікрогеометричне. Макрогеометричні відхилення можуть бути охарактеризовані хвилястістю поверхні зразка й невідповідністю форми. Мікрогеометричні відхилення, своєю чергою, визначаються як шорсткості поверхні – це сукупність мікронерівностей, які з'являються на поверхнях готових виробів. Водночас крок нерівностей, що приймається як шорсткість, повинен бути дуже малий щодо довжини всієї поверхні.

Виділяють три види шорсткості поверхні:

- вихідна шорсткість – виникає в результаті технологічної обробки виробу різними абразивами;

- експлуатаційна шорсткість – це шорсткість, яка виникає в процесі експлуатації в результаті зносу й робочого тертя;

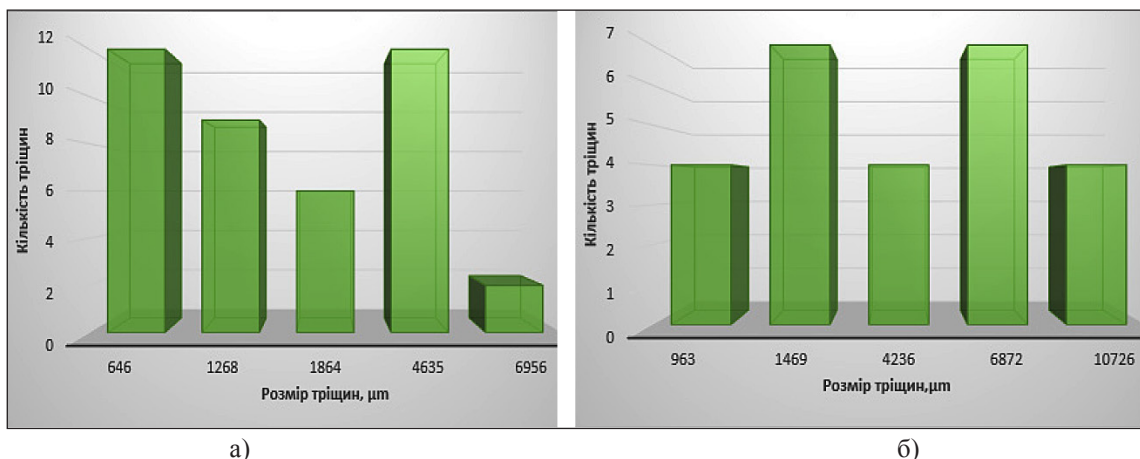


Рис. 5. Залежність кількості тріщин від їхньої довжини (зразок сіро-червоний): а) подача столу 315 мм/хв; б) подача столу 800 мм/хв

– рівноважна шорсткість – це вид експлуатаційної шорсткості, яку можна відтворити в стаціонарних умовах тертя.

Параметри шорсткості визначені в ГОСТ 2789–73 «Шорсткість поверхні. Параметри, характеристики і позначення» [11].

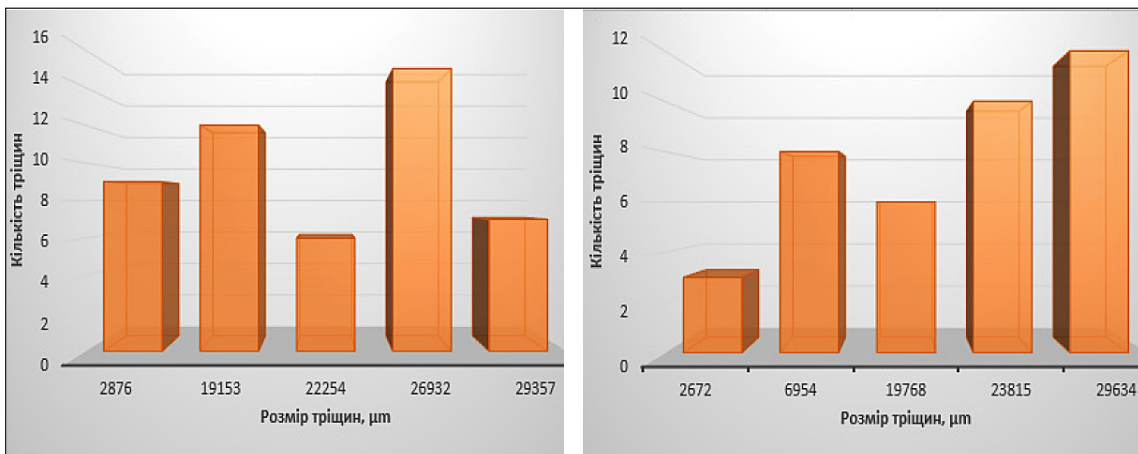
Оцінка шорсткості може здійснюватися двома способами: поелементно, шляхом порівняння окремих параметрів, або в комплексі, використовуючи порівняльний аналіз досліджуваного зразка з еталоном. Найбільш точним є поелементний спосіб, який здійснюється різними методами визначення шорсткості.

Щуповий метод вимірювання шорсткості поверхні – це контактний метод, вимірювання при якому здійснюється за допомогою профілометра. Профілометр є чутливим датчиком, обладнаним тонкою, гостро заточеною алмазною голкою. Алмазна голка притискається та переміщується паралельно

досліджуваній поверхні. У місцях виникнення мікронерівностей (виступів і западин) виникають механічні коливання вимірювальної головки голки. Ці коливання передаються в датчик, що перетворює механічну енергію коливання в електричний сигнал, який посилюється перетворювачем і вимірюється. Записані параметри цього сигналу в точності повторюють нерівності на шорсткій поверхні зразка.

Окрім профілометрів існують також профілографи, які дозволяють не просто виміряти, але й записати параметри шорсткого профілю. В дослідженнях використовувався портативний профілометр (цеховий) RT-10 Plus (рис. 7).

З попереднього пункту встановлено, що червоний зразок не відповідає вимогам Державного стандарту України (далі – ДСТУ) Б EN 1469: 2007 [12], тому подальший огляд й аналіз буде направлений лише на зразок граніту із сіро-червоним забарвленням.



а) б)
Рис. 6. Залежність кількості тріщин від їхньої довжини (зразок червоний): а) подача столу 315 мм/хв, б) подача столу 800 мм/хв



Рис. 7. Стенд для вимірювання шорсткості поверхні: 1 – дисплей персональної обчислювальної електронної машини; 2 – портативний профілометр (цеховий) RT-10 Plus; 3 – досліджуваний зразок

Дослідження шорсткості поверхні сіро-червоного граніту. Експерименти проводилися при подачі столу горизонтально-фрезерного верстата 315 мм/хв і 800 мм/хв. Вони показані на рис. 8 і 9.

Завдяки аналізу побудованих кривих шорсткості за допомогою профілографа ми можемо судити про геометричні параметри глибини й ширини пошкоджень на поверхні каменю. Шорсткість в обох випадках не значно змінюється, R_{max} відрізняється у 1,09 разів. Проте привертає увагу відстань між сплесками на графіку шорсткості поверхні, яка отримана під час режиму подачі стола горизонтально-фрезерного верстата 800 мм/хв, що досягає 100 мкм.

Навпаки, під час подачі стола 315 мм/хв спостерігаємо відстань між сплесками на графіку шорсткості, що не перевищує 50 мкм.

Отже, це свідчить про те, що раціональним режимом експлуатації алмазного сегментного відрізного круга для забезпечення якісної поверхні сірого граніту є режим подачі стола горизонтально-фрезерного верстата – 315 мм/хв.

Дослідження геометричних параметрів продуктів зношування. У результаті аналізу проб продуктів руйнування з використанням мікроскопу ЛомоМетам, оснащеного відеокамерою, представлено фрагменти продуктів руйнування гірської породи алмазним зерном і мікрочастинок

матричного матеріалу при різних режимах різання алмазним дисковим інструментом [9].

Показані продукти руйнування сірого граніту Звірківського родовища, отримані під час різі № 1 – 315 мм/хв алмазним сегментним відрізним кругом (рис. 10, 11).

Зображені продукти руйнування сірого граніту Звірківського родовища при різі № 2 – 800 мм/хв алмазним сегментним відрізним кругом (рис. 12, 13). Товщина частинок породи при таких експлуатаційних умовах коливається в межах від 50 до 900 мкм.

Висновки. Портативним профілометром проводилися вимірювання поверхні шорсткості й тріщинуватості зразків відповідно до ДСТУ Б EN 1467: 2007. Визначений економічний технологічний режим різання дисковим інструментом, який впливає на шорсткість досліджуваного зразка, таким чином, що зменшує затрати на полірувальні роботи. Враховуючи ДСТУ Б EN 1467: 2007, можна зробити висновок, що зразок сіро-червоного граніту придатний для використання в оздоблювальних роботах, а червоний граніт не відповідає цим вимогам [10; 13].

У результаті аналізу проб продуктів руйнування (шламу) методом магнітної сепарації з використанням мікроскопу ЛомоМетам при різних режимах різання алмазним дисковим інструментом встановлено, що під час другого різання

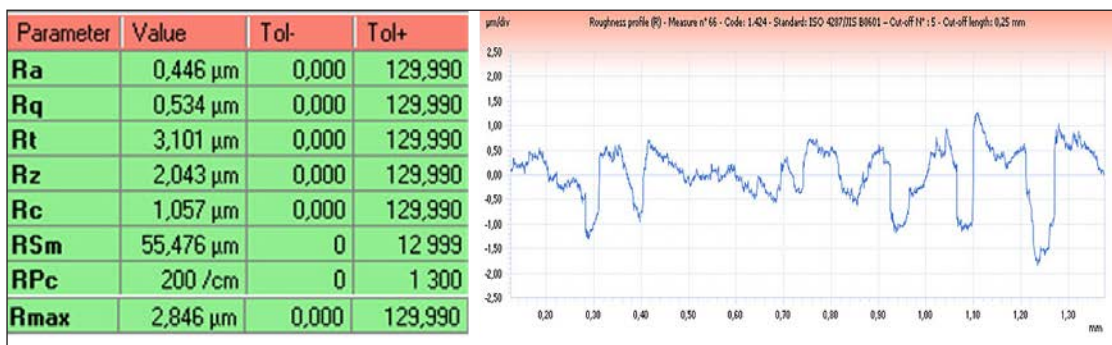


Рис. 8. Крива шорсткості профілю (1 різ – 315 мм / хв) та її показники

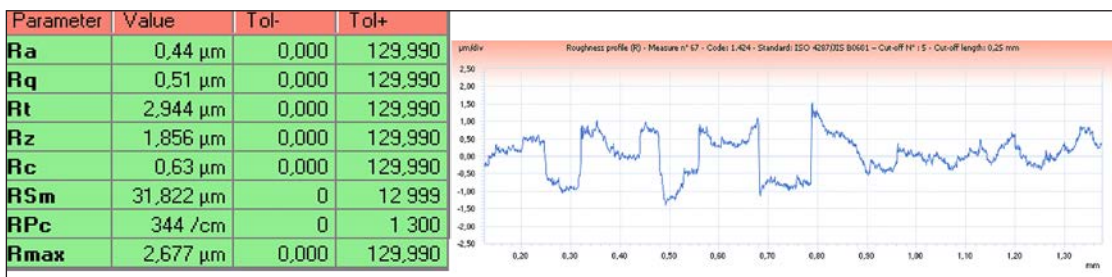


Рис. 9. Крива шорсткості профілю (2 різ – 800 мм / хв) та її показники

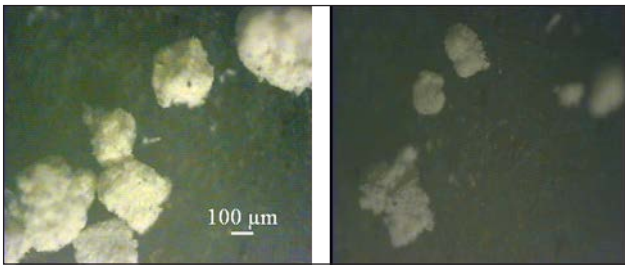


Рис. 10. Продукти руйнування граніту:
а) частинки товщиною 150–200 мкм; б) частинки товщиною 40–200 мкм

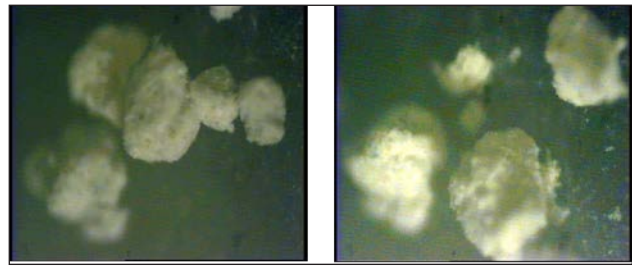


Рис. 11. Продукти руйнування граніту:
а) частинки товщиною 100–400 мкм; б) частинки товщиною 350–200 мкм

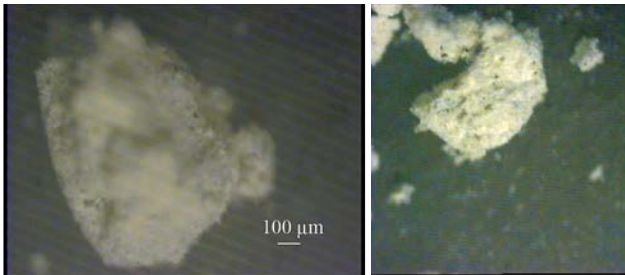


Рис. 12. Продукти руйнування граніту:
а) частинка товщиною 900 мкм; б) частинка товщиною 400 мкм

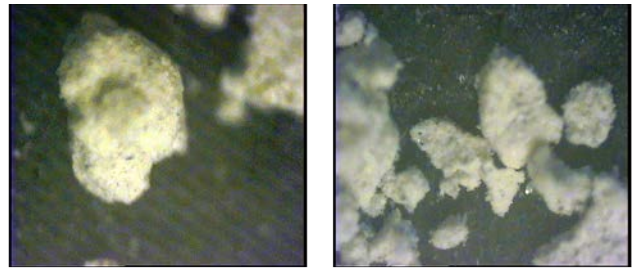


Рис. 13. Продукти руйнування граніту:
а) частинка товщиною 850 мкм; б) частинки товщиною 200–300 мкм

з подачею столу верстату 800 мм/хв відколюються частинки шламу зі значними габаритними розмірами до 900 μm у порівнянні з розмірами частинок 200–300 μm з подачею столу верстату 315 мм/хв. Тому, хоча процес різання з подачею столу верстату 800 мм/хв є менш енергомістким, проте відбувається інтенсивніше пошкодження поверхні зразка з відколюванням більш габаритних частинок продуктів руйнування породи.

На базі проведених мікроскопічних досліджень поверхні блоку сірого граніту, отриманих при двох режимах експлуатації алмазної дискової пилки, досліджень шорсткості вказаних поверхонь і мікроскопічних досліджень геометричних параметрів продуктів руйнування гірської породи, отриманих під час різання зазначеного блоку, було зроблено висновок, що раціональним режимом експлуатації алмазного сегментного відрізного круга для забезпечення якісної поверхні сірого граніту для подальшого його застосування в облицювальних роботах є

режим подачі столу горизонтально-фрезерного верстата – 315 мм/хв.

У процесах видобутку й перероблення природного каменю основна частина витрат пов'язана зі зношуванням дорогого алмазного інструменту. Водночас зношування інструменту сильно залежить від режимів його експлуатації. Так, при експлуатації видобувного обладнання в області раціональних режимів вартість алмазного інструменту становить 75% від загальної вартості витрат на відділення блоку від масиву, а при експлуатації переробного – 52% від вартості операції на обробку. Якщо алмазний інструмент використовується в режимах, відмінних від раціональних, то цей показник значно зростає. Тому з метою зниження собівартості й підвищення конкурентоспроможності готової продукції виробів із природного каменю для облицювальних робіт необхідно встановити оптимальні режими пиляння, фрезерування та шліфування алмазним інструментом, під час яких витрата алмазного інструменту буде мінімальною, а якість поверхні каменю високою.

Список літератури:

1. Мясникова О.В., Шеков В.А. Исследование динамики поведения микротрещиноватости, наведенной взрывом в гранитах. *Геолого-технологические исследования промышленных минералов Финноскандии*. Петрозаводск : КарНЦРАН, 2003. С. 82–85.
2. Мясникова О.В., Шеков В. А Некоторые аспекты оценки разрушения горных пород. *Строительные материалы*. 2008. № 7. С. 26–27.

3. Мясникова О.В. Исследование микротрещиноватости изверженных горных пород при динамических нагрузках. *Связь поверхностных структур земной коры с глубинными* : материалы 14-й международной конференции. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2008. Ч. 2. С. 67–70.
4. Коробійчук В.В., Подчашинський Ю.О., Ремезова О.О., Соболевський Р.В. Розробка методики визначення геометричних ознак тріщинуватості зразків декоративного природного каменю. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях* : 7 ежегодная международная промышленная конференция и блиц-выставка, г. Славское, 12–16 февраля 2007 г. Славское, 2007. С. 298–300.
5. Соболевський Р.В., Левицький В.Г. Обґрунтування оптимальних технологічних параметрів видобування гранітних блоків на основі показників тріщинуватості. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2014. № 3. С. 48–52.
6. Барська Н.М., Соболевська М.Ф., Недавніх Н.О. Геолого-економічна оцінка дорозвіданих та залишкових запасів Звірківського родовища гранітів в Уманському районі Черкаської області : звіт партії нерудної сировини ДП «Центрукргеологія» НАК «Надра України». Черкаси, 2013. 251 с.
7. Орлов А.М. Добыча и обработка природного камня. Москва : Строиздат, 1977. 350 с.
8. Александров В.А., Мифлинг Д.М., Мельник В.А. Силовые и энергетические параметры при царапании гранита единичным алмазным зерном. *Сверхтвердые материалы*. 1985. № 3. С. 53–58.
9. Виноградова О.П. Руйнування гірських порід інструментом з функціональними елементами із композиційних алмазовмісних матеріалів : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.09. Київ, 2015. 196 с.
10. Люненко Т.О. Оптимізація використання блочного каменю для оздоблювальних робіт : дис. ... магістранта : 184 «Гірництво». Київ, 2019. 97 с.
11. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. Москва : Стандартинформ, 2018. 7с.
12. ДСТУ Б EN 1469: 2007. Вироби з природного каменю. Облицовальні плити. Вимоги (EN 1467: 2003, IDT) [Чинний від 2008-10-01]. Київ : Технічний комітет стандартизації ТК 305 «Будівельні вироби і матеріали», 2007. 38 с.
13. Горобчишин О.В., Гелета О.Л., Сергієнко І.А. Оцінка блиску полірованої поверхні декоративного каміння. *Коштовне та декоративне каміння*. 2011. Київ, ДГЦУ. № 3 (65). С. 12–15.

Vapnichna V.V., Vynohradova O.P. EXTENSION OF THE NOMENCLATURE OF RAW MATERIALS OF CRUSHED STONE QUARRY FOR OBTAINING FACING PRODUCTS FROM NATURAL STONE

The paper substantiates the use of the technology of natural stone processing with a diamond disk tool in combination with the drilling method of extraction of raw materials. The technological line allowing to get the block of granite of the correct form, with a fracture of not more than 100 μm , which is suitable for macro geometric parameters as a facing raw material, is developed.

Express diagnostics were performed using a LomMetam P-1 microscope (after spraying the samples) in order to compare the obtained micro crack values (gray-red – 10–60 μm , red – 230–400 μm). As a result of the analysis of samples of fracture products (sludge) by magnetic separation using a LomMet microscope, different cutting modes with a diamond disc tool, it is found that, at the second cutting, the sludge particles with significant dimensions of 900 μm / min are cut off with a large overall dimensions of μm , compared to the machine feed table of 315 μm / min with a thickness of 200–300 μm , so the cutting process is less energy intensive, but the surface of the sample is damaged.

The surface profiler measured the surface roughness and fracture of the specimens according to DSTU B EN 1467: 2007. The economic technological mode of cutting by a disk tool which influences the roughness of the test specimen is determined in such a way that reduces the cost of polishing works.

In the process of extraction and processing of natural stone, the major part of the cost is associated with the wear and tear of an expensive diamond tool. In this case, the tool wear is highly dependent on its operating modes. Thus, when operating mining equipment in the field of rational modes, the cost of the diamond tool is 75% of the total cost of separation of the block from the array, and in the operation of processing – 52% of the cost of the processing operation. If the diamond tool is used in modes other than rational, then this figure increases significantly. Therefore, in order to reduce the cost and increase the competitiveness of the finished products of natural stone products, it is necessary to establish rational sawing, milling and grinding modes with a diamond tool, in which the consumption of the diamond tool will be minimal.

Key words: blocks of natural stone, rubble quarry, granite, diamond disc tool, fracture, roughness.

УДК 669.168.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/02>**Нежурин В.И.**

Национальная металлургическая академия Украины

Николенко А.В.

Национальная металлургическая академия Украины

Куваев В.Ю.

Национальная металлургическая академия Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГАЗОДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ВАННЫ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ РПЗ-48(63) ПРИ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА

Проблема підтримки оптимального електричного, електродного та шихтового режимів роботи шахтних руднотермічних електропечей потребує забезпечення раціонального газодинамічного режиму плавки. Проаналізовано літературні джерела з дослідження газодинаміки діючих руднотермічних печей. Найбільша кількість досліджень належить до доменного виробництва, дослідження електроферосплавних процесів обмежені характеристикою газопилових складників газів підсводового простору закритих печей, дослідженнями процесів газодинаміки в печах для отримання ферохрому, характеристиками шихт. Наразі для дослідження таких процесів використовують тільки математичні моделі. Представлена робота має на меті визначення взаємозв'язку показників роботи діючої промислової печі за допомогою факторного аналізу, експериментальне дослідження газодинамічних особливостей електропечі РПЗ-48(63) під час її роботи з високими та стійкими показниками, отримання залежностей, які описують розподілення тиску, температур, компонентів пічних газів по висоті приелектродної зони ванни печі, лабораторні дослідження впливу фракційного складу шихти на її газодинаміку з урахуванням раніше отриманих залежностей для діючої печі, підбір оптимального гранулометричного складу шихти, яка використовується, та проведення дослідної кампанії з оцінкою роботи електропечі з погляду отриманих результатів. Для дослідження впливу гранулометричного складу компонентів шихти феросилікомарганцю на загальну газодинаміку використовувалась спеціальна експериментальна установка. Виявлено оптимальний склад компонентів шихти фракції «-5мм», зокрема, для коксика не більше 7%, для агломерату – не більш ніж 15%. В цьому випадку загальний вміст фракції «-5 мм» в шихті феросилікомарганцю складе від 13% до 15%. Робота печі на запропонованому фракційному складі компонентів шихтових матеріалів забезпечує достатньо високі техніко-економічні показники виробництва товарного феросилікомарганцю.

Ключові слова: рудовідновлювальна (руднотермічна) електропіч, феросилікомарганець, режими роботи, гранулометричний склад шихти, газодинамічні властивості вмісту приелектродної зони, факторний аналіз.

Постановка проблеми. Решение задачи поддержания оптимального электрического, электродного, шихтового, а следовательно, и газового режимов конкретного технологического процесса в рудовосстановительных электропечах (РВП) обеспечивается выбором научно обоснованных геометрических параметров ванны печи и печного контура, поддержанием необходимого электрического режима плавки, что создает рациональное,

с точки зрения термодинамики процесса, распределение вводимой энергии в рабочем пространстве ванны печи. Оптимальный шихтовый режим работы печи должен обеспечивать не только требуемое соотношение рудной части сырья и восстановителя, возможно более высокое удельное электросопротивление шихты, связанный с ним гранулометрический состав компонентов шихты, но и удовлетворительную газодинамику ванны

в процессе получения сплава. Поскольку работа электропечи сводится к наличию противотока, то есть непрерывного движения шихты вниз, в зону протекания химических реакций, и встречного движения полупродуктов и продуктов высокотемпературных процессов к колошнику в объеме зоны схода шихтовых материалов, газодинамика ванны оказывает существенное влияние на ход технологического процесса и электрический режим работы печи для каждого конкретного сплава.

Основная задача исследования газодинамики – нахождение полей скорости, давления и плотности газа, движущегося под действием внешних сил: $v_{x,y,z} = f_{1,2,3}(x,y,z,t)$, $p = f_4(x,y,z,t)$, $\rho = f_5(x,y,z,t)$. Ввиду сложности системы уравнений газодинамики нахождение ее решений аналитическим методом сопряжено с большими трудностями и возможно лишь для простых случаев движения газов. Анализ известных литературных источников [1, с. 32–56; 2; 3; 4] показывает, что вопросы газодинамики процессов наиболее разработаны в доменном и агломерационном производстве. Исследование действующих рудовосстановительных электропечей предусматривало, в основном, исследование распределения температур, потенциалов, удельной активной мощности в рабочем пространстве ванны печи. Часть работ посвящена исследованию удельного электросопротивления (УЭС) шихтовых материалов различного фракционного состава и его влияния на электрический режим технологического процесса получения сплава [5; 6]. В работе [7, с. 58–72] приведены результаты исследования газового и пылевого режимов работы электропечей лишь на их колошнике, однако исследования непосредственно в рабочем пространстве печей авторами не проводились. В работе приводится приближенная формула потери напора газа в слое шихтовых материалов на пути газов от фокусов нагрева под электродами до поверхности колошника. Приведены расчеты газодинамического сопротивления слоя шихты вокруг электрода в загрузочной воронке и обечайке над ней, рассчитаны потери колошниковога газа через зазоры вокруг электродов при давлении 0,5 мм вод. ст. под сводом печи для выплавки ферросилиция. Ряд работ [8; 9] посвящены вопросам расчета объемного расхода отходящих газов закрытых ферросплавных электропечей, влиянию влажности марганцевой руды на газопроницаемость марганцевого агломерата при производстве высокоуглероди-

стого ферромарганца, характеристикам пылегазовых выбросов при производстве ферросплавов, механизму образования пыли при выплавке кремнистых и марганцевых сплавов. Достаточно обширно вопрос исследования газодинамики ванны закрытой печи представлен в работе [10]. Отмечено, что углетермические процессы выплавки ферросплавов сопровождаются выделением большого количества газов, образующихся в результате восстановительных реакций. Очевидно, что изменение состава и количества газов непосредственно отражает ход процессов. Причем полнота полезного использования химической и физической энергии газового потока зависит от распределения газодинамического сопротивления шихты по глубине ванны. Автор проанализирован противоток шихты и газов при выплавке углеродистого феррохрома. Определено давление, состав газов и пыли по глубине ванны печи. Избыточное давление в ванне изменялось от 5 до 180 мм вод. ст. Наибольшее давление наблюдалось на глубине 1 400–2 200 мм от верхнего уровня ванны при температуре 1 200–1 600°C. Вероятно, это было связано с развитием химических реакций и измельчением кусков хромовой руды, что приводило к уменьшению порозности слоя. По исследованию автора давление возрастает по мере увеличения расстояния от колошника вглубь ванны и при приближении к электроду. Обвалы шихты, «свищи» приводят к кратковременному местному увеличению давления до 400–450 мм вод. ст. Перемещение электродов в процессе плавки не оказывает заметного влияния на давление газов на каждом из горизонтов ванны. Автор установил, что повышенное содержание двуокиси углерода на поверхности колошника связано с частичным окислением окиси углерода. На основании результатов опытов высказано предположение, что двуокись углерода в ванне печи образуется в результате взаимодействия окиси углерода с ненасыщенными сложными карбидами железа и хрома. Концентрация кислорода на поверхности колошника составляет 0,5%. В глубине ванны кислород в газовой фазе не обнаружен. Содержание окиси углерода на глубине ванны колеблется в пределах от 81 до 88% при температурах 1 300–1 400°C. До глубины 1 100 мм содержание пыли в газе остается постоянным и равным 2,35 г/м³. Резкое увеличение запыленности отмечается на глубине 1 100–1300 мм при температурах 1 100–1 350°C, что связано с началом восстановительного процесса.

Достаточно полно и обоснованно результаты лабораторных исследований газодинамических свойств шихтовых материалов ферромарганцевых и ферросиликомарганцевых печей изложены в [11]. Авторы отмечают, что при существующем качестве шихтовых материалов и глубине ванн более 4 000 мм газопроницаемость шихты существенно снижается. К увеличению количества колошниковых газов приводит и повышение единичной мощности печей. Восстановительный печной газ, накапливаясь в реакционной зоне, создает высокое давление, в результате на колошнике или у электрода наблюдается выброс газа и шихты. Это приводит к дополнительным потерям тепла и марганца с отходящими газами, затрудняет ход технологического процесса и ухудшает его технико-экономические показатели. В настоящее время работы в этом направлении ведутся на основе создания математических моделей процессов [12].

Постановка задания. Целью статьи является исследование особенностей газодинамики рабочего пространства ванны действующей электропечи рпз-48(63) при выплавке ферросиликомарганца.

Учитывая вышеизложенное, представленная работа предполагает определение взаимосвязи показателей работы печи с помощью факторного анализа, исследование газодинамических особенностей рудовосстановительной электропечи РПЗ-48(63) во время ее работы с наиболее высокими и устойчивыми показателями, получение зависимостей изменения основных газодинамических характеристик по высоте ванны действующей печи, лабораторные исследования влияния фракционного состава шихты на ее газодинамику и подбор оптимального гранулометрического состава с учетом ранее полученных зависимостей для действующей печи, оценку работы действующей электропечи с точки зрения полученных результатов.

Изложение основного материала исследования. Работу по исследованию особенностей газодинамики содержимого ванны печи можно условно разделить на 4 этапа.

1. С помощью факторного анализа (ФА) [13] исследовалась взаимосвязь технологических, электрических и газодинамических режимов работы прямоугольных печей для выплавки ферросиликомарганца. Как известно, коэффициент корреляции (КК) характеризует тесноту связи двух величин. Если какие-то две величины представить как единичные векторы,

то КК – это косинус угла между этими векторами. Множество корреляций записываются как матрица коэффициентов корреляций (МКК). Геометрически – это пучок единичных векторов, выходящих из одной точки. МКК получают при корреляционно-регрессионной (первичной) обработке данных. С помощью ФА из матрицы КК выделяют факторы, которые геометрически интерпретируются как оси, выходящие из одной центральной точки, и группирующие вокруг себя пучки наиболее тесно связанных КК. Проекция каждого единичного вектора от КК на такую ось и даст факторную нагрузку, которая, также как и КК, измеряется в пределах от -1 до $+1$. По абсолютной величине переменных (т.е. их нагрузок) представляется возможным судить о качественном содержании фактора. При этом нагрузки $\leq 0,1$ считаются незначимыми, то есть нулевыми. В нашем случае каждая ось (фактор) – это слой соответствующих шихтовых материалов рабочего пространства печи. ФА работы печи РПЗ-48(63) позволил выделить 2 фактора (рис.1), которые группируют между собой 26 выбранных характеристик [14]. На рисунке 1 они представлены в виде координатных осей, а результаты расчётов – в табл.1. На печи имеется три фазы состояния вещества: твёрдое, жидкое – расплавы шлака и металла и газообразные продукты. По этим фазам и идёт распределение факторных нагрузок. Шлак и шихта определяют один фактор, а газ и металл – второй. Количество металла пропорционально выделенному теплу (о тепловой энергии судят по мощности (P) и по расходу электроэнергии (MWG)). Как видно, количество газа (M3) пропорционально восстановленному металлу (Me). На одной оси расположены такие переменные, как количество шлака и основные составляющие шихты: агломерат, кокс, кварцит (Agl, Koks, Kvt). На другой оси – мощность, выделяемая в объеме печи, которая влияет на выход газа. Выход водорода и кислорода говорит о влажности шихты, что согласуется с результатами исследований ряда авторов. То, что мощность (P) и расход электроэнергии (MWG) лежат рядом, говорит о минимуме простоев. Количество шлака (Slak) связано с количеством Mn в нём (Mn_sk). При недостаточной интенсивности процесса восстановления растут и количество шлака и процент (Mn) в нём. Содержание Mn в сплаве (Mn_me) зависит от перехода (Mn) \rightarrow [Mn], то есть перехода ведущего элемента из шлака в металл, поэтому вполне логично, что содержание Mn в металле (Mn_me) лежит на оси шлака.

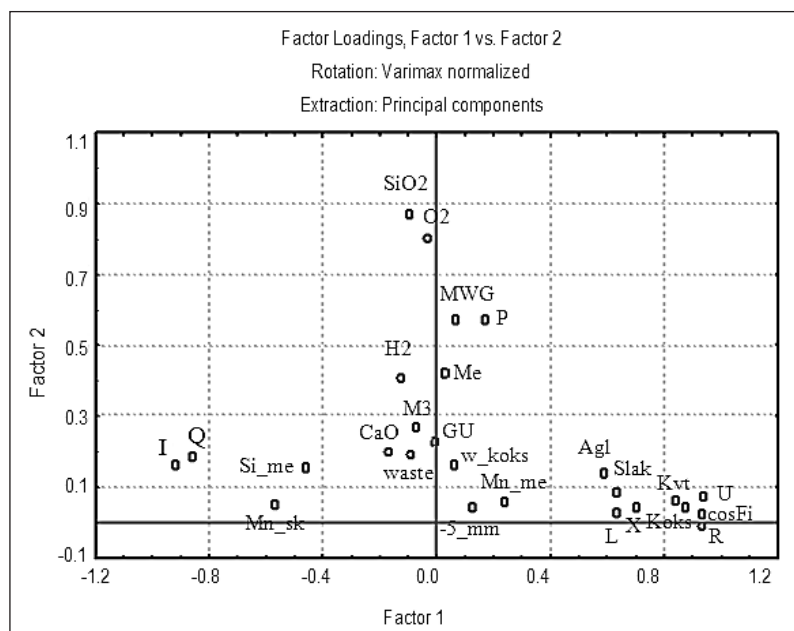


Рис. 1. Сведение 26-ти наблюдаемых переменных (с посменным усреднением) к 2-м факторам, которые соответствуют 2-м слоям рабочего пространства ванны печи (описание обозначений переменных – в табл. 1)

Также содержание [Si] указывает на горячий или холодный ход процесса, что в свою очередь связано с количеством шлака. Количество введенной энергии в большей степени влияет на процессы восстановления, а следовательно, и на состав шлака. При интенсификации процесса восстановления Mn из (Mn) шлака количество (SiO₂) в шлаке будет возрастать, так как Mn восстанавливается легче, чем кремний. Поэтому (SiO₂) лежит на оси «металла». При нормальной посадке электродов нижние слои ванны становятся более прогретыми, что способствует процессам восстановления. Это означает, что если имеется связь электрических параметров с выплавленным металлом (Me), то посадка электродов оптимальна. Отрицательное (или про-

Таблица 1

Нагрузки 26-ти наблюдаемых переменных на факторные оси, которые соответствуют 2-м слоям рабочего пространства ванны печи

№	Обозначение	Физический смысл	Факторы	
1	Me	Выплавленный сплав	.03	.42
2	Si_me	Содержание кремния в сплаве	-.46	.15
3	Mn_me	Содержание марганца в сплаве	.24	.06
4	Slak	Количество шлака	.63	.09
5	Mn_sk	Содержание Mn в шлаке	-.57	.05
6	SiO2	Содержание SiO ₂ в шлаке	-.1	.87
7	CaO	Содержание CaO в шлаке	-.17	.20
8	M3	Выходящий газ	-.04	.25
9	H2	Содержание H ₂ в газе	-.13	.41
10	O2	Содержание O ₂ в газе	-.03	.80
11	MWG	Расход электроэнергии	.07	.57
12	P	Активная мощность	.17	.57
13	Q	Реактивная мощность	-.86	.18
14	cosFi	Коэффициент использования мощности	.93	.02
15	Agl	Количество агломерата	.59	.14
16	Kvt	Количество кварцита	.84	.06
17	Koks	Количество кокса	.87	.04
18	GU	Количество газового угля	-.01	.23
19	waste	Количество отходов	-.09	.19
20	w_koks	Влажность кокса	.06	.16
21	-5_mm	Отсев – 5 мм	.13	.04
22	L	Перепуск электродов	.63	.03
23	R	Активное сопротивление печи	.93	-.01
24	X	Реактивное сопротивление печи	.70	.04
25	I	Ток	-.92	.16
26	U	Напряжение	.94	.07

тивоположное) значение тока на факторной оси «Металл-электропараметры» объясняется тем, что ток связан с сопротивлением обратной зависимостью. Рост перепуска должен уменьшать омическое сопротивление. Однако перепуск (L) и сопротивление (R) находятся рядом на одной оси, так как перепуск просто автоматически увеличивают при росте сопротивления. Таким образом, проведенный анализ показывает, что факторами являются два слоя объема рабочего пространства печной ванны, один из которых охватывает шихтово-шлаковую зону, а второй – шлако-металлическую зону ванны печи.

Поэтому становится возможным объяснить, почему кокс и газовый уголь относятся к разным факторам. Кокс вступает в реакцию раньше, а газовый уголь, как менее активный компонент, достигает большей глубины реакционной зоны печи (рис. 1). При обработке выборки с данными по каждому из электродов удается получить более 5-ти факторов, которые затем представляются как новые переменные для нахождения факторов 2-го порядка. Полученную структуру представляется возможным использовать для общего анализа процессов восстановления в электропечах, однако детальное изучение газодинамических процессов в ванне печи требует их глубокого экспериментального исследования.

2. На действующей ферросплавной прямоугольной электропечи РПЗ-48(63), выплавляющей товарный ферросиликомарганец, выполнялись экспериментальные исследования газодинамических свойств содержимого ванны (распределения температуры, давления, состава печных газов на разном уровне от поверхности колошника) в диапазоне рабочих значений активной мощности (48-50 МВт). Исследования проводились с применением усовершенствованной методики изучения строения рабочего пространства ванны, измерения распределения температур, давления и состава печного газа в объеме зоны схода шихтовых материалов и реакционной зоны (при выплавке ферросиликомарганца ширина зоны схода составляет 0,8–1,0 м), с учетом геометрии рабочего пространства ванны и электротехнологического режима выплавки сплава [15; 16; 17; 18; 19; 20; 21].

Измерения температур и давлений осуществлялось через взрывной клапан у V-го электрода под разными углами с таким расчетом, что точки замеров располагались в одной плоскости по вертикали приэлектродной зоны (на удалении 0,35 м от боковой поверхности электрода). Нижняя точка

замеров соответствовала давлению и температуре части шихты на глубине ванны 2,5 м, где их значения соответственно составляли 2,04 атм (20,5 кПа) и 1250 С. Верхняя точка располагалась на колошнике с заглублением в шихту на 100–150 мм. Полученные результаты позволили построить графики изменения температуры и давления в сечении приэлектродной зоны печи, которые удалось описать следующими соотношениями:

$$p = 0,6646259 \exp(1,3462069 H), \text{ Па}; \quad (1)$$

$$t = 0,8093058 H^2 + 436,7442097 H + 184,8101423, \text{ }^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где H – глубина ванны печи от поверхности колошника.

Что касается содержания основных компонентов печных газов, таких как CO и CO₂, то самое высокое содержание CO отмечалось в нижней точке замеров и наоборот. Низкое содержание CO₂ в этой точке связано, по-видимому, с тем, что образующийся здесь же преимущественно CO полностью участвует в химических реакциях восстановления ведущего элемента. Изменение содержания CO и CO₂ по высоте приэлектродной зоны также удалось описать соответствующими зависимостями:

$$\text{CO, \%} = (1,4985915 \cdot 10^{-5}) t^2 + 0,0556394 t - 16,648169; \quad (3)$$

$$\text{CO}_2, \% = - (1,5143662 \cdot 10^{-5}) t^2 - 0,0012777 t + 23,7286761, \quad (4)$$

где t – температура в объеме приэлектродного пространства электропечи.

Вся серия измерений проводилась при следующих параметрах режима работы электрода: мощность на пятом электроде – 7,0–7,5 МВт, ступень печного трансформатора – 10, напряжение фазы – 200 В, ток электрода – 90–95 кА, активное сопротивление электрода 0,05–0,06 мОм, реактивная мощность печи 26–27 Мвар и одинаковом составе компонентов колоши шихты ферросиликомарганца: агломерат АМНВ-2 – 1 660 кг, газовый уголь – 50 кг, коксик сухой – 350 кг, кварцит – 320 кг, отходы – 150 кг, смесь – 50 кг. Печь работала с высокими и устойчивыми показателями.

3. Для выбора оптимального гранулометрического состава компонентов шихты ферросиликомарганца использовалась специально изготовленная с учетом критериев подобия экспериментальная установка, представляющая собой

фрагмент рабочего пространства ванны печи у электрода, включающая стальной цилиндр, снабженный равномерно расположенными импульсными трубками, в которую помещалась модель электрода, причем ширина приэлектродной зоны в соответствии с теорией подобия соответствовала размерам зоны действующей печи. Подача сжатого воздуха с подобным измеренному на действующей печи значением обеспечивалась с нижней части установки. Предложенная установка уменьшала влияние сегрегации образца на полученные результаты, что достигалось соответствующей конструкцией и расположением импульсных трубок. Установка позволила получать газодинамические характеристики шихтовых материалов (зависимость потери напора по высоте слоя), как при температуре 20°C, так в дальнейшем и при нагреве нижней части цилиндра установки (посредством устанавливаемых ленточных нихромовых нагревателей), то есть моделировались условия по возможности адекватные условиям ванны действующей печи. После нагрева до температуры 800°C (при которой начинались процессы оплавления компонентов шихты, в первую очередь агломерата) нагреватели отключались, в патрубок нижней части установки подавался сжатый воздух давлением 1,02 атм (10,25 кПа), давление в импульсных трубках измерялись манометрами. Нагрев шихтовых материалов в установке позволил получать порозность ее по высоте

приэлектродной зоны, соответствующую действующей печи. Оптимальный грансостав шихты подбирался на основании соответствия части зависимости, ранее полученной при измерении давлений в приэлектродной зоне действующей печи. Наибольшую практическую ценность представляли результаты, полученные при нагреве образца. Проводилось три серии экспериментов по четыре опыта в каждой. Содержание фракции «-5 мм» в кварците по результатам рассевов постоянно составляло 1%. Каждой серии исследований соответствовало содержание в шихте коксика фракции «-5 мм» соответственно 0%, 5%, 10%. Каждая серия включала 4 опыта, шихта в которых характеризовалась соответственно 5%, 10%, 20%, 40%-ным содержанием в агломерате АМНВ-2 фракции «-5 мм». Содержание фракции «+5»-«+20 мм» в агломерате уменьшалось пропорционально увеличению содержания фракции «-5 мм». Содержание фракции «+20 мм» в агломерате было постоянным и составляло 31%. С увеличением содержания фракции «-5 мм» пропорционально уменьшалось содержание фракции «+5»-«+20 мм» в навеске коксика. В результате обработки полученных данных измерений установлено оптимальное содержание компонентов шихты фракции «-5 мм», в частности, для коксика -5%, но не более 7%, для агломерата – не более 15%. В этом случае общее содержание фракции «-5 мм» в шихте ферросиликомарганца составит

Таблица 2

Технико-экономические показатели работы электропечи РПЗ-48(63) в период проведения исследований

№ п/п дня	P _п , МВт	Содержание фракции, %			Производительность		Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	Содерж. Мп в шлаке, %	Содерж. Мп в шихте, %
		Кокс «-5 мм»	Кокс «+25 мм»	АМНВ-2 «-5 мм»	физич. т	базов. т			
1	50	3-5	4-6	8-14	235.7	259.3	4080	8.2	40.1
2	50	2-4	6-8	22-25	269.2	296.1	4030	9.1	41.2
3	50	2-5	3-5	9-15	319.5	351.4	3442	10.2	40.2
4	50	4-5	3-6	7-10	294	312.5	3807	10.1	41.5
5	50	5-7	5-8	8-11	297.2	326.4	3705	10.1	41.8
6	48	3-6	5-6	7-10	282.5	309.7	3864	10.5	41.6
7	48	3-5	3-4	8-13	288.2	315.4	3819	10.2	42.0
8	48	3-5	3-5	9-10	284.5	309.4	3860	8.0	39.6
9	48	2-4	3-6	5-9	290.3	310.3	3822	8.0	40.2
10	48	3-5	3-6	10-12	279.3	300.6	3900	10.7	41.8
11	48	2-6	2-4	9-11	265.7	291.7	3990	10.5	40.0
12	48	2-5	3-4	9-11	288.9	317.6	3798	10.3	41.0
13	48	2-5	3-6	8-10	278.9	305.8	3943	9.1	38.3
14	48	3-5	5-7	17-20	264.7	291.2	3963	9.3	38.8
15	48	2-5	4-6	15-22	272.4	290.6	3937	10.1	38.2

от 13% до 15%. Полученные результаты дали возможность установить, контроль за какими фракциями компонентов шихты следует обеспечивать, чтобы оптимизировать газодинамические характеристики печи при выплавке товарного ферросиликомарганца.

4. Учитывая вышеизложенное, была проведена и проанализирована опытная кампания работы печи РПЗ-48(63), оцениваемая как с точки зрения рекомендуемого грансостава компонентов шихты, так и с точки зрения электрического режима и технико-экономических показателей процесса. Полученные результаты сведены в таблицу 2 и дают представление о целесообразности такой оценки. Содержание фракции «-5 мм» и «+25 мм» в коксике было практически одинаково в течение всего периода исследований. Анализ таблицы, электрических и газовых режимов работы печи позволил выделить наиболее представительные дни в работе печи: 13-й и 14-й, которые отличались по гранулометрическому составу шихты. При этом качественный состав исходной шихты был одинаков. Печь в обоих случаях работала на мощности 48 МВт, ток электродов-80-85 кА. Электрический и газовый режимы работы печи на 14-й день кампании характеризуется наличием пиков повышенного давления, что соответствует моментам обрушения шихты ввиду недостаточной ее газопроницаемости ввиду повышенного содержания мелкой фракции. Как следует из таблицы, работа печи на рекомендуемом фракционном составе компонентов шихтовых материалов (13-й день кампании) обеспечивает достаточно высокие технико-экономические показатели производства товарного ферросиликомарганца.

Подтверждена необходимость регулярного контроля гранулометрического состава шихты перед подачей в печь, возможность использования результатов исследований для контроля технологических параметров процесса выплавки ферросиликомарганца и в мощных герметичных электропечах.

Выводы. С помощью факторного анализа исследована взаимосвязь основных показателей работы прямоугольной печи РПЗ-48(63).

Выполнены исследования газодинамики рабочего пространства ванны действующей электропечи РПЗ-48(63) при работе с высокими и устойчивыми технологическими и электрическими режимами.

Получены уравнения, описывающие распределение давлений, температур, компонентов печных газов по высоте приэлектродной зоны ванны действующей печи.

На разработанной лабораторной установке проведены исследования газодинамики шихты с компонентами различного грансостава. Предложен оптимальный грансостав шихты ферросиликомарганца.

После анализа двухнедельной кампании печи РПЗ-48(63), с учетом ранее полученных результатов исследований, установлена взаимосвязь рекомендуемого фракционного состава шихты с технико-экономическими показателями выплавки ферросиликомарганца.

Предлагаемые результаты исследований могут быть использованы для оптимизации электротехнологических параметров выплавки ферросиликомарганца и в герметичных электропечах большой мощности.

Список литературы:

1. Коротич В.И. Газодинамика агломерационного процесса / В.И. Коротич, В.П. Пузанов. Москва : Металлургия, 1969. 208 с.
2. Мкртчян А.С. Исследование динамики доменного процесса. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1975. № 11. С. 781–786.
3. Гришкова А.А. Анализ скорости схода шихты в шахте доменной печи. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1980. № 2. С. 36–38.
4. Логинов В. И. Влияние структуры столба шихтовых материалов на ход доменного процесса. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1985. № 3. С. 11–14.
5. Кучер А.Г., Касьян В.В., Мироненко П.Ф., Садовский Н.Г. Электрическое сопротивление марганцевых концентратов и ферромарганцевых шихт. *Электротехническая промышленность. Электротермия*. 1975. № 6. С. 4–5.
6. Нежурин В.И., Махонь Г.М., Кравченко В.А., Рева С.И., Малкин Б.М. О влиянии контактных сопротивлений марганецсодержащих компонентов шихты для выплавки силикомарганца на характер изменения удельного электросопротивления при нагревании. *Металлургия и коксохимия. Республиканский межведомственный научно-технический сборник*. Киев : Техника. 1986. № 90. С. 86–88.
7. Розенберг В.Л. Рудовосстановительные электропечи. Энергетические показатели и очистка газов / В.Л. Розенберг, А.Р. Вальдберг. Москва : Энергия, 1974. 104 с.
8. Карманов Э.С. Величко Б.Ф. Методы расчета параметров ванн рудовосстановительных печей. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1985. № 6. С. 41–43.

9. Николаев Э.В. Врублевский О.П. Газовый режим закрытых ферросилициевых печей мощностью 33 МВ·А. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1973. № 11. С. 1011–1012.
10. Арбузов В.И. Характеристика газового режима закрытой электропечи. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1972. № 10. С. 915–917.
11. Кучер А.Г., Петров А.В. Исследование газодинамических свойств ферромарганцевых и силикомарганцевых шихт различного гранулометрического состава. Производство ферросплавов. Новокузнецк, 1980. С. 61–71.
12. Куцин В.С., Жаданос А.В., Гасик М.И. Анализ процессов образования и распространения пылегазовых выбросов при агломерации марганцевых концентратов и выплавке ферросплавов на основе математического моделирования и экспериментальных данных. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2011. № 4. С. 22–26.
13. Иберла К. Факторный анализ. пер з нем. Москва : Статистика, 1980. 398 с.
14. Нежурин В.І., Сиваченко В.А., Ємчицький В.Т. Застосування статистичних методів для оцінки протікання процесів в рудовідновлювальній печі. *Теорія і практика металургії*. Дніпропетровськ, 2009. № 1–2. С. 29–35.
15. Жердев И.Т., Московцев Д.П., Яськов Е.С. Метод отбора проб – метод изучения строения ванн действующих силикомарганцевых печей. *Металлургия и коксохимия. Республиканский межведомственный научно-технический сборник*. Киев : Техника. 1966. № 3. С. 125–129.
16. Жердев И.Т., Яськов Е.С. Строение ванны печи РПЗ-48. *Электротехническая промышленность. Электротермия*. 1974. № 4. С. 10–11.
17. Островский Я.Н. Газовый поток в ванне закрытой электропечи при выплавке углеродистого феррохрома. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1976. № 7. С. 618–620.
18. Карманов Э.С., Нежурин В.И. Исследование скорости и характера схода шихтовых материалов при выплавке марганцевых сплавов в закрытых руднотермических электропечах. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1991. № 7. С. 37–40.
19. Нежурин В.И., Карманов Э.С., Кучер И.Г. Исследование газодинамики содержимого ванны электропечи РПЗ – 48 (63), выплавляющей силикомарганец. *Металлургия марганца. Тезисы докладов V Всесоюзного совещания*. Никополь. С. 30–31.
20. Нежурин В.И., Карманов Э.С., Коваль А.В., Ткач Г.Д., Кучер И.Г., Чумаков А.А. Установка для определения газодинамических свойств насыпных материалов. А. с. № 1642329 СССР, МКИ G01N15/089; №4636562/26; заявл. 23.11.88; опубл. 15.04.91. Бюл. № 14.
21. Нежурин В.И., Карманов Э.С., Кучер И.Г., Ткач Г.Д. Исследование газодинамических свойств силикомарганцевых шихт различного гранулометрического состава. *Сталь. Ежемесячный международный научно-технический и производственный журнал*. 1990. № 3. С. 56.

Nezhurin V.I., Nikolenko A.V., Kuvaiiev V.Yu. THE STUDY OF THE GAS DYNAMICS OF THE WORKING SPACE OF THE EXISTING ELECTRIC FURNACE RPZ-48 (63) BATH AT THE FERROSILICON MANGANESE SMELTING

The problem of maintaining the optimal electric, electrode and charge operating modes of mine ore-thermal electric furnaces requires a rational gas-dynamic melting mode. The literature on the study of the gas dynamics of existing ore-thermal furnaces is analyzed. The largest number of studies relates to blast furnace practices, the studies of electroferroalloy processes are limited with the characteristics of the gases' gas-dust constituents of the under-vault space of closed furnaces, studies of gas dynamics processes in the volume of furnaces for producing ferrochrome, and characteristics of the charges. Currently, only mathematical models are used for studying such processes. This work includes determining the correlation between the operating parameters of an existing industrial furnace using factor analysis, an experimental study of the gas-dynamic features of the RPZ-48(63) electric furnace during its operation with high and stable rates, obtaining dependencies describing the distribution of pressures, temperatures, components of furnace gases by height the near-electrode zone of the furnace bath, laboratory studies of the influence of the fractional composition of the charge on its gas dynamics, taking into account the previously obtained dependences for the existing furnace, the selection of the optimal particle size distribution of the used charge, conducting an experimental campaign and evaluating the operation of the electric furnace in terms of the obtained results. A special experimental installation was used for studying the effect of the particle size distribution of the ferrosilicon manganese charge on gas dynamics. The optimum content of the “-5 mm” fraction charge components was established: it is not more than 7% of coke and not more than 15% of sinter. In this case, the total content of the “-5 mm” fraction in the ferrosilicon manganese charge will be from 13% to 15%. The operation of the furnace on the recommended fractional composition of the components of the charge materials provides fairly high technical and economic rates of commercial ferrosilicon manganese production.

Key words: ore-reducing (ore-thermal) electric furnace, ferrosilicon manganese, operating modes, particle size distribution of the charge, gas-dynamic properties of the near-electrode zone content, factor analysis.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 544.032

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/03>**Зінченко Н.Ю.**

Національний університет харчових технологій

Попова І.В.

Національний університет харчових технологій

ВИВЧЕННЯ СОРБЦІЇ ПАРІВ ВОДИ ІНУЛІНОМ

Виробництво функціональних харчових продуктів – це сегмент продовольчого ринку, який досить активно розвивається в багатьох країнах.

Маркетологи, які займаються вивченням інтересів споживачів, відзначають, що однією з найбільш актуальних задач харчової промисловості є зниження калорійності харчового продукту. Саме ці задачі ставляться перед технологами. Включення в раціон харчування збагачених продуктів дозволить зберегти здоров'я сучасної людини. Тому ведеться активний пошук інгредієнтів, які здатні знизити калорійність без погіршення смакових властивостей і текстури харчових продуктів. Особлива увага надається натуральним інгредієнтам.

Використання рослинних компонентів сприяє підвищенню якісних характеристик, харчової та біологічної цінності готової продукції. Розроблення технологій дієтичних продуктів на основі топінамбура для життєзабезпечення хворих із порушеннями обміну речовин і профілактичного харчування є актуальним і соціально важливим завданням.

У харчовій промисловості інулін використовується не тільки як харчове волокно (функціональні харчові продукти), але і як технологічний інгредієнт (жирозамінник, стабілізатор емульсій та аерованих продуктів тощо).

Технологічні властивості інуліну достатньо різноманітні. Він широко використовується в харчовій промисловості Європи, Сполучених Штатів Америки й Канади завдяки здатності замінити цукор і жир з метою зниження загальної калорійності продукту. Інулін – цінний сировинний інгредієнт, який має лікувально-профілактичні властивості.

Робота присвячена вивченню фізико-хімічних властивостей біополімеру інуліну, одержаного з топінамбура. Досліджено сорбційно-десорбційний процес водяної пари зразками інуліну, фруктози, глюкози, сахарози. Отримані ізотерми сорбції-десорбції водяної пари зазначеними зразками. Встановлено наявність гістерезису такого процесу. Результати досліджень представлені в графічному вигляді. Одержані дані можуть бути використані в технологічних процесах харчової та фармацевтичної промисловості.

Ключові слова: інулін, топінамбур, біополімер, гідрофільність, сорбція, десорбція.

Постановка проблеми. Збільшення долі продуктів масового вживання з високою харчовою та біологічною цінністю, а також створення продуктів харчування функціонального призначення є пріоритетною соціальною проблемою. Створення лікарських препаратів на основі рослинної сировини, що здатні сповільнювати процеси старіння організму, зв'язувати й виводити з організму шкідливі речовини, перешкоджати розвитку хвороб завжди актуальне. Найбільш унікальною за хімічним складом, перспективною інуліновмісною сировиною є топінамбур (*Helianthus tuberosus*), який характеризується високими технологічними властивостями і є джерелом поліфруктанів, міне-

ральних речовин, органічних кислот, вітамінів. Питання про використання інуліну й інуліновмісної рослинної сировини в харчовій і фармацевтичній промисловості завжди актуальне. Незважаючи на велику кількість вже існуючих природних біологічно активних добавок, світовий ринок дієтичних добавок на основі інуліну постійно зростає [2].

Існує два види поліфруктанів: інуліноподібні, в молекулах яких фруктофуранозні залишки сполучені глікозидними (β 2-1) зв'язками, і леваноподібні – де залишки моносахаридів сполучені (β 2-6) глікозидними зв'язками. Найбільш важливим представником першої групи поліфруктанів є інулін. Солодкість інуліну складає 10% від

солодкості сахарози [1]. Інулін є одним з провідних функціональних інгредієнтів при виготовленні різних функціональних продуктів харчування або лікарських засобів. Інулін, отриманий з топінамбура, характеризується високою молекулярною масою, що розширює можливості його застосування в медичних цілях. Повна безпечність інуліну для організму людини й особливості будови його молекули дають можливість широко використовувати інулін як ефективний технологічно-функціональний інгредієнт [1,2,3]. Відомо, що лікарські препарати при введенні їх в організм людини швидко засвоюються і за досить короткий термін (протягом кількох годин) виводяться з організму. Це послаблює їхній вплив на хворий орган. З'ясовано, що якщо ці лікарські речовини «прив'язати» до ланцюга молекули інуліну, то вони можуть зберігатися в організмі протягом декількох діб. Для використання інуліну в зазначених цілях необхідно знати його фізико-хімічні властивості для виробництва медичних препаратів.

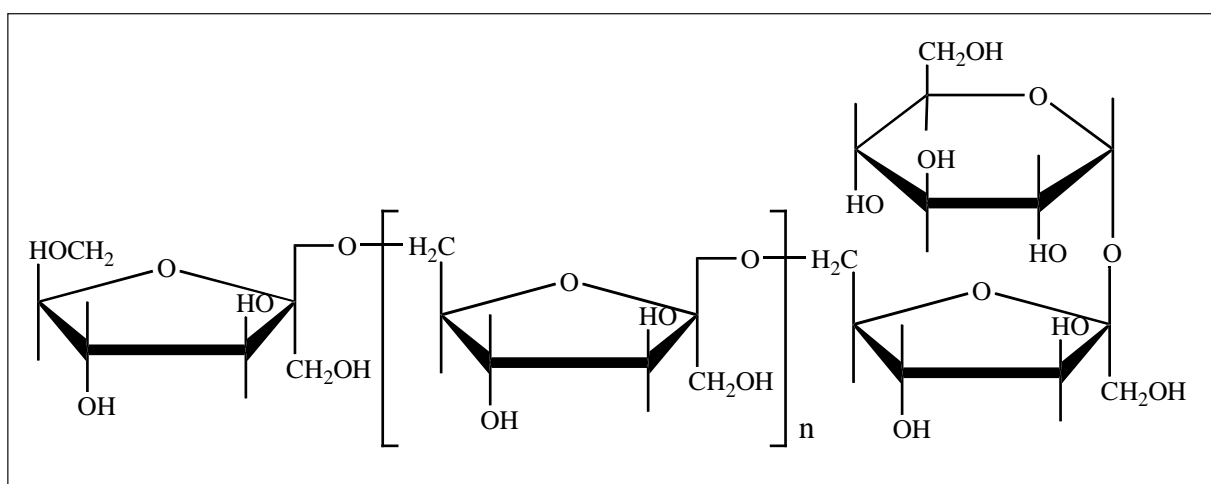
Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз літературних даних показав, що останнім часом спостерігається науковий і практичний інтерес до інуліну.

У літературі є ряд повідомлень щодо застосування інуліну в харчовій промисловості у якості технологічного інгредієнта. Інулін додають до продуктів дитячого харчування, молочних продуктів, молочного шоколаду, дієтичних продуктів та іншого. Особливою технологічною властивістю інуліна є його здатність утворювати з водою білий непрозорий кремоподібний гель, який за текстурою подібний до текстури жиру. Тому він може вводиться до знежирених продуктів для часткової заміни жиру і поліпшення текстури, смакових і органо-

лептичних властивостей. При цьому концентрація інуліну повинна бути не менше 2% (оптимально 2,5%–5%; 1 г жиру замінюється 0,25 г інуліну). Крім того, при застосуванні інуліну для аерованих продуктів (стабілізація мусів, пудингів, морозива) та емульсій (спреди, соуси, пасти) забезпечується підвищення їхньої стабільності без зміни смаку і кольору кінцевого продукту [2; 4].

Наукові дослідження, які проводяться з кінця ХХ ст., виявили багато цілющих властивостей інуліну для профілактики та лікування ряду серйозних захворювань, які скорочують життя сучасної людини. Цей натуральний полісахарид не має штучних аналогів. Експериментальними дослідженнями доведено, що регулярне використання інуліну в їжу забезпечує ряд оздоровчих ефектів в організмі людини. Інулін як рослинний пребіотик відіграє позитивну роль у формуванні здорової мікрофлори кишківника, поліпшує ліпідний обмін (знижує рівень «шкідливого» холестерину, тригліцеридів і фосфоліпідів у крові), має низький глікемічний індекс, нормалізує рівень цукру в крові, знижує індекс маси тіла, регулює рівень інсуліну в крові, стимулює імунну систему організму, знижує ризик виникнення і розвитку атеросклерозу, інгібує розвиток пухлин, нормалізує роботу серцевої та кровоносної систем, зміцнює нервову систему. Доведена абсорбційна ефективність інуліну при детоксикації організму. Інулін позитивно впливає на засвоєння кальцію організмом людини [3; 5; 8; 9].

Як і більшість природних полісахаридів інулін інтенсивно адсорбує воду, тобто відзначається великою гідрофільністю. Тому у практичній роботі важливими є дослідження його сорбційних властивостей. Сорбційні властивості мають велике значення при транспортуванні або зберіганні



Структурна формула інуліну

харчових продуктів. Сорбційні властивості характеризують здатність харчових продуктів поглинати з оточуючого середовища пари води і летки речовини. Сорбція і десорбція парів і газів призводять до зміни якості продукта, тому важливо контролювати активність води в харчових продуктах, чим можна суттєво покращити їх якісні характеристики при зберіганні. На практиці найбільше значення мають процеси сорбції і десорбції водяних парів. Вивчення сорбційних процесів полісахариду інуліну на нашу думку є актуальним завданням дослідницької діяльності як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

Постановка завдання. Метою нашої роботи було дослідження здатності інуліна поглинати воду з парової фази, а також віддавати вологу при різних значеннях вологості оточуючого середовища. Для порівняння з інуліном паралельно також були досліджені зразки сахарози, глюкози та фруктози. Вибір цих речовин зумовлений будовою молекули інуліну. Представляло інтерес порівняти поведінку високомолекулярної сполуки інуліну і його низькомолекулярних складових (моносахаридів і дисахариду) в процесах сорбції – десорбції водяної пари.

Серед технологічних властивостей інуліну можна відзначити його *гідрофільність*. Гідрофільність (здатність зв'язувати воду і контролювати активність води в харчових продуктах) – одна з головних властивостей вуглеводів, корисних для харчування людини. Гідрофільність зумовлена наявністю значної кількості гідроксильних груп в молекулі. Взаємодія гідроксильних груп з молекулами води призводить до сольватації та розчинення вуглеводів та інших полімерів. Гідрофільність зумовлює необхідність постійно контролювати надходження вологи до продукту, що містить вуглеводи [1].

Зволоження харчового продукту, тобто *сорбція* ним водяних парів, спостерігається тоді, коли парціальний тиск пари на поверхні продукта менший за парціальний тиск пари повітря. В процесі сорбції вологи маса продуктів зростає, погіршуються їх органолептичні показники. Наприклад, поглинання вологи призводить до розм'якшення і деформації (вафлі, печиво, пряники, сухарі); до злежування і втрати сипучості (цукор-пісок, сіль, борошно, крохмаль тощо); до зміни стану поверхні (у карамелі, мармеладу, пастили, зефіру, халви поверхня спочатку стає липкою, а потім виробі втрачають форму і течуть).

Процес випаровування – *десорбції* – спостерігається при більших значеннях тиску парів на поверхні продукту у порівнянні з тиском пари

повітря. Десорбція також несприятливо впливає на якість продукту. Десорбція вологи є характерною для свіжих плодів, овочів і рідких продуктів. У результаті випаровування вологи з плодів і овочів разом із втратою маси відбувається їх в'янення та погіршення якості, спостерігаються фізико-хімічні зміни в його структурі (послаблення тургору клітин) і властивостях.

Виклад основного матеріалу досліджень. Об'єктом дослідження був інулін харчовий, виділений із свіжих бульб топінамбуру сорту «Вадим» осіннього врожаю з високим вмістом інуліну за відомою методикою [13].

Визначення сорбційних властивостей інуліну здійснювали ваговим методом, який ґрунтується на вимірюванні ваги зразка до і після сорбції. Для проведення сорбційного дослідження використовували вакуумну установку з пружинними кварцовими вагами Мак-Бена. Точну наважку досліджуваного зразка у кількості 0,1–0,3 г вносили в тонкостінну скляну чашку, маса якої не перевищує 0,1 г. Чашку з наважкою підвішували до кварцової пружини і встановлювали у сорбційній колонці. За допомогою повітряного термостату в робочій частині сорбційної колони встановили і підтримували температуру 25°С. У дві стадії отримували вакуум в системі. За допомогою форвакуумного насосу створювали форвакуум з остаточним тиском приблизно 1 Па. За допомогою дифузійного насосу утворювали високий вакуум з остаточним тиском 10⁻³ Па. За цих умов витримували досліджуваний зразок до досягнення ним постійної ваги, тобто переводили його у практично зневоднений стан. Потім спеціальним дозатором подавали у колонку порцію водяної пари і витримували всю систему до досягнення рівноважного стану. Після цього зразок зважували, визначали кількість адсорбованої вологи і знову подавали у колонку наступну порцію водяної пари, витримували систему до досягнення рівноважного стану, зважували зразок і т. д. Коли тиск насиченої пари води дорівнював 17,54 мм рт. ст., дозатор відкривали повністю, відкачували з установки водяну пару до досягнення заданого тиску водяної пари. При відключеному насосі залишали наважку до досягнення нею постійної ваги при даному тиску водяної пари. Після встановлення рівноваги знову проводили відкачку, доводили систему до рівноважного стану. Процес проводили до повного зневоднення зразка. Про зменшення ваги зразка свідчило скорочення спіралі, яке фіксували за допомогою катетометра КМ-8. Цей прилад призначений для безконтактного дистанційного вимірювання вертикальної відстані між двома точками,

яке не можливо виконати безпосереднім вимірюванням. Похибка вимірювання вертикальних відрізків складає $\pm 0,05$ мм. За допомогою катетометра вимірювалась довжина пружини в процесі сорбції – десорбції, визначалась кількість сорбованої або десорбованої водяної пари. За рівнем олії в колінах манометра визначали тиск водяної пари при відповідному значенні сорбції. Вакуум у системі вимірювали термодинамічним вакууметром, а тиск водяної пари – масляним манометром.

Після досягнення гігроскопічної вологості зразка, закінчували сорбцію і далі проводили зворотній процес десорбції (або сушіння) у рівноважному стані [14; 15].

За даними дослідження нами отримані ізоТЕРМИ сорбції і десорбції водяної пари зразками інуліну, сахарози, фруктози і глюкози, які представлені на рисунках 1–4. З'ясувалось, що всі

криві виявляють гистерезисну петлю, тобто ізоТЕРМИ зволоження і сушки зразків не співпадають. Однак петля сорбційно-десорбційного гистерезису водяної пари для інуліну (рис. 1) за формою відрізняється від інших. Гістерезисні петлі для сахарози, фруктози і глюкози (рис. 2-4) мають ідентичний хід кривих. Кількість максимально поглиненої води не однакова для різних зразків. Так, при максимальному зволоженні у паровій фазі сахароза, глюкоза і фруктоза утворюють розчини і максимальна кількість води у зразках становить відповідно 178, 200 і 300%. В той же час для інуліну розчин не утворився і кількість води становить лише 50%.

Як видно з рис. 2–4 для зразків сахарози, фруктози, глюкози при значеннях відносного тиску водяної пари приблизно 0,6–0,8 кількість поглиненої води є невеликою (1–2%). Потім спостері-

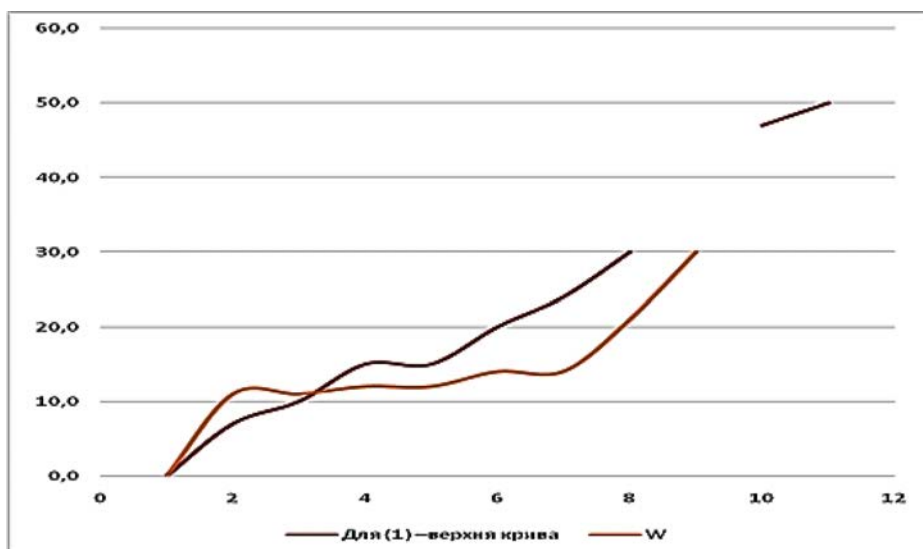


Рис. 1. ІзоТЕРМИ сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари інуліном

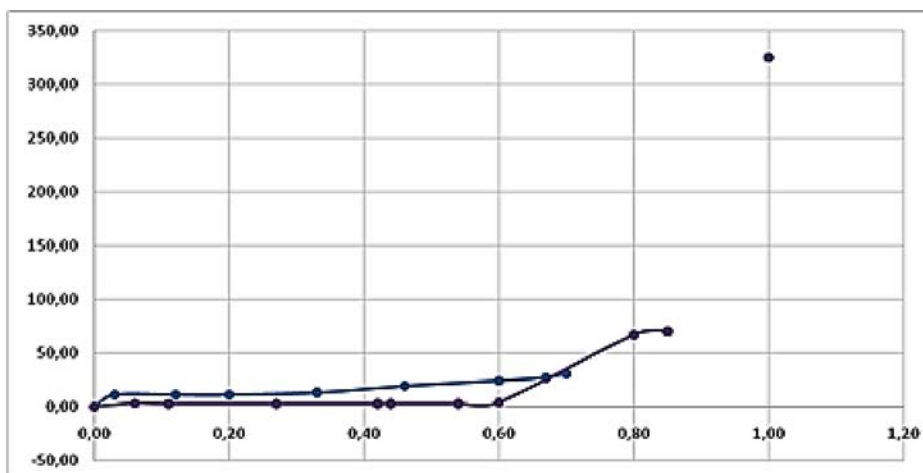


Рис. 2. ІзоТЕРМИ сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари фруктозою

гається різкий стрибок в ході ізотерми сорбції і в межах невеликого інтервалу значень P/P_s суттєво збільшується кількість поглиненої вологи (P/P_s – відносний тиск пари, P – рівноважний тиск пари).

В процесі сушки (десорбції) видалення вологи ускладнюється: досліджувані зразки залишаються достатньо вологими у порівнянні зі зразками в сорбційному процесі за тих самих значень P/P_s . Важливо відзначити, що в процесі сушки трьох зазначених зразків кристалізація відбувалась таким чином, що утворювався прозорий моноліт твердої речовини.

Інулін у порівнянні з іншими зразками поглинає значно меншу кількість вологи. В процесі сорбції відбувається більш інтенсивне поглинання вологи (10–15%) в інтервалі від 0,1 до 0,7 P/P_s . Гістерезисна петля також чітко виявляється, хоча є більш звуженою. При десорбції зразок інуліну залиша-

ється також більш зволеним в усьому інтервалі значень P/P_s . Неспівпадіння ізотерм сорбції і десорбції пояснюється тим, що після зволоження в процесі сушки система залишається рихлою і за однакових значень P_{H_2O}/P_s утримує більше вологи, ніж в процесі зволоження. А при одній тій самій вологості тиск насиченої пари відрізняється для зволоженого і висушеного зразків.

Для зразків сахарози, фруктози і глюкози гістерезисна петля може бути пояснена тим, що при кристалізації в процесі сушки за даних умов, можливо, ці речовини утримують значну кількість кристалізаційної вологи.

Вода – важлива складова продуктів харчування. Здатність зв'язувати воду і контролювати активність води (a_w) в харчових продуктах – це одна з важливих властивостей вуглеводів. Активність води служить мірою вільної (незв'язаної)

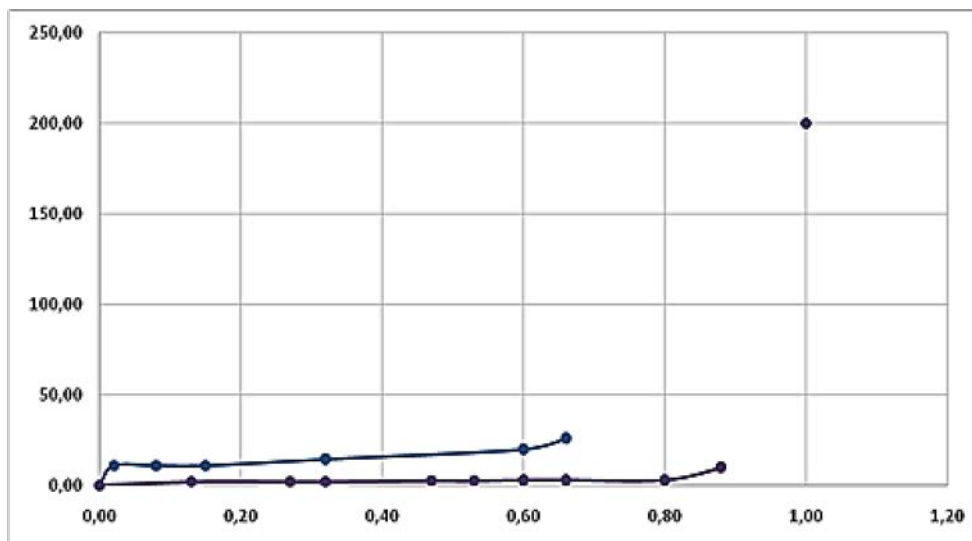


Рис. 3. Ізотерми сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари глюкозою

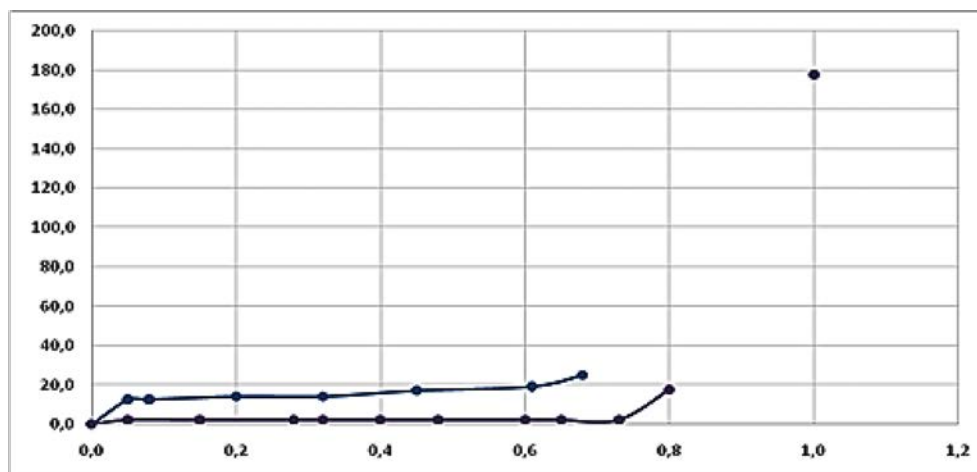


Рис. 4. Ізотерми сорбції (1) і десорбції (2) водяної пари сахарозою

води, яка є істотним чинником мікробіологічної, ензиматичної і фізико-хімічної активності і, таким чином, вона визначає термін придатності харчових продуктів [6,11,12].

Висновки. Досліджено сорбційно-десорбційний процес водяної пари зразками фруктози, глюкози, сахарози, інуліну. Отримані ізотерми сорбції-

десорбції водяної пари зазначеними зразками і встановлено наявність гістерезису даного процесу. Встановлені гідрофільні властивості інуліну, отриманого з топинамбура дозволять правильно підібрати технологічні режими виробництва вуглеводмісних продуктів та фармацевтичних препаратів.

Список літератури:

1. Тагер А.А. Физикохимия полимеров /под ред. А.А. Аскадского. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Науч. мир, 2007. 576 с.
2. Грушецький Р.І. Інουλін – джерела сировини, одержання, властивості. Київ : Знання України. 2003. 112 с.
3. Аникиенко Т.И., Цугленко Н.В. Эколого-энергетические и медико-биологические свойства топинамбура. Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т., 2008. 214 с.
4. Грушецький Р.І., Гриненко І.Г., Хомічак Л.М. Природні джерела здоров'я. Київ : Аграрна наука, 2016. 108 с.
5. Зяблицева Н.С., Белоусова А.Л., Компанцев В.А., Кисиева М.Т. Возможности использования топинамбура в медицинских целях. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13658>.
6. Глаголева Л.Э., Корнеева О.С., Родионова Н.С., Шуваева Г.П. Определение сорбционных характеристик растительных полисахаридных комплексов в различных технологических средах. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 1. С.1–6.
7. Дубров К.І. Інουλін і олігофруктоза – пребіотики з давніх часів і до наших днів. *Харчова промисловість*. 2007. № 4. С. 37.
8. Перковец М.В. Вплив інуліну і олігофруктози на зниження ризику деяких «хвороб цивілізації». *Харчова промисловість*. 2007. № 5. С. 22–23.
9. Митрофанова И.Ю., Яницкая А.В., Шуленина Ю.С. Перспективы применения инулина в медицинской и фармацевтической практике. *Вестник новых медицинских технологий*. 2012. Т. XIX. С. 45–46.
11. Норкулова К.Т., Сафаров Ж.Э. Исследование сорбции и десорбции лекарственных трав. *Химическая технология. Контроль и управление*. 2010. № 4. С. 9–12.
12. Дорохович А.Н., Дорохович В.В. Дослідження сорбційних та десорбційних властивостей цукрів і цукрозаміників, прогнозування їхнього впливу на процеси під час зберігання кондитерських виробів. *Удосконалення малої хладопелотехніки використання холоду в харчовій галузі Всеукраїнська науково-технічна конференція*, м. Донецьк, 19–21 вересня 2012 р. Донецьк, 2012. С. 276–284.
13. Способ получения инулина из клубней топинамбура : пат. 2148588 РФ : МКИ 7 С 08 В 37/00, 37/18. № 98115947/04 ; заявл. 20.08.1998 ; опубл. 10.05. 2000. Бюл. №13.
14. Манк В.В. Адсорбція води харчовими вуглеводами. *Хімічні науки* : збірник наукових праць. Київ : Націонал. пед. Університет ім. М. П. Драгоманова, 1998. С. 12–19.
15. Лапкина К.И., Лоскутов К.Н., Вотинов Г.Н. и др. Спецразделы физики : методические указания к лабораторному практикуму. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. 36 с.

Zinchenko N.Yu., Popova I.V. THE STUDY OF WATER VAPOUR SORPTION INULIN

Functional food production is a segment of the food market that is actively developing in many countries.

Marketers who study consumer interests say that one of the most urgent tasks of the food industry is to reduce the caloric content of the food. These are the tasks that technologists are facing. Inclusion of enriched foods in the diet will help to preserve the health of the modern man. Therefore, an active search for ingredients that are able to reduce calories without impairing the taste and texture of foods. Particular attention is given to natural ingredients.

The use of plant components contributes to improving the quality, nutritional and biological value of the finished product. Development of technologies of diet products based on Jerusalem artichoke for the life support of patients with metabolic disorders and preventive nutrition is an urgent and socially important task.

In the food industry, inulin is used not only as a food fiber (functional food) but also as a technological ingredient (a fat substitute, a stabilizer of emulsions and aerated products, etc.).

The technological properties of inulin are quite diverse. It is widely used in the food industry in Europe, the US and Canada due to its ability to replace sugar and fat in order to reduce the overall calorie content of the product. Inulin is a valuable raw material ingredient that has curative and prophylactic properties.

This work is devoted to the study of the physicochemical properties of the inulin biopolymer extracted from Jerusalem artichoke. Studied the sorption-desorption process of water vapor with inulin, fructose, glucose, and sucrose samples. The obtained isotherms sorption-desorption of water vapor by said samples. The hysteresis of this process is established. The results of the studies are presented graphically. The results can be used to measure the molecular weight of inulin, as well as in the application of the polysaccharide in the food and pharmaceutical industries.

Key words: *inulin, topinambure, biopolymer, adsorption and desorption of water.*

Іванченко А.В.

Дніпровський державний технічний університет

Хавікова К.Є.

Дніпровський державний технічний університет

Макарченко Н.П.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Кузьменко В.Ю.

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДСОРБЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ ФЕНОЛІВ ТА РОДАНІДІВ З РІДКИХ ВІДХОДІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Охарактеризовано актуальність проблеми вилучення органічних токсикантів із рідких відходів промислових підприємств у результаті постійного забруднення ними поверхневих джерел водоїм, що пов'язано з недостатньою глибиною очищення виробничих стоків. Виявлено, що істотним джерелом фенольних забруднень є галузь коксохімічного виробництва, де здійснюється хімічне перероблення кам'яного вугілля методом коксування. Зроблено аналіз екологічно небезпечного впливу ароматичних вуглеводнів із фенольних вод коксохімічних заводів. Встановлено, що методи адсорбції найбільш універсальні, переважно завдяки тому, що за порівняно невеликих затрат вдається досягти високого ступеня очищення коксохімічних стоків. Запропоновано як сорбційний матеріал застосовувати природну глауконітову глину як дешеву й доступну сировину. Розроблено екологічно безпечну технологію адсорбційного перероблення рідких відходів у флотаційних реакторах, за допомогою якої можливо зниження негативного впливу токсикантів на подальше біоочищення активним мулом.

У роботі проведено дослідження процесу адсорбційного вилучення фенолів і роданідів із рідких відходів коксохімічного підприємства Приватного акціонерного товариства «ЮЖКОКС» м. Кам'янського глауконітом в інтервалі доз адсорбенту 2–8 г/дм³ у комбінуванні з 0,1% розчином катіонного флокулянта, регламентованого нормативними вимогами виробництва. Експериментальним шляхом встановлено, що під час використання глауконіту в кількості 2–4 г/дм³ у поєднанні з 0,1% розчином катіонного флокулянта дозою 30 мл/дм³ протягом 120 хв забезпечується зниження концентрації фенолів з 510 мг/дм³ до 280 мг/дм³, а вихідний вміст роданідів зменшується з 551,57 мг/дм³ до 356,40 мг/дм³, що відповідає вимогам гранично допустимої концентрації фенолів (не більше 415 мг/дм³) і роданідів (не більше 400 мг/дм³) у рідких відходах, які подаються на біохімічне перероблення в аеротенках. Відпрацьований глауконіт запропоновано утилізувати як в'язкий компонент на асфальтобетонних підприємствах.

Ключові слова: коксохімічні стоки, рідкі відходи, адсорбент, фенольні стоки, феноли, роданіди, глауконіт, флокулянт.

Постановка проблеми. Рідкі відходи коксохімічного виробництва представлені наступними потоками: шламовими водами вуглезбагачення та пиловловлювання на об'єктах вуглепідготовчого й коксового цехів, фенолвмісними стічними водами з цехів уловлювання хімічних продуктів коксування, забрудненими фенолами, роданідами, ціанідами, амоніаком, маслами, смолами та іншими органічними речовинами, зливовими стоками. Найбільший обсяг належить фенолвмісним стічним водам [1].

Рідкі відходи виробництв, що містять феноли, відносять до II групи небезпеки й підлягають технологічному контролю. Феноли й ароматичні вуглеводні – високотоксичні сполуки, які чинять негативний вплив на живі організми. Потрапляння роданідів – ядохімікатів (інсектицидів і фунгіцидів) – в ґрунтові й підземні води призводить до руйнації природної екосистеми.

На більшості наявних коксохімічних підприємств технологічний процес очищення промислових стоків проводять на біохімічній установці

(далі – БХУ) у два етапи: механічній і біологічній. Навантаження на споруди БХУ зростає, необхідні нормативні вимоги не завжди досягаються. У результаті цього води, які використовуються для гасіння розпеченого коксу, містять надмірну кількість токсичних сполук. Основна кількість забруднювальних речовин і парникових газів, що міститься у воді, використовуваної для гасіння коксу, випаровується в атмосферу, забруднює навколишнє середовище продуктами хімічних перетворень і з дощовими водами попадає до водойм [2].

Біологічне перероблення фенольних вод активним мулом не завжди досягає показників гранично допустимої концентрації, тому потребує розробки додаткового очищення на механічній стадії. Перевищення концентрації забруднювальних агентів негативно впливає на біоценоз активного мулу через високу токсичність і чутливість мікроорганізмів до зміни складу стічних вод. Це призводить до скупчення мікроорганізмів, які не здатні руйнувати органічні речовини, що містяться в стічній воді, в повному обсязі, до часткової загибелі симбіозу активного мулу й великих економічних збитків. Тому з поверхні БХУ в атмосферу надходять леткі феноли, гідроген сульфід й амоніак, що несуть загрозу навколишньому середовищу [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кількість рідких відходів, які утворюються на коксохімічних підприємствах України, становить близько 40 млн м³ на рік. Основними їх джерелами є: цехи уловлювання хімічних продуктів коксування – фенольні води після знефенолюючого скрубера; смолопереробний цех – надлишкові надсмольні води; теплосиловий цех – води від безперервної та періодичної продувки котельної; господарсько-побутові стічні води [4].

Одним із найважливіших етапів очищення промислових стічних вод, на якому ґрунтується практично будь-яка технологічна схема, є процес біологічного очищення, який заснований на перекладі розчинених фенолів і роданідів у мінеральні сполуки шляхом життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу, які їх руйнують. Але біологічне окислення цих забруднювальних речовин є дуже складним процесом, який не досить досліджений [5].

Для очищення фенольних стоків адсорбційними методами, які засновані на сорбції молекул забруднень під впливом силового поля в порах адсорбенту, все більшого застосування знаходять не вуглецеві сорбенти природного й штучного походження. Використання цих сорбентів зумовлено їхньою досить високою адсорбцій-

ною ємністю, селективністю, катіонообмінними властивостями деяких з них, порівняно низькою вартістю та доступністю. Найважливішими представниками мінеральних природних сорбентів є глинисті матеріали. Вони досить поширені й різняться розмаїттям властивостей та областей застосування. Природні сорбенти добувають безпосередньо поблизу місця використання, що постійно розширює межі їхнього застосування для очищення стічних вод [6; 7]. Серед інших матеріалів, призначених для цієї мети, перевагу надають природному глиняному мінералу глауконіту загальною формулою $(K,Na,Ca) \times (Fe^{3+},Mg,Fe^{2+},Al)_2[(Al,Si)Si_3O_{10}](OH)_2 \times H_2O$. Очищення рідких відходів глауконітом полягає в адсорбції забруднень розвинутою поверхнею останнього [2]. Глауконіт належить до шаруватих силікатів із жорсткою структурою, що характеризується наявністю зовнішньої адсорбційної поверхні, а його пористість зумовлена зазорами між частинками, що контактують. Величина питомої поверхні таких силікатів визначається дисперсністю частинок. Структура шаруватих силікатів така, що одна сітка Al- і Mg-октаєдрів з'єднана з двома сітками Si-O-тетраєдрів [8].

Із зарубіжних джерел відомі приклади застосування мінеральних глин для очищення води від різноманітних органічних речовин: нафти й нафтопродуктів, поверхнево активних речовин, фенолів, важких металів і тому подібне. [9; 10]. Можливість використання глауконітових глин під час біохімічного очищення приводить до скорочення термінів запуску об'єктів біологічного перероблення в експлуатацію та захищає мікроорганізми активного мулу від впливу шкідливих речовин. Застосування глауконіту в аеротенках як сорбційного носія для сапрофітних бактерій свідчить про його надвисоку очисну здатність у поєднанні з екологічною безпекою.

Для інтенсифікації процесу вилучення забруднень зі стоків додають флокулянти. В промислових умовах як флокулянти застосовуються синтетичні високомолекулярні сполуки, такі, як поліакриламід. Використання флокулянту дозволяє підвищити швидкість осадження пластівців. Розчин поліакриламідів готується 0,1% концентрації та дозується по 30% у флотатори [2].

Розглянемо фізико-хімічну суть процесу вилучення фенолів і роданідів із рідких відходів коксохімічного виробництва. Глауконіт володіє ефективною питомою поверхнею, високою ємністю катіонного обміну й шаруватою будовою. Водночас частина внутрішньомолекулярних сил

не врівноважена взаємодією з розташованими в порожнині таких шарів іонами хімічних речовин, що містяться в рідких відходах органічного походження. В результаті вони скупчуються на активних поверхнях пластиночок, складових частин загального кристала, а площа активної поверхні значно збільшується. В процесі інтенсивного перемішування глауконіту з фенольною водою відбувається адсорбція колоїдних часточок поліютантів і повільне спливання їх на поверхню рідини. Водночас також протікають процеси адсорбції інших забруднень, наявних у фенольній воді (часточок коксу й напівкоксу, вугілля, пічної кладки, графітоподібних продуктів), які надають їй специфічного темного забарвлення. Додавання до глауконіту поверхнево-активної речовини катіонного типу (флокулянту) підвищує швидкість осадження пластівців, з'єднуючи своїми полімерними містками молекули сорбенту між собою. В результаті спостерігається помітне освітлення фенольної води [11].

На відміну від країн із розвинутою нафтопереробною промисловістю (Близький Схід, Сполучені Штати Америки), в Україні використання глауконіту обмежено такими галузями, як будівництво, медицина, сільське господарство тощо. Дані про застосування мінеральних глауконітових глин у процесах очищення коксохімічних стоків, зокрема фенольних, в українській науковій періодиці відсутні. Це зумовлює необхідність проведення досліджень по встановленню принципової можливості використання глауконіту для промислового впровадження на коксохімічних підприємствах України [10].

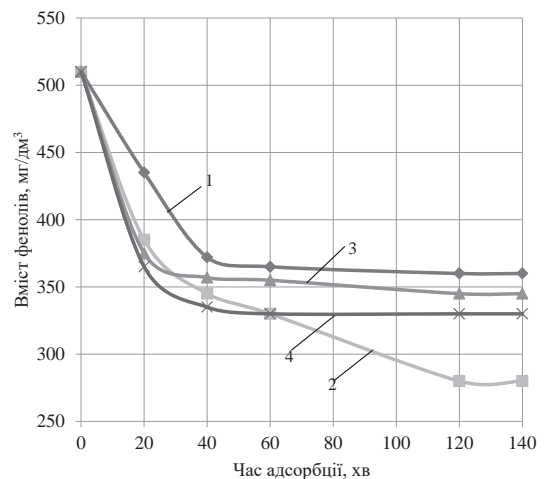
Постановка завдання. В основі роботи є проведення експериментального дослідження процесу вилучення фенолів і роданідів із рідких відходів коксохімічного підприємства Приватного акціонерного товариства «ЮЖКОКС» м. Кам'яньського за допомогою природного адсорбенту глауконіту витратою 2–8 г/дм³ із додаванням 0,1% розчину катіонного флокулянта (30 мл/дм³) із метою встановлення оптимальної дози адсорбенту в інтервалі часу 20–120 хв.

Виклад основного матеріалу дослідження. В лабораторних умовах проводили серію випробувань на 4 флотажних установках [12]. Розподілили по 0,5 дм³ фенольних рідких відходів у флотатори об'ємом 1 дм³. У реактори додали глауконіт дозами 2, 4, 6, 8 г/дм³ і по 30 мл/дм³ 0,1 % розчину катіонного флокулянта поліакриламід у згідно з регламентними нормами підприємства. Потім за допомогою компресору проводили аера-

цію фенольної стічної води протягом 20–120 хв. Впродовж зазначеного часу відбирали з верхніх шарів реакторів по 50 см³ флотованої стічної води для визначення залишкової концентрації фенолів і роданідів.

Під час дослідження з визначенням концентрації фенолів у вихідних й очищених стоках застосовували фотометричний метод, заснований на утворенні забарвлених сполук фенолів, його похідних і гомологів з 4-аміноантипірином у присутності калій гексацианоферату при рН 10,3 ± 0,2, який проводили методом стандартних серій за градуїованим графіком.

На рис. 1 представлено експериментальні криві залежності концентрації фенолів у промислових рідких відходах при інтервалі доз глауконіту 2–8 г/дм³ і додаванні 0,1% катіонного флокулянта при тривалості обробки стоків 20–120 хв.



1 – 2 г/дм³; 2 – 4 г/дм³; 3 – 6 г/дм³; 4 – 8 г/дм³
Рис. 1. Залежність залишкової концентрації фенолів від тривалості контактування глауконіту дозами 2, 4, 6, 8 г/дм³ із катіонним флокулянтом об'ємом 30 мл/дм³ із рідкими відходами

З рис. 1 видно, що найвищий ступінь очищення рідких відходів від фенолів досягається при дозі глауконіту 4 г/дм³ у поєднанні з 0,1% розчином флокулянта (30 мл/дм³). У результаті досліду отримано зниження вихідної концентрації фенольної води з 510 мг/дм³ до 280 мг/дм³ впродовж 120 хв. Експериментально показано, що нормативний вміст забезпечується вже при дозах глауконіту 2 г/дм³ протягом 40 хв та 4–8 г/дм³ через 20 хв. Тому з економічних міркувань значення 2–4 г/дм³ є оптимальним інтервалом дози адсорбенту.

В основу досліджень закладено гіпотезу, що в процесі адсорбційної обробки рідких відходів відбувалося утворення агломератів –

часточок «глауконіт-ланцюжки флокулянту», які ефективно зв'язували й адсорбували молекули не тільки фенолів й роданідів, а й інші зважені забруднювальні речовини (часточки коксу, напівкоксу, пічної кладки і тому подібне). Візуально визначено, що сукупна дія рідких коксохімічних забруднень зумовлена специфічним темно-коричневим забарвленням фенольної води, яке при поєднанні оптимальних доз глауконіту з додаванням флокулянту, як видно з рис. 2, майже повністю зникло.

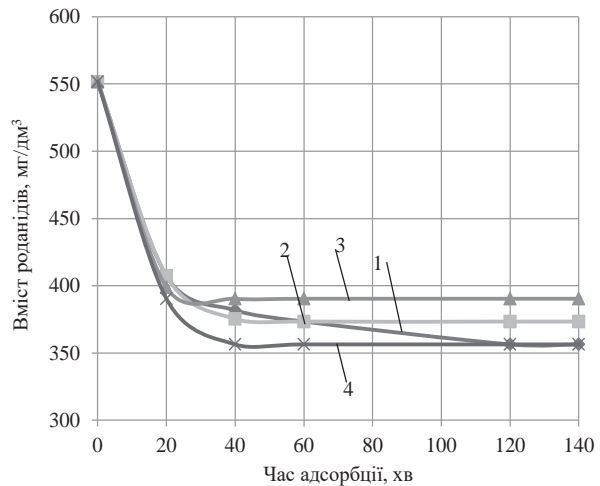


Рис. 2. Рідкі фенольні відходи коксохімічного виробництва до (зліва) й після (справа) адсорбційно-флотажної обробки

Для встановлення концентрації роданідів у фенольній стічній воді використовували фотометричний метод, який заснований на взаємодії роданід-іонів у кислому середовищі з іонами ферум (III) хлориду. Дослід проводили за допомогою калібрувального графіка [2].

На рис. 3 зображена залежність вхідної концентрації роданідів у коксохімічних рідких відходах при інтервалі доз глауконіту 2–8 г/дм³ із додаванням катіонного флокулянта об'ємом 30 мл/дм³ при тривалості адсорбційної обробки 20–120 хв.

З рис. 3 видно, що під час використання глауконіту в кількості 2 і 8 г/дм³ у поєднанні з 0,1% розчином флокулянта (30 мл/дм³) вміст фенолів вихідною концентрацією 551,57 мг/дм³ знижується до 356,40 мг/дм³ впродовж 40–120 хв, а при додаванні глауконіту 4 г/дм³ – до 373,37 мг/дм³ протягом 40 хв. Експериментально показано, що досягнення нормативного вмісту роданідів отримано при дозах глауконіту 2–4 г/дм³ протягом 40 хв і 6–8 г/дм³ через 20 хв.



1–2 г/дм³; 2–4 г/дм³; 3–6 г/дм³; 4–8 г/дм³

Рисунок 3. Залежність залишкової концентрації роданідів від тривалості контактування глауконіту в інтервалі доз 2–8 г/дм³ із катіонним флокулянтом об'ємом 30 мл/дм³ із рідкими відходами

Висновки. Для забезпечення безперебійної та ефективної роботи БХУ нормативний вміст фенолів у рідких відходах коксохімічного виробництва на стадії механічного очищення не повинен перевищувати 415 мг/дм³, роданідів – 400 мг/дм³.

З використанням флотажної лабораторної установки досліджено процес адсорбційного вилучення фенолів і роданідів під час застосування глауконіту в інтервалі доз сорбенту 2–8 г/дм³. Встановлено, що ефективність вилучення фенолів зростає від 29,4–45% (в 1,4–1,8 раза) і роданідів від 29,2–35,4% (в 1,4–1,6 раза) протягом 120 хв. Водночас гранично допустима концентрація фенолів і роданідів досягається через 20–40 хв застосування сорбенту. Витрату 0,1% розчину поліакриламід застосовано згідно з нормативними вимогами, регламентованими коксохімічним підприємством. У результаті експерименту отримано візуальне освітлення рідких відходів і відокремлення осаду, який надалі планується використовувати як сировину для асфальтобетонних заводів як в'язкий матеріал при прокладці дорожніх покриттів. Для підвищення ефективності технології вилучення фенолів і роданідів із рідких відходів коксохімічних підприємств рекомендовано додавання у флотатори природної глауконітової глини з оптимально доцільним інтервалом доз 2–4 г/дм³ у поєднанні з 0,1% розчином катіонного флокулянта оптимальним часом контактування 40–120 хв.

Список літератури:

1. Іванченко А.В., Хавікова К.Є. Технологічні аспекти вилучення фенолів та роданідів зі стічних вод коксохімічної промисловості. *Тиждень еколога-2019* : зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-практ. конф. Кам'янське : ДДТУ, 2019. С. 106–109.
2. Іванченко А.В., Хавікова К.Є. Комплексне очищення промислових фенольних стічних вод з використанням адсорбентів з природної сировини. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 2. С. 27–34.
3. Хавікова К.Є., Іванченко А.В. Обґрунтування екологічно безпечного методу переробки фенольних стічних вод. *Актуальні проблеми сучасної хімії* : матеріали III Всеукр. наук.-практ. конф., м. Миколаїв, 24 травня 2019 р. Миколаїв : НУК ім. адм. Макарова, 2019. С. 218–222.
4. Кагасов В.М., Дербышева Е.К. Очистка сточных вод коксохимических предприятий: монография. Екатеринбург : Полиграфист, 2003. 189 с.
5. Іванченко А.В., Дупенко О.А., Волошин Н.Д. Воздействие карбамида на биологическое удаление фенолов из сточных вод коксохимического предприятия. *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*. 2015. № 1 (16). С. 50–58.
6. Іванченко А.В., Карлаш В. І., Єлатонцев Д.О., Данельська А.С. Застосування кислотно-активованого цеоліту в технології очищення стічних вод від нітратів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2018. № 5. С. 1–6.
7. Богданов В.К. Использование ионообмена минералов в биологических жидкостях для медицинских целей. *Научный вестник НГУ. Серия «Экология»*. 2010. № 1. С. 100–102.
8. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Акулов А.И. Изотермы сорбции фенола концентратом глауконита и его фракциями. *Тамбовский государственный технический университет им. Г.Р. Державина. Серия «Сорбционные и хроматографические процессы»*. Тамбов. 2012. Т. 12. Вып. 4. С. 614–618.
9. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Акулов А.И. Сорбция фенола глауконитом ГБТО из его разбавленных растворов. *Тамбовский государственный технический университет им. Г.Р. Державина. Серия «Сорбционные и хроматографические процессы»*. 2011. Т. 11. Вып. 5. С. 673–678.
10. Klymenko I., Yelatontsev D., Ivanchenko A., Dupenko O., Voloshyn N. Developing of effective treatment technology of the phenolic wastewater. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 3. № 10 (81). P. 29–34.
11. Спосіб очистки фенольних стічних вод від кам'яновугільної смоли : пат. 111944 Україна : C02F 1/24. № u201605987 ; заявл. 02.06.2016 ; опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22.
12. Іванченко А.В., Єлатонцев Д.О., Волошин М.Д., Дупенко О. О. Дослідження технології вилучення смолистих речовин зі стічних вод коксохімічних підприємств методом реагентної флоатації. *Вісник Одеського політехнічного університету*. 2015. Вип. 1 (45). С. 158–163.

Ivanchenko A.V., Khavikova K.E., Makarchenko N.P., Kuzmenko V.Yu.

STUDY OF THE TECHNOLOGY OF ADSORPTION EXTRACTION OF PHENOLES AND RHODANIDES FROM LIQUID WASTES OF COKE-CHEMICAL PRODUCTION

The urgency of the problem of extraction of organic toxicants from liquid wastes of industrial enterprises is characterized, resulting in permanent contamination of their surface water reservoirs, which is associated with insufficient depth of treatment of industrial effluents. It is revealed that a significant source of phenolic pollution is industry coke production, where the chemical processing of coal by the method of coking. The analysis of ecologically dangerous influence of aromatic hydrocarbons from phenolic waters of coking plants was made. It is established that adsorption methods are the most versatile, mainly due to the fact that at a relatively low cost it is possible to achieve a high degree of wastewater treatment coke. Proposed as a sorption material to apply natural glauconitic clay, as a cheap and available raw materials. Developed ecologically safe technology of adsorption processing of waste liquid in the flotation reactor, with which it is possible to reduce the negative impact of toxicants for further biological treatment with activated sludge.

In the article, a study of the process of adsorption separation of phenols and rhodanides of liquid waste by-product coke plants of PRAT "YUZHKOCS" of Kamianske glauconite in the range of adsorbent doses of 2–8 g/dm³ in combination with a solution of 0,1% cationic flocculants, regulated production requirements. It was established experimentally that when using glauconite in the amount of 2–4 g/dm³ in combination with 0,1% solution of the cationic flocculant at a dose of 30 ml/dm³ for 120 min reduced the concentration of phenols with 510 mg/dm³ up to 280 mg/dm³, and content of the original rhodanides decreases 551,57 mg/dm³ to 356,40 mg/dm³, which corresponds to the requirements of the MPC, phenols (up to 415 mg/dm³) and rhodanides (no more than 400 mg/dm³) in the liquid waste applied to biochemical processing in the aerotanks. Spent glauconite proposed to be disposed as a binder component for asphalt plants.

Key words: coke-chemical effluents, liquid wastes, adsorbent, phenolic effluents, phenols, rhodanides, glauconite, flocculant.

УДК 631.632
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/05>

Ларичева Л.П.

Дніпровський державний технічний університет

Гребанова Є.С.

Дніпровський державний технічний університет

Ільченко С.А.

Дніпровський державний технічний університет

Бабенко А.В.

Дніпровський державний технічний університет

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ УМОВИ КИСЛОТНОЇ ПЕРЕРОБКИ НИЗЬКОЯКІСНИХ ФОСФОРИТІВ

Розширення сировинної бази для тукової промисловості України має велике наукове та практичне значення. Сучасні дослідження фізико-хімічних і технологічних закономірностей кислотної переробки низькоякісних фосфоритів є обмеженими і недостатніми для вирішення завдань впровадження цього методу у промисловість. Існує необхідність отримання нових даних щодо впливу домішок на фізико-хімічні властивості розчинів і твердих фаз на окремих стадіях технологічного процесу виробництва добрив.

Досліджено процес розкладання фосфоритів із підвищеним вмістом оксидів заліза сумішшю нітратної та сульфатної кислот у присутності циркулюючого нітратнофосфатного розчину. Метою експерименту стало дослідження фізико-хімічних умов виділення сульфату кальцію із нітратнофосфатних розчинів у процесі розкладання.

Розчинність отриманого гіпсу досліджували кінетичним методом в розчинах фосфатної кислоти, нітрату амонію та їх сумішей у присутності іонів заліза та алюмінію в інтервалі температур 40-80°C. Концентрація фосфатної кислоти та нітрату амонію складала від 30 до 50% ($H_3PO_4 + NH_4NO_3$) при співвідношенні $NH_4NO_3 : (H_3PO_4 + NH_4NO_3)$ від 0 до 0,85. Домішки додавали у вигляді нітратів заліза та алюмінію в кількості від 0,5 до 1,5% Fe_2O_3 або Al_2O_3 .

Встановлено, що ізотерми розчинності гіпсу у нітратнофосфатних розчинах проходять через максимум, який відповідає співвідношенню нітрату амонію в суміші 0,7-0,8. Підвищення температури від 40 до 80°C призводить до збільшення розчинності гіпсу в 1,2-1,5 рази. В досліджуваному інтервалі параметрів розчинність гіпсу у присутності іонів заліза та алюмінію була вищою, ніж в чистих розчинах.

Присутність іонів заліза та алюмінію в кількості 0,5-1,5% збільшує в'язкість нітратнофосфатних розчинів на 2-12%. В'язкість розчинів фосфатної кислоти і нітрату амонію, які містять іони заліза та алюмінію, зменшується з підвищенням частки нітрату амонію у суміші та зі збільшенням температури. Зміна в'язкості нітратнофосфатних розчинів має лінійний характер. Показано, що процес кристалізації сульфату кальцію із нітратнофосфатних розчинів, які містять іони заліза та алюмінію, доцільно проводити при масовому співвідношенні $NH_4NO_3 : H_3PO_4 = 2-2,5$ при температурі не нижче 60°C.

Ключові слова: кислотна переробка фосфоритів, нітратнофосфатні розчини, кристалізація сульфату кальцію, в'язкість нітратнофосфатних розчинів, ізотерми розчинності гіпсу.

Постановка проблеми. Розробка та впровадження у виробництво нових надійних технологій переробки низькоякісної фосфатної сировини викликає науковий і практичний інтерес з точки зору розширення сировинної бази для тукової промисловості. Сучасні відомості щодо досліджень фізико-хімічних і технологічних закономірностей кислотної переробки низькоякісних фосфоритів не дозволяють прогнозувати умови переробки фосфатної сировини з підвищеним вмістом полу-

торних оксидів заліза та алюмінію, є недостатніми для вирішення завдань впровадження цього методу у промисловість. Тому залишається необхідність отримання нових даних щодо впливу домішок на фізико-хімічні властивості розчинів і твердих фаз, які утворюються на окремих стадіях технологічного процесу виробництва добрив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розкладання фосфатної сировини кислотними методами складає основну групу методів

переробки низькоякісних фосфоритів у фосфатну кислоту та мінеральні добрива [1, с. 109].

При сульфатнокислотній переробці «бідних» фосфоритів більшість домішок переходить у розчин, з якого повільно кристалізується у вигляді фосфатів. Це призводить до погіршення умов технологічного процесу і втрат корисних речовин. Зниження температури процесу до 50–60°C і збільшення концентрації сульфат-іонів у розчині до 3–4% дозволяє збільшити стабільність пересичених фосфатами заліза та алюмінію розчинів [2, с. 64]. Однак в процесі зберігання отриманої екстракційної фосфатної кислоти (ЕФК) відбувається кристалізація фосфатів із розчину, що призводить до втрат P_2O_5 та ускладнює її подальшу переробку.

В роботі [3 с. 15–19] представлені кінетичні закономірності нітратнокислотного розкладання фосфоритів, які містили полуторні оксиди заліза та алюмінію, циклічним способом. Досліджувалася залежність швидкості розкладання фосфориту від температури та концентрації. Показано, що розкладання чилійського фосфориту відбувається досить швидко (за 25–30 хвилин). Причому в зворотній фосфатній кислоті не відбувається значного підвищення вмісту Al_2O_3 (0,03–0,07%), Fe_2O_3 (0,30–0,41%), MgO (сліди), F (0,12–0,9%) зі збільшенням кількості циклів. За чотири цикли відбувається стабілізація складу фосфатної кислоти та в'язкості розчинів (2,77–3,31сПз) внаслідок виведення з циклу сполук заліза та алюмінію з нерозчинним осадом, монокальційфосфатом і гіпсом.

Реологічні характеристики суспензій у процесі кислотної переробки фосфоритів Полпінського родовища на стадіях розкладання, амонізації та змішування з калієвмісним компонентом досліджені в роботі [4 с. 41–46]. Досліджені вплив концентрації вихідної кислоти, мольного співвідношення амоніакфосфатної кислоти, співвідношення $J: T$, кількості хлориду калію на в'язкість отриманих суспензій у процесі нітратнокислотної переробки фосфоритів. Показано фундаментальну технологічну доцільність переробки фосфоритів Полпінського родовища нітратною кислотою на комплексні добрива при високому ступені розкладання сировини (близько 99%).

В роботі [5, с. 64] досліджений процес сульфатнокислотного розкладання низькоякісних фосфоритів з метою отримання екстракційної фосфатної кислоти в дигідратному режимі. Для забезпечення можливості переробки фосфатної сировини зі співвідношенням $R_2O_3 : P_2O_5 \gg 0,08$

в ЕФК розкладання фосфоритів сульфатною кислотою ввели за температури 50–60°C з вмістом надлишкового SO_3 у продукційній кислоті 3–4% (по масі).

При вказаних технологічних параметрах зменшувався ступінь переходу полуторних оксидів у рідку фазу порівняно з більш високою температурою, створювалися умови для збереження системи в метастабільному стані протягом тривалого часу. Крім того, скорочувалися втрати P_2O_5 з фосфогіпсом. Такі технологічні умови дозволяли отримувати без витрат на збагачення сировини фосфатну кислоту концентрацією 18–20% при ступені вилучення P_2O_5 89–92%. Отримана ЕФК була досліджена на випаровування та перетворення в умовах зберігання. Для цього частина попередньо отриманої кислоти піддавалася упарюванню, інша протягом місяця зберігалася в закритій ємності. В процесі охолодження з кислоти виділявся білий кристалічний осад, який складався здебільшого з суміші ізоморфних однозаміщених ортофосфатів заліза, алюмінію та кальцію, а також незначної кількості фосфатного ангідриду та напівгідрату. Після відділення осаду кислота перетворювалася в дуже в'язку масу, втрачала текучість і ставала непридатною для подальшої переробки.

Результати досліджень процесів розчинності та кристалізації в системі P_2O_5 - Fe_2O_3 -(SO_3)- H_2O наведені в роботі [6, с. 185]. Показано, що фосфати заліза, які утворюються в процесі розкладання фосфатної сировини, схильні до утворення пересичених розчинів. При зниженні температури стійкість пересичених розчинів зростає внаслідок негативного температурного коефіцієнта розчинності фосфатів заліза, а швидкість кристалізації фосфатів заліза збільшується зі зростанням температури та початкової концентрації Fe_2O_3 . В розчині фосфатної кислоти з домішкою сульфатної кислоти розчинність фосфатів заліза зростає пропорційно збільшенню вмісту H_2SO_4 . Присутність сульфат-іонів в розчині сприяє стабілізації пересичених розчинів. Процес екстракції фосфатної кислоти із залізовмісних фосфоритів з метою зменшення втрат корисного компонента (P_2O_5) у вигляді середніх фосфатів заліза автори пропонують проводити за температури не вище 60°C та деякому надлишку сульфат-іонів.

Кінетику розкладання низькоякісних фосфоритів фосфатною кислотою з метою отримання подвійного суперфосфату циклічним методом досліджували автори статті [7, с. 107–112]. В якості сировини використовували зразок чилійського фосфоритного борошна такого складу,

% мас.: P_2O_5 – 17,72; SiO_2 – 37,5; CaO – 30,3; MgO < 0,3; CO_2 – 3,56; Fe_2O_3 – 1,26; Al_2O_3 – 1,29; F – 2,38. Причому 68,9% від загального змісту P_2O_5 знаходилося в засвоюваній формі. Для розкладання використовували фосфатну кислоту концентрацією 40,6% P_2O_5 , взяту з нормою 500% від стехіометрично необхідної кількості на утворення монокальційфосфату. Показано, що швидкість реакції розкладання фосфориту зменшується з часом. Лімітуючою стадією розкладання є дифузія фосфатної кислоти через шар продуктів реакції. Результати дослідів показали принципову можливість отримання фосфатної кислоти, після нейтралізації і сушки якої отримували подвійний суперфосфат, який містив у % мас.: $P_2O_{5\text{заг.}}$ – 50,4-51,0; $P_2O_{5\text{водороз.}}$ – 46,5-47,0; $P_2O_{5\text{вільн.}}$ – 0,65-0,72. Результати аналізів зворотної фосфатної кислоти показали, що в ній не відбувається значного підвищення вмісту Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , F зі збільшенням кількості циклів.

З аналізу останніх досліджень і публікацій, які стосуються переробки «бідних» фосфоритів і наведені вище, можна дійти висновку, що більшість публікацій стосуються переробки закордонних фосфоритів. Кількість досліджень в галузі кислотної переробки українських фосфоритів є досить обмеженою і недостатньою для створення надійної технології отримання добрив з фосфатної сировини, яка містить значну кількість домішок, зокрема полуторних оксидів заліза та алюмінію. Тому необхідно дослідити процес кислотного розкладання низькоякісних фосфоритів з метою отримання нових експериментальних даних і закономірностей, необхідних для впровадження у виробництво мінеральних добрив нових видів фосфатної сировини.

Постановка завдання. Метою експерименту стало дослідження фізико-хімічних умов виділення сульфату кальцію із нітратнофосфатних розчинів у процесі розкладання озалізених фосфоритів сумішшю нітратної та сульфатної кислот у присутності циркулюючого нітратнофосфатного розчину.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження фізико-хімічних умов виділення сульфату кальцію із нітратнофосфатних розчинів у процесі розкладання фосфоритів сумішшю нітратної та сульфатної кислот проводили на зразку фосфориту такого хімічного складу у % мас.: 24,5% P_2O_5 ; 40,7% CaO ; 4,5% Fe_2O_3 ; 1,9% Al_2O_3 .

Дослідження проводили в термостатованому реакторі, обладнаному мішалкою, контактним

і контрольним термометрами. В реактор заливали розраховану кількість кислого розчину (суміш нітратної та сульфатної кислот та нітратнофосфатного розчину, ідентичного зворотному розчину у виробничих умовах) та перемішували за температури 60-80°C протягом 30-90 хвилин. Після закінчення процесу розкладання пульпу фільтрували за допомогою вакуум-фільтру. Осад промивали теплою водою (40-50°C).

Розчинність отриманого гіпсу досліджували кінетичним методом в розчинах фосфатної кислоти, нітрату амонію та їх сумішей у присутності іонів заліза та алюмінію в інтервалі температур 40-80°C. Концентрація фосфатної кислоти та нітрату амонію складала від 30 до 50% ($H_3PO_4 + NH_4NO_3$) привідношенні $NH_4NO_3 : (H_3PO_4 + NH_4NO_3)$ від 0 до 0,85. Домішки додавали у вигляді нітратів заліза та алюмінію в кількості від 0,5 до 1,5% Fe_2O_3 або Al_2O_3 .

Встановлено, що ізотерми розчинності гіпсу у нітратнофосфатних розчинах проходять через максимум, який відповідає співвідношенню нітрату амонію в суміші 0,7-0,8. Підвищення температури від 40 до 80°C призводить до збільшення розчинності $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в 1,2-1,5 рази (Рис. 1).

У вказаному інтервалі параметрів розчинність гіпсу у присутності іонів заліза та алюмінію є вищою, ніж у чистих розчинах, при цьому вплив іонів заліза на збільшення розчинності виявляється краще, ніж іонів алюмінію (Рис. 2). Підвищення розчинності гіпсу у присутності заліза та алюмінію пов'язано, мабуть, з утворенням вільної нітратної кислоти внаслідок обмінної реакції фосфатної кислоти з нітратами заліза та алюмінію, які були введені у вихідний розчин. При сумісній присутності вказаних домішок у нітратнофосфатних розчинах розчинність гіпсу в них нижче, ніж при введенні в розчин тільки іонів алюмінію.

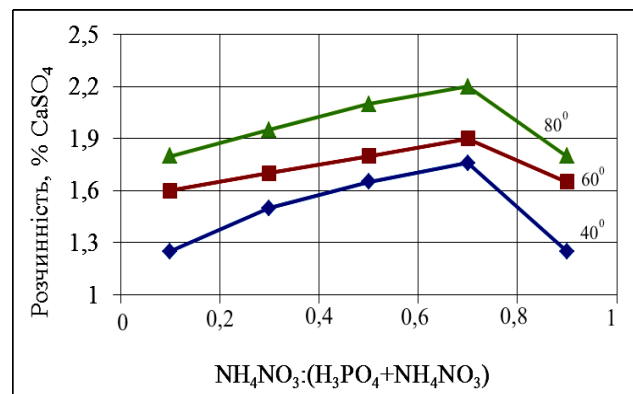


Рис. 1. Залежність розчинності гіпсу від співвідношення $NH_4NO_3 : (H_3PO_4 + NH_4NO_3)$

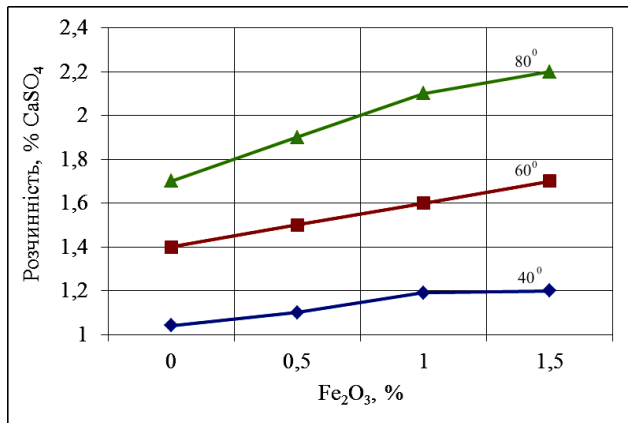


Рис. 2. Залежність розчинності гіпсу від вмісту Fe₂O₃

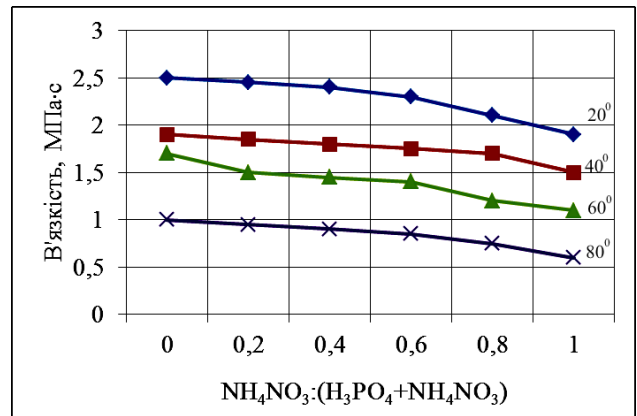


Рис. 3. Залежність в'язкості нітратнофосфатних розчинів від співвідношення NH₄NO₃: (H₃PO₄ + NH₄NO₃) в розчині

В'язкість розчинів фосфатної кислоти і нітрату амонію, які містять іони заліза та алюмінію, зменшується з підвищенням частки нітрату амонію у суміші та зі збільшенням температури (Рис. 3). Підвищення температури з 20 до 80°C призводить до збільшення в'язкості вдвічі-втричі. Зміна в'язкості нітратнофосфатних розчинів, які містять іони заліза та алюмінію, від температури та співвідношення між компонентами H₃PO₄ + NH₄NO₃ має майже лінійний характер (Рис. 3, 4).

В'язкість вказаних розчинів зменшується з підвищенням температури та співвідношенням NH₄NO₃: (H₃PO₄ + NH₄NO₃) в розчині. Присутність іонів заліза та алюмінію в кількості 0,5-1,5% збільшує в'язкість нітратнофосфатних розчинів на 2-12%. При цьому іони алюмінію більше впливають на підвищення в'язкості, ніж іони заліза.

Отримані дані вказують на доцільність проведення процесу кристалізації сульфату кальцію із нітратнофосфатних розчинів, які містять іони заліза та алюмінію, при масовому співвідношенні NH₄NO₃: H₃PO₄ = 2-2,5 при температурі не нижче 60°C.

Висновки. Досліджено фізико-хімічні умови виділення сульфату кальцію із нітратнофосфатних розчинів у процесі розкладання фосфоритів сумішшю нітратної та сульфатної кислот. Встановлено, що розчинність гіпсу у нітратнофосфат-

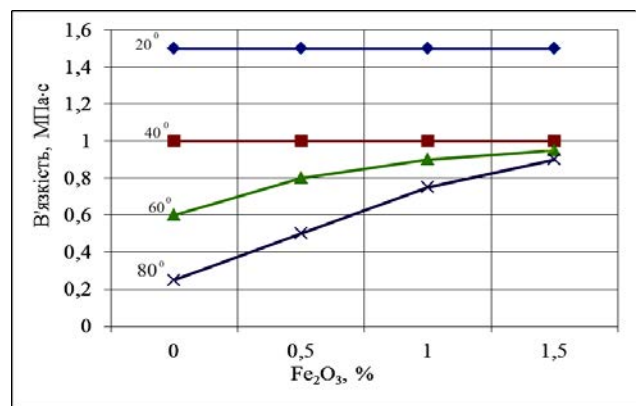


Рис. 4. Залежність в'язкості нітратнофосфатних розчинів від вмісту Fe₂O₃

них розчинах максимальна при співвідношенні нітрату амонію в суміші 0,7-0,8. Підвищення температури від 40 до 80°C призводить до збільшення розчинності CaSO₄·2H₂O в 1,2-1,5 рази. Розчинність гіпсу в присутності іонів заліза та алюмінію вища, ніж у чистих розчинах.

Збільшення співвідношення NH₄NO₃: (H₃PO₄ + NH₄NO₃) у нітратнофосфатних розчинах сприяє зменшенню в'язкості останніх. Присутність домішок заліза та алюмінію в рідкій фазі у кількості від 0,5 до 1,5% призводить до збільшення в'язкості розчинів на 10-30%.

Список літератури:

1. Пляцук Л.Д., Вакал С.В., Андриенко Н.И. Методы переработки природных фосфатов. Вестник СумДУ. 2006. № 5. С. 108–115.
2. Ларичева Л.П., Спицына Л.А., Мигура С.И. Кислотное разложение фосфоритов с повышенным содержанием полуторных оксидов. Scientific journal "Progressive researches "Science & Genesis". Prague (Czech Republic). 2014. P. 63–65.
3. Почиталкина И.А., Филенко И.А., Петропавловский И.А., Кондаков Д.Ф. Влияние температуры на кинетику азотнокислотного разложения высокореактивного фосфатного сырья. Химическая промышленность сегодня. № 9. 2016. С. 15–19.

4. Почиталкина И.А., Филенко И.А., Петропавловский И.А., Кондаков Д.Ф. Реологические характеристики суспензий в процессах кислотной переработки фосфорита Полпинского месторождения. Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология : Иван. хіміко-технол. ун-т (Иваноно). Том 59. № 10. С. 41–46.
5. Ларичева Л.П., Волошин М.Д. Дослідження процесу переробки низькоякісних фосфоритів у фосфатну кислоту. Збірник наукових праць ДДТУ. Вип. 1(28). Дніпродзержинськ, 2016. С. 165–169.
6. Ларичева Л.П., Волошин М.Д., Климяк А.Ю. The European and Practical Congress “Scientific Achievements 2015”. Volume 2. Vienna (Austria). 2015. P. 183–186.
7. Молдабеков Ш.М., Жантасов К.Т., Жанмолдаева Ж.К., Алтыбаев Ж.М. Кинетика разложения низкокачественных фосфоритов фосфорной кислотой и получение двойного суперфосфата циклическим способом. Современные наукоемкие технологии. № 11. 2013. С. 107–112.

Larycheva L.P., Hrebanova Ie.C., Pchenko S.A., Babenko A.C.
PHYSICO-CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL CONDITIONS
OF ACID PROCESSING OF LOW QUALITY PHOSPHORITES

The expansion of the raw material base for the production of mineral fertilizers in Ukraine is of great scientific and practical importance. Current studies of the physicochemical and technological regularities of acid processing of low-grade phosphorites to meet the challenges of implementing this method in industry are limited and insufficient. To obtain a new data on the effect of impurities on the physicochemical properties of solutions and solids at certain stages of the fertilizer production process is a need. The process of decomposition of phosphorites with a high content of iron oxides by a mixture of nitric and sulfuric acids in the presence of circulating nitrate phosphate solution was investigated. The purpose of the experiment was to study the physicochemical conditions for the separation of calcium sulfate from nitrate phosphate solutions during the decomposition process.

The solubility of the obtained gypsum in solutions of phosphoric acid, ammonium nitrate and mixtures thereof in the presence of iron and aluminum ions in the temperature range of 40-80°C by a kinetic method was investigated. The concentration of phosphoric acid and ammonium nitrate ranged from 30 to 50% ($H_3PO_4 + NH_4NO_3$) at a ratio of $NH_4NO_3 : (H_3PO_4 + NH_4NO_3)$ from 0 to 0.85. Impurities in the form of nitrates of iron and aluminum in an amount of from 0.5 to 1.5% Fe_2O_3 or Al_2O_3 were added. Isotherms of solubility of gypsum in nitrate phosphate solutions pass through the maximum corresponding to the ratio of ammonium nitrate in the mixture of 0.7-0.8 is established. Increasing the temperature from 40 to 80°C leads to an increase in the solubility of the gypsum by 1.2-1.5 times. In the studied parameter range, the solubility of gypsum in the presence of iron and aluminum ions is higher than in pure solutions.

The presence of iron and aluminum ions in the amount of 0.5-1.5% increases the viscosity of nitrate phosphate solutions by 2-12%. The viscosity of phosphate and ammonium nitrate solutions containing iron and aluminum ions with increasing ammonium nitrate in the mixture and with increasing temperature is decreases. The change in viscosity of nitrophosphate solutions is linear. It is shown that the process of crystallization of calcium sulfate from nitrate phosphate solutions containing iron and aluminum ions is advisable to carry out at a mass ratio of $NH_4NO_3 : H_3PO_4 = 2-2.5$ at a temperature not lower than 60°C.

Key words: acid processing of phosphorites, nitrate phosphate solutions, crystallization of calcium sulfate, viscosity of nitrate phosphate solutions, isotherms of solubility of gypsum.

Петріна Р.О.

Національний університет «Львівська політехніка»

Загородня Д.С.

Національний університет «Львівська політехніка»

Хом'як С.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Новіков В.П.

Національний університет «Львівська політехніка»

ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ ЕКСТРАКТІВ КАЛУСНОЇ БІОМАСИ *DELPHINIUM ELATUM*

У статті досліджуються екстракти калусної біомаси *Delphinium elatum* на вміст вторинних метаболітів. Проведено якісні реакції етанольних екстрактів калусної біомаси *D. elatum* на наявність алкалоїдів та отримано позитивні осадкові та кольорові реакції, які підтверджують наявність алкалоїдів у калусній біомасі рослини. Одержано екстракти з п'ятьма різними за полярністю екстрагентами: вода, етанол, етилацетат, ацетон, петролейних етер. Визначено вихід екстракту, отриманого з 10 г сухої калусної біомаси. Найвищий вихід отримано з використанням води та етанолу в якості екстракційних розчинників.

За допомогою спектрофотометричного методу кількісно визначено в екстрактах наявність фенольних сполук і флавоноїдів. Фенольні сполуки в досліджуваних екстрактах калусної біомаси *D. elatum* визначали з використанням реагенту Фоліна-Чекольтеу та виражали у вигляді еквіваленту галової кислоти (мгГК/г екстракту). Найвищий вихід фенольних сполук одержано в полярних розчинниках: етанольних, ацетонових і водних – 25,61; 23,54; 22,94 мгГК/г екстракту. Вміст флавоноїдів в досліджуваних екстрактах визначали за допомогою спектрофотометричного методу з хлоридом алюмінію та виражали в еквіваленті рутину (мгРВ/г екстракту). Найвищий вихід флавоноїдів одержано в етанольних, ацетонових і етилацетатних екстрактах (28,45; 28,14; 26,42 мгРВ/г екстракту).

Також визначено антиоксидантну активність одержаних екстрактів за допомогою методу з використанням етанольного розчину стійкого вільного радикалу DPPH (1,1-дифеніл-2-пікрилгідразилу). Антиоксидантна активність виражається у відсотках інгібування (%) та значеннях IC50 (мкг/мл). Отримані значення були в межах від 21,15% до 86,28%. Найвищі значення антиоксидантної активності одержано в етанольному екстракті, який нейтралізував 50% вільних радикалів при концентрації 175,84 мкг/мл. Для ацетонових, водних та етилацетатних екстрактів виявлено помірну активність. Найменша здатність до інгібування радикалів DPPH була визначена для екстракту петролейного етеру. Виявлено значну лінійну кореляцію між значеннями концентрації фенольних сполук і флавоноїдів та антиоксидантною активністю екстрактів *D. elatum*. Антиоксидантна активність збільшується при збільшенні вмісту фенольних сполук і флавоноїдів.

Подальші дослідження калусної біомаси *D. elatum* дозволять використовувати цю рослину як перспективне джерело природних біологічно активних сполук для розробки натуральних фармацевтичних продуктів, які мають високу цінність.

Ключові слова: *Delphinium elatum*, калусна біомаса, *in vitro*, алкалоїди, фенольні сполуки, флавоноїди, антиоксидантна активність.

Постановка проблеми. Лікарські рослини як і препарати на їх основі набувають все більшої популярності. Вторинні метаболіти, які у відповідних кількостях містяться в рослинах, дають їм можливість доповнювати або навіть замінити хімічно-синтезовані речовини.

Рослина *Delphinium elatum* належить до роду *Delphinium* родини Жовтецевих (*Ranunculaceae*). Родина налічує більше 50 родів та близько 1500-2500 видів трав'яних рослин, поширених по всьому світу. Серед них є багато отруйних рослин, які в малих дозах можуть бути терапевтичними,

жодна з рослин не використовується в їжу, більшість представників є багатими на вторинні метаболіти та володіють низкою активностей. На території України зростає 152 види рослин цієї родини, які належать до 25 родів. Рід *Delphinium* представлений у флорі України 8 видами, до Червоного списку МСОП включено 3 види: *D. caseyi*, *D. iris*, *D. munzianum* [1], до Червоної книги України – 5 видів: *D. elatum* L., *D. pallasii* Nevski, *D. rossicum* Litv., *D. sergeii* Wissjul, *D. puniceum* Pall [2].

D. elatum – багаторічна рослина, яка росте в Карпатах. Цьому виду мало приділяється уваги, окрім деяких фітохімічних досліджень, зроблених у роботах [3–5], де описано виділення дитерпенових алкалоїдів і флаваноїдів, які мають широкий спектр біологічної дії, що робить *D. elatum* цікавими для використання в фармації, біотехнології, косметології, ветеринарії.

Дитерпенові алкалоїди мають протизапальну, протипухлинну, антимікробну, анальгетичну, кардіологічну, курареподібну та антиаритмічну активність; фенольні сполуки та флавоноїди – антибактеріальну, антигрибкову, імуностимулюючу, анальгетичну, антиоксидантну. Рослину *D. elatum* використовують у народній медицині для лікування порушень кровообігу, кишкових паразитів, виразок та отруєнь від укусів змій. Оскільки *D. elatum* володіє лікарськими властивостями, цікавим є й ідентифікація вторинних метаболітів. Рослина вважається рідкісною і занесена до Червоної книги України, тому доцільним є її культивування в умовах *in vitro* з метою збереження популяції.

У роботі викладено дослідження ідентифікації алкалоїдів, загальних фенолів, флавоноїдів і визначення антиоксидантної активності у водних, етанольних, етилацетатних, ацетонових і петролейнофірних екстрактах калусної біомаси *D. elatum*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З літератури відомо, що рослини роду *Delphinium* містять різноманітні вторинні метаболіти. Так, всі частини рослини містять дитерпенові алкалоїди, третинні аміни. Загальний вміст алкалоїдів у коренях досягає 4%, в насінні – 2,5%, в листі – 1,3%. Головний алкалоїд – елатин, вміст якого становить приблизно третину від загальної кількості інших алкалоїдів рослини [6]. Також в літературі описано виділення з рослини *D. elatum* дитерпенових алкалоїдів (елатин, дельсемін, делартин, кондельфін, камферол) і флаваноїдів (кварцетин, кварцетин 3-О-β-D-глюкопіранозид, кварцетин 3-О-β-D-глюкопіранозид-7-О-α-L-арабінопіранозид) [3–5].

Описано ідентифікацію шести нових С19 нетерпеноїдних алкалоїдів з *Delphinium elatum* сорту *Pacific Giant*: н-форміл-4,19-секопацинін, імідоізодельфелін, імідопацилін, 6-дегідроеладин і елапацидин [4]. Визначено, що декілька дитерпеноїдних алкалоїдів з *Delphinium elatum* сорту *Pacific Giant* і їхні похідні мають цитотоксичні властивості проти ракових клітин легень, простати, носоглотки і вінкрисдин-резистентних ракових клітин носоглотки. Фітохімічні дослідження насіння *D. elatum* сорту *Pacific Giant* призвели до ізолювання чотирьох нових С19-дитерпеноїдних алкалоїдів: мелфелін, 19-оксоізодельфелін, Н-деетил-19-оксоізодельфелін, деетил-19-оксодельфелін [5].

При виділенні алкалоїдів і терпеноїдів використовують хроматографію. Прикладом є робота [6]. Це дослідження було проведене для визначення хімічних складників *D. caeruleum*. Вони були ізолювані та очищені колонною хроматографією на силікагелі, ODS і Sephadex LH-20. Їхню будову було визначено за допомогою інфрачервоної спектроскопії, мас-спектрометрії та ядерного магнітного резонансу. Десять сполук було отримано й ідентифіковано як керудельфінін А, лікоктонін, талітин Б, талітин А, талатин С, татсієнін-В, д-магнофлорин, 2-(триметиламоній)-3-(3-індоліл)пропіонат, вакхматин, делатизин.

Що цікаво, С19-дитерпенові алкалоїди, описані в цій роботі, були раніше виявлені у *D. elatum*, *D. barbeyi* та *D. caeruleum*. Це вказує на фітохімічну подібність цих видів рослин до *D. albocoeeruleum Maxim*. С19-дитерпенові алкалоїди можна вважати хіміко-таксономічним маркером роду *Delphinium*, адже вони присутні в *D. elatum*, *D. barbeyi*, *D. tatsinenense* і *D. giraldii*. Крім цього, їх присутність можна використовувати для ідентифікації *D. albocoeeruleum Maxim*.

Вивчення рослин роду *Delphinium* продовжується, і науковці представляють нові сполуки алкалоїдного і терпеноїдного походження. Більшість опублікованих наукових робіт щодо рослин роду *Delphinium* зроблені в Азії, що пояснюється ареалом поширення. Відсутність досліджень в Україні ймовірно спричинене тим, що *D. elatum* є рідкісним в Україні. Тому одержання біомаси рослини в умовах *in vitro* дозволяє працювати з рослиною, не впливаючи на її різноманіття в природі.

Постановка завдання. В основу роботи покладено дослідження екстрактів калусної біомаси *D. elatum* на вміст загальних фенолів, флавоноїдів і дитерпенових алкалоїдів при використанні різних екстрагентів та їх порівняльна характеристика.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для експерименту використано калусну біомасу *D. elatum*, одержану в умовах *in vitro* на живильному середовищі Мурасиге-Скуга, доповненому регуляторами росту: 1,0 мг/л α -нафтил-1-оцтової кислоти, 2,0 мг/л індолілоцтової кислоти, 0,5 мг/л 6-фурфуріламінопурина. Культивування проведено з фотоперіодом 16/8 год. (світло / темрява), освітленням 2000 лк, температурою $26^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, відносною вологістю 60-70% протягом 50 діб [7].

Екстракти калусної біомаси *D. elatum* отримано методом настоювання протягом 7 діб при кімнатній температурі з використанням як екстрагента 70%-го етанолу, етилацетату, ацетону, петролейного етеру. Водний розчин отримано при кип'ятінні сировини з дистильованою водою протягом 1 год. і перемішуванні. Співвідношення сировини: екстрагент – 1:10 (10 г калусної біомаси: 100 мл екстрагента). Тип екстрагенту впливає не тільки на екстрагування певної групи речовин, але й загальна кількість речовин залежить від гідрофільності екстрагенту.

Ідентифікацію алкалоїдів проведено за допомогою якісних реакцій із використанням етанольних розчинів калусної біомаси *D. elatum*. Є кілька загальних реакцій, які можуть бути використані для перевірки наявності алкалоїдів чи допомогти в їх ідентифікації. Вони включають в себе реакції осадження та реакції забарвлення.

З можливих осадкових реактивів, які найчастіше використовуються для визначення алкалоїдів, автори обрали реактив Майєра (розчин меркурію дихлориду та калію йодиду); реактив Вагнера та Бушарда (калію трійодид); реактив Шейблера (розчин кислоти фосфорновольфрамної) та реактив Хагера (насичений розчин кислоти пікринової). Всі використані реагенти дали з досліджуваними екстрактами позитивні осадкові реакції.

Кольорові реакції є неспецифічними, але вони часто дуже чутливі й зазвичай залежать від дегідратації або окиснення алкалоїдів з утворенням характерного кольору. Для кольорових реакцій використано реактив Фреде (розчин амонію молібдату в кислоті сульфатній) і реактив Маркі (формальдегід, кислота сульфатна). Всі проведені реакції дали з досліджуваними екстрактами позитивні кольорові реакції.

У водних, метанольних, етилацетатних, ацетонових і петролейнофірних екстрактах спочатку визначали вихід екстракту, отриманого з 10 г сухої калусної біомаси, вимірювали для кожного екстракту (Табл. 1). Найвищий вихід твердого

залишку був отриманий із використанням води або етанолу в якості екстракційних розчинників.

Таблиця 1

Вміст сухого залишку після екстракції і випарювання з 10 г сухої калусної біомаси *D. elatum*

Екстрагент	Вміст ¹ , г
Етанол	2,25±0,073
Вода	1,86±0,045
Етилацетат	0,54±0,038
Ацетон	0,28±0,092
Петролейний етер	0,12±0,028

¹Кожне значення – це середнє значення трьох вимірювань \pm стандартне відхилення

Отримано результати вмісту фенольних сполук у досліджуваних екстрактах калусної біомаси з використанням реагенту Фоїна-Чекольтеу, виражене у вигляді еквіваленту галової кислоти (ГК) (стандартне рівняння кривої $y = 7.026x - 0.0191$, $r^2 = 0.999$). Значення, отримані для вмісту загальних фенолів, виражаються у мг ГК/г екстракту (Табл. 2). Загальний фенольний вміст у досліджуваних екстрактах становив від 13,42 до 25,61 мг ГК/г.

Найвища концентрація фенолів була в етанольних, ацетонових і водних екстрактах. Екстракти етилацетату та петролейного етеру містять значно меншу концентрацію фенолів. Загальний вміст фенольних сполук в рослинних екстрактах *D. elatum* залежить від полярності розчинника, який використовується при екстракції. Висока розчинність фенолів у полярних розчинниках забезпечує високу концентрацію цих сполук в екстрактах, отриманих із використанням полярних розчинників для екстракції.

Таблиця 2

Загальний фенольний вміст в екстрактах *D. elatum*, виражений в еквіваленті галової кислоти (мг ГК/г екстракту)

Екстрагент	мг ГК/г екстракту ¹
Етанол	25,61±0,524
Вода	22,94±0,363
Етилацетат	16,66±0,812
Ацетон	23,54±0,516
Петролейний етер	13,42±0,196

¹Кожне значення – це середнє значення трьох вимірювань \pm стандартне відхилення

Отримано результати вмісту флавоноїдів у досліджуваних екстрактах, визначених за допомогою спектрофотометричного методу з хлоридом алюмінію (Табл. 3).

Таблиця 3

**Концентрація флавоноїдів в екстрактах
D. elatum, виражена в еквіваленті рутину
(мг РУ/г екстракту)**

Екстрагент	мг РУ/г екстракту ¹
Етанол	28,45±0,489
Вода	5,14±0,275
Етилацетат	26,42±0,784
Ацетон	28,14±0,327
Петролейний етер	9,23±0,547

¹Кожне значення – це середнє значення трьох вимірювань ± стандартне відхилення

Вміст флавоноїдів виражали в еквіваленті рутину (стандартне рівняння кривої $y = 17.231x - 0.0591$, $r^2 = 0.999$), мг РУ/г екстракту (Табл. 3). Вміст флавоноїдів в рослинних екстрактах *D. elatum* становив від 5,14 до 28,45 мг/г. Етанольні, ацетонові та етилацетатні екстракти містять найвищу концентрацію флавоноїдів. Концентрація флавоноїдів в екстракті етанолу становила 28,45 мг РУ/г, що було дуже схоже на значення концентрації екстракту ацетону. Найнижчу концентрацію флавоноїдів вимірювали в петролейному етері та водних екстрактах. Концентрація флавоноїдів у рослинних екстрактах залежить від полярності розчинників, які використовуються для приготування екстрактів.

Антиоксидантну активність (далі – АОА) досліджуваних рослинних екстрактів *D. elatum* визначали за допомогою етанольного розчину реагенту 1,1-дифеніл-2-пікрілгідразилу (DPPH), стійкого вільного радикалу. Свіжоприготований розчин DPPH має глибокий фіолетовий колір із максимумом поглинання при 517 нм. Цей фіолетовий колір здебільшого знебарвлюється, коли молекули антиоксидантів гасять вільні радикали DPPH (забезпечуючи атоми воднем або донором електронів, можливо, шляхом вільнорадикальної атаки на молекулу DPPH) і перетворюють їх у безбарвний / вибілений продукт (тобто 2,2-дифеніл-1-гідразин або заміщений аналогічний гідразин), що призводить до зниження абсорбції в діапазоні 517 нм. АОА п'яти досліджуваних екстрактів *D. elatum* виражається у відсотках інгібування (%) та значеннях IC50 (мкг/мл). Паралельно з вивченням АОА екстрактів калусної біомаси *D. elatum* було отримано значення для двох стандартних сполук і порівняно зі значеннями АОА. Стандарт-

ними речовинами використано аскорбінову кислоту та кварцетин, які мають 100% АОА.

Дослідження АОА екстрактів *D. elatum* показало різні значення. Отримані значення були в межах від 21,15% до 86,28%. Найбільша здатність до нейтралізації радикалів DPPH виявлена для етанольного екстракту, який нейтралізував 50% вільних радикалів при концентрації 175,84 мкг/мл. Для ацетонових, водних та етилацетатних екстрактів виявлено помірну активність. Найменша здатність до інгібування радикалів DPPH була визначена для екстракту петролейного етеру. Через низьку активність екстракту петролейного етеру IC50 для нього не розраховується. Порівняно зі значеннями IC50 аскорбінової кислоти та кварцетину етанольний екстракт *D. elatum* виявляв найсильнішу здатність до нейтралізації радикалів DPPH.

Екстрагування антиоксидантних речовин різної хімічної структури було досягнуто за допомогою розчинників різної полярності. Численні дослідження якісного складу рослинних екстрактів виявили наявність високих концентрацій фенолів в отриманих екстрактах із використанням полярних розчинників. Екстракти, які мають найвищу антиоксидантну активність, мають найбільшу концентрацію фенолів і флавоноїдів (Табл. 2, 3). Феноли є дуже важливими вторинними метаболітами рослин завдяки їх здатності до знищення вільних радикалів гідроксильними групами. Тому вміст фенолів і флавоноїдів у рослинах може безпосередньо сприяти їх антиоксидантній дії. Виявлено значну лінійну кореляцію між значеннями концентрації фенольних сполук і флавоноїдів (Табл. 2, 3) та антиоксидантною активністю екстрактів із *D. elatum*.

Висновки. Отримано та досліджено водні, етанольні, етилацетатні, ацетонові та петролейноетерні екстракти калусної біомаси *Delphinium elatum*. За допомогою якісних реакцій підтверджено наявність алкалоїдів у *D. elatum*. За допомогою спектрофотометричних досліджень підтверджено наявність фенольних сполук, флавоноїдів і визначено антиоксидантну активність. Проведено кореляцію між наявністю фенольних сполук та флавоноїдів і антиоксидантною активністю.

Подальші дослідження цієї рослини повинні бути спрямовані на проведення *in vivo* досліджень її лікарських активних компонентів з метою підготовки натуральних фармацевтичних продуктів, які мають високу цінність.

Список літератури:

1. Червоний список МСОП (IUCN Red List of Threatened Species).
2. Червона книга України. <https://redbook-ua.org/>.

3. Park J.C., Desai H.K., Pelletier S.W. Two new norditerpenoid alkaloids from *Delphinium elatum* var. "black night". *Journal of Natural Products*. 1995. V. 58(2). P. 291–295. doi:10.1021/np50116a024.
4. Wada K., Chiba R., Kanazawa R., Matsuoka K., Suzuki M., Ikuta M., Goto M., Yamashita H., Lee K.H. Six new norditerpenoid alkaloids from *Delphinium elatum*. *Phytochemistry Letters*. 2015. V. 12. P. 79–83. doi:10.1016/j.phytol.2015.02.010.
5. Wada K., Asakawa E., Tosho Y., Nakata A., Hasegawa Y., Kaneda K., Goto M., Yamashita H., Lee K.H. Four new diterpenoid alkaloids from *Delphinium elatum*. *Phytochemistry Letters*. 2016. V. 17. P. 190–193. doi:10.1016/j.phytol.2016.06.009.
6. Lin Ch.Z., Liu Z.J., Bairi Z.D., Zhu Ch.Ch. A new diterpenoid alkaloid isolated from *Delphinium caeruleum*. *Chinese journal of natural medicines*. 2017. V. 15(1). P. 45–48. doi: org/10.1016/S1875-5364(17)30007-9.
7. Петріна Р.О., Загородня Д.С., Шаповалов І.Ю., Федорова О.В., Новіков В.П. Одержання калусної біомаси *Delphinium elatum*. *PLANTA+*. *Досягнення та перспективи* : матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., присвяченої пам'яті Н.П. Максютіної (Київ, 20-21 лютого 2020 р.). Київ : ПАЛІВОДА А.В., 2020. С. 326–328.

Petrina R.O., Zahorodnia D.S., Khomiak S.V., Novikov V.P. SECONDARY METABOLITES OF EXTRACTS OF CALLUS BIOMASS OF DELFINIUM ELATUM

The article investigates the extracts of callus biomass *Delphinium elatum* for the content of secondary metabolites. Qualitative reactions of ethanolic extracts of callus biomass of *D. elatum* were carried out for the presence of alkaloids, and positive precipitation and color reactions were confirmed, which confirmed the presence of alkaloids in the callus biomass of the plant. Extracts were obtained with five different polarity extractants – water, ethanol, ethyl acetate, acetone, petroleum ethers. The yield of the extract obtained from 10 g of dry callus biomass was determined.

The highest yield was obtained using water and ethanol as extraction solvents. The presence of phenolic compounds and flavonoids was quantitatively determined in the extracts by the spectrophotometric method. The phenolic compounds in the studied callus biomass of *D. elatum* extracts were determined using a Folin-Cecolteu reagent and expressed as gallic acid equivalent (mgGA / g extract). The highest yield of phenolic compounds was obtained in polar solvents: ethanol, acetone and aqueous – 25.61; 23.54; 22.94 mgGA/g of the extract, respectively.

The content of flavonoids in the test extracts was determined by spectrophotometric method with aluminum chloride and expressed in the equivalent of rutin (mgRU/g of extract). The highest yield of flavonoids was obtained in ethanol, acetone and ethyl acetate extracts, 28.45; 28.14; 26.42 mgRU/g of the extract, respectively. The antioxidant activity of the obtained extracts was also determined by a method using an ethanolic solution of persistent free radical DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl). Antioxidant activity is expressed in percent inhibition (%) and IC₅₀ values (mg/ml).

The resultants obtained were in the range from 21.15% to 86.28%. The resultants of antioxidant activity were obtained in ethanol extract, which neutralized 50% of free radicals at a concentration of 175.84 µg/ml. Moderate activity was found for acetone, aqueous and ethyl acetate extracts. The least ability to inhibit DPPH radicals was determined for the petroleum ether extract. A significant linear correlation was found between the concentration values of phenolic compounds and flavonoids and the antioxidant activity of *D. elatum* extracts.

Antioxidant activity is increased by increasing the content of phenolic compounds and flavonoids. Further studies on the callus biomass of *D. elatum* will allow the use of this plant as a promising source of naturally occurring biologically active compounds for the development of high value pharmaceutical natural products.

Key words: *Delphinium elatum*, callus biomass, in vitro, alkaloids, phenolic compounds, flavonoids, antioxidant activities.

Римар Т.Е.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПОВНЮВАЧІВ НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ХОЛОДНОГО СПІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА

У статті досліджуються властивості композиційних теплоізоляційних матеріалів на основі рідкого скла з метою визначення найбільш ефективного наповнювача для отримання цих матеріалів. Отримання композиційних матеріалів відбувається шляхом омонолічування рідкоскляного грануляту зв'язуючим, також на основі рідкого скла, що спінюється хімічним шляхом при температурі навколишнього середовища. Ефективність введення гранул полягає в зменшенні деформативності і усадочних явищ спінених матеріалів та запобіганні їх розтріскуванню завдяки зниженню внутрішньої напруги, підвищенні їх міцних показників, зменшенні гігроскопічності та водопоглинання. Як наповнювачі були використані в'язучі речовини – цемент і алебастр, які виконують функцію як наповнювача (підвищуючи в'язкість композиції), так і отверджувача (сприяючи утворенню каменеподібних тіл при реакції з водою). Під час введення цих речовин до складу рідкоскляного зв'язуючого вони зв'язують надмірну кількість води, яка міститься у рідкому склі, в своїй кристалічній решітці, що дозволяє підвищити міцність теплоізоляційних матеріалів. У разі виготовлення теплоізоляційних матеріалів холодного спінювання наповнювач виконує ще і роль стабілізатора піни, оскільки підвищує в'язкість рідкоскляної композиції та не дає піні осісти до моменту її отвердження. Для отримання якісного матеріалу необхідно, щоб швидкість гелеутворення рідкоскляної композиції була децю вище швидкості виділення газу. Комбінування алебастру з цементом задовольняє цю вимогу і дозволяє розширити часовий інтервал отвердження композиції, стабілізувати спінену систему і, як наслідок, отримати матеріал з низькою щільністю та достатньо високою міцністю, а також знизити його водопоглинання та сорбційну вологість. Такі матеріали характеризуються щільністю 244 кг/м³, яка в 2–3 рази нижче за окреме застосування цементу і алебастру при збереженні на такому ж рівні міцнісних показників, що позитивним чином впливає на теплоізоляційні властивості матеріалів та дасть змогу для ефективного їх використання для теплоізоляції різних будівель та споруд.

Ключові слова: композиційні теплоізоляційні матеріали, рідке скло, наповнювачі, в'язучі речовини, фізико-механічні властивості.

Постановка проблеми. Приблизно половина усієї споживаної у світі енергії йде, як відомо, на опалювання будівель і споруд. Проблема обмеженості енергетичних ресурсів перетворюється на гостру кризу у світі, викликаючи багато політичних і економічних питань. Тому важливою складовою частиною практично усіх національних програм перспективного розвитку, орієнтованих на всесвітню економію паливно-енергетичних ресурсів, є забезпечення максимально ефективної теплоізоляції систем обігріву і огорожуючих конструкцій будівель і споруд [1]. Основним принципом під час вибору ефективної теплоізоляції повинен бути принцип відповідності довговічності її і основного будівельного матеріалу. Одними з найбільш довговічних вважаються матеріали на основі рідкого скла. Розрізняють спінені рідкоскляні матеріали, що представляють собою продукти спінювання гідратованих розчин-

них стеклол, і композиційні матеріали, що включають гранульоване спучене рідке скло і зв'язуюче [2, с. 145–153].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Композиційні теплоізоляційні матеріали (ТІМ) на основі рідкого скла (РС) можуть бути отримані шляхом омонолічування зернистих наповнювачів зв'язуючим та виготовлення виробів у вигляді блоків, плит тощо. Процес отримання композиційних матеріалів може здійснюватись як при температурі навколишнього середовища (шляхом холодного спінювання, за допомогою газоутворювача, що штучно вводиться у сировинну композицію), так і за підвищених температур (шляхом гарячого спінювання де пороутворювачем виступає силанольная або воднево-пов'язана молекулярна вода, що виділяється при нагріванні до 300–500°C) [3, с. 39–45].

Технології холодного спінювання мають такі важливі переваги перед технологіями гарячого

спінювання, як мала енергоємність і простота процесу виробництва. Однак холодним спінюванням не вдається отримати міцні і безусадкові матеріали через великі залишкові деформації, які протікають під час сушки матеріалу, оскільки після затвердіння матеріал містить ще деяку кількість води, яка повільно вивільняється та сприяє протіканню усадкових явищ, що призводить до розтріскування матеріалу [4–5]. Тому в цій роботі для усунення вказаних недоліків пропонується у рідкоскляну композицію, що спінюється, ввести гранульований наповнювач.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення найбільш ефективного наповнювача для отримання композиційних ТІМ на основі рідкоскляного грануляту шляхом холодного спінювання, який базується на дослідженні основних фізико-механічних властивостей даних матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Ефективність введення гранул полягає в зменшенні деформативності і усадкових явищ ТІМ та запобіганні розтріскуванню завдяки зниженню внутрішньої напруги; підвищенні їх міцнісних показників, оскільки гранульований матеріал володіє певною пластичною деформацією; зменшенні гігроскопічності та водопоглинання матеріалу, оскільки на поверхні гранул при спученні утворюється ущільнена оболонка, яка уповільнює кінетику поглинання води та її пари.

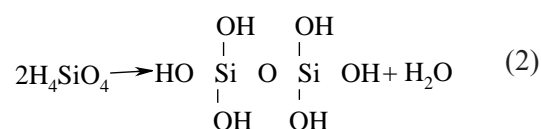
Процес приготування композиційних матеріалів шляхом холодного спінювання включає такі стадії: отримання гранульованого наповнювача, змішування компонентів сировинної маси для приготування зв'язуючого, змішування зв'язуючого з гранулами та формування виробу, спінювання маси за допомогою газоутворювача, затвердіння спіненої маси, сушка виробу при температурі навколишнього середовища.

Міцність наповнених композиційних матеріалів на основі рідкого скла, як і інших композитів, визначається багатьма факторами: безпосередньо міцністю зв'язуючого і наповнювача, співвідношенням їх міцнісних властивостей, ступенем адгезійної взаємодії між зв'язуючим і наповнювачем тощо. Рідке скло володіє високою реакційною здатністю, і введення в рідкоскляну систему у значній кількості тих чи інших наповнювачів майже завжди відбивається на кінетиці отвердження. Не так легко знайти речовини, які були б інертні по відношенню до рідкого скла. Тому рецептуру тієї чи іншої системи необхідно відпрацьовувати відразу за всією сукупністю властивостей, як до отвердження, так і після нього [6].

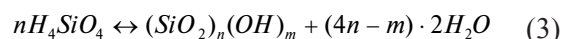
Для підвищення міцності композиційного теплоізоляційного матеріалу в рецептуру вводять різні мінеральні наповнювачі в'язучої або інертної дії.

При змішуванні в'язучої речовини – портландцементу з водою, вона утворює каменеподібне тіло. Утворення каменеподібних тіл зумовлено процесом поліконденсації з утворенням тривимірних сіток, який протікає при змішуванні цих речовин з водою.

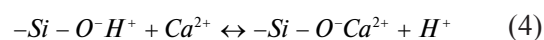
Процес твердіння цементу ґрунтується на утворенні хімічних сполук між вапном, кремнеземом, глиноземом і водою (тобто це процес гідратаційного твердіння). При гідратаційному твердінні цих неорганічних в'язучих речовин відбувається утворення з водного розчину (причому вода є не лише дисперсійним середовищем, але і бере участь у хімічній реакції) принципово нової в хімічному і фізико-хімічному сенсі фази новоутворень, тобто утворення кристалічного зростка – цементного каменю. Передумовами до утворення міцного тіла є утворення мономерних і полімерних гідросилікатів кальцію (кристалічних і аморфних). Найважливішим силікоксановим з'єднанням цементу є ортосилікат кальцію. При взаємодії з водою він піддається гідролізу з утворенням ортокремнієвої кислоти, яка вступає в реакцію поліконденсації:



І далі:

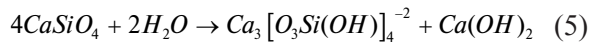


Полімерні кремнієві кислоти можуть утворювати солі кальцію (полімерні гідросилікати кальцію). Реакцію взаємодії силанольної групи з іоном кальцію в загальному вигляді можна представити як реакцію іонного обміну (реакцію хемосорбції), яка йде за схемою:



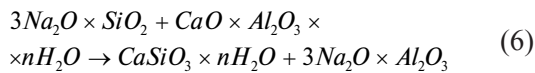
За звичайних умов при гідролізі двох молекул ортосилікату кальцію, як мінімум, утворюється один «зайвий» іон кальцію – «зайвий» моль гідро-

ксиду кальцію (і утворюються мономерні гідросилікати кальцію):

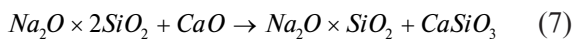


Високу механічну міцність матеріалу надають полімерні гідросилікати, схильні до переважної орієнтації в одному напрямку [7].

При додаванні рідкого скла до цементу вода, що міститься в ньому, йде на затворення цементу, а термін його схоплювання сильно скорочується. Зумовлено це тим, що в результаті хімічної реакції між лужним силікатом і складовими частинами цементного клінкеру (гідроалюмінати кальцію) утворюються колоїдні гідросилікати кальцію і алюмінат натрію:

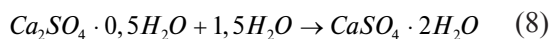


Крім того, протікає ще одна реакція, між рідким склом і вапном, що знаходиться в цементі з утворенням силікату кальцію:



Силікат кальцію дуже міцний і щільний матеріал [7], що буде сприяти застосуванню цементу як наповнювача для виготовлення композиційних ТІМ з метою підвищення їх міцнісних характеристик.

Аналогічно цементу, до утворення каменеподібних тіл призводить і реакція алебастру (напівводного гипсу) з водою:



Таким чином, у результаті гідратаційного твердіння напівводного гипсу утворюється двоводний гипс. А це іонне з'єднання, в якому окремі сульфогрупи роз'єднані іонами кальцію. Тому двоводний гипс не можна зараховувати до високомолекулярних з'єднань. Сірка з киснем утворює лише дуже нестійкі, гетероланцюгові полімери $(SO_3)_n$, які легко гідролізуються. Тобто за звичайних умов твердіння алебастру не утворює полімерних з'єднань, а утворює лише кристалічні решітки двоводного гипсу [8, с. 129–207].

Таким чином, при введенні в'язучих речовин (цементу і алебастру) до складу рідкоскляної композиції (РСК) для виготовлення теплоізоляційних

матеріалів вони будуть виконувати функцію як наповнювача (підвищуючи в'язкість композиції), так і отверджувача (сприяючи утворенню каменеподібних тіл при реакції з водою).

Основні властивості спіненого матеріалу із застосуванням алебастру і цементу представлені на рис. 1–3.

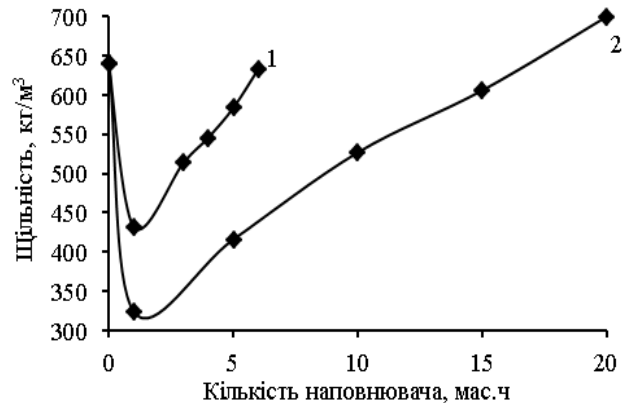


Рис. 1. Вплив виду і кількості наповнювача на щільність композиційного теплоізоляційного матеріалу: 1 - цемент; 2 - алебастр

З даних рис. 1 видно, що зразки, отримані із застосуванням цементу, мають у 1,5 рази більшу щільність, ніж у разі алебастру. Надлишковий вміст цементу у складі зв'язуючого понад 15 мас. ч призводить до активної взаємодії його з водою, яка міститься у рідкому склі, і до утворення каменеподібного тіла, внаслідок чого зменшується коефіцієнт спінювання і істотно збільшується щільність до 700 кг/м³ при 20 мас. ч цементу. Із застосуванням алебастру щільність зразків також достатньо висока 432–633 кг/м³ при кількості 1–5 мас. ч, оскільки збільшується в'язкість системи, і швидкість затвердіння композиції значно перевищує швидкість спінювання.

Таким чином, застосування окремо цементу або алебастру призводить до занадто інтенсивної реакції їх з рідким склом. Алебастр діє занадто енергійно і композиція швидко твердне. Цемент у малій кількості повільно набирає в'язкість, а при надлишку сприяє швидкому утворенню каменеподібних тіл. Саме тому слід комбінувати ці наповнювачі. На підставі проведених експериментів було визначено оптимальне співвідношення алебастру і цементу у РСК, яке складає 5 і 15 мас. ч відповідно, така кількість компонентів дозволяє розширити часовий інтервал затвердіння композиції і отримати досить міцний матеріал. Властивості такого матеріалу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1
Властивості композиційного теплоізоляційного матеріалу з застосуванням алебастру і цементу у кількості 5 і 15 мас. ч відповідно

Найменування показника	Значення показника
Коефіцієнт спінування	4,6
Щільність, кг/м ³	244
Вологість, %	18,8
Водопоглинання, %	45,4
Сорбційна вологість, %	12,5
Лінійна температурна усадка, %	4,7
Межа міцності при 10%-вій деформації стискування, МПа	0,5
Межа міцності при вигині, МПа	0,4
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К	0,065

З даних таблиці видно, що використання комбінованого наповнювача алебастру і цементу у складі зв'язуючого при отриманні ТІМ холодного спінування дозволяє розширити часовий інтервал затвердіння РСК і отримати матеріал з низькою щільністю (244 кг/м³), яка в 2–3 рази нижче за окреме застосування цементу і алебастру при збереженні на такому ж рівні міцнісних показників.

Дані рис. 2 і табл. 1 свідчать, що найменшими показниками водопоглинання і сорбційної вологості характеризується матеріал з комбінуванням алебастру з цементом і складають вони, відповідно, 45,4% і 12,5%. У разі застосування окремо алебастру і цементу у максимальній кількості 6 мас. ч і 20 мас. ч, відповідно, показники водопоглинання мають нижчі значення (42,3%

і 40,2% відповідно), але досягається це завдяки високій щільності матеріалу та зниженню пористості зразків. При окремому застосуванні 5 мас. ч алебастру і 15 мас. ч цементу водопоглинання складають порядку 48% за щільності зразків 584 і 606 кг/м³ відповідно.

Сорбційна ж вологість навіть за максимальної кількості алебастру і цементу при окремому їх застосуванні, яка складає 16%, вище ніж у разі комбінування наповнювачів, коли вона дорівнює 12,5%. Це свідчить про утворення найбільш впорядкованої структури ТІМ, яка запобігає проникненню парів вологи всередину матеріалу.

Межа міцності при стискуванні і при вигині теплоізоляційних матеріалів зі збільшенням кількості цементу зростає і за максимальної його кількості складає 0,64 МПа і 0,82 МПа, що пояснюється утворенням каменеподібного тіла внаслідок реакції цементу з водою, яке зумовлено процесом поліконденсації з утворенням тривимірних сіток. Показники міцності матеріалу зі збільшенням кількості алебастру також зростають внаслідок збільшення щільності і зменшення пористості зразків та складають відповідно 0,68 МПа і 0,8 МПа при стиску і вигині при 6 мас. ч наповнювача. За недостатньої кількості наповнювача (менше 1 мас. ч) піна є дуже крихкою, і її без ушкодження неможливо витягнути з форми. Комбінуванням алебастру з цементом вдається досягти достатньо високі міцнісні показники, які складають при стискуванні і при вигині відповідно 0,5 МПа і 0,4 МПа, при щільності зразків втричі меншій, ніж з застосуванням алебастру та цементу окремо. Передумовами до утворення міцного матеріалу

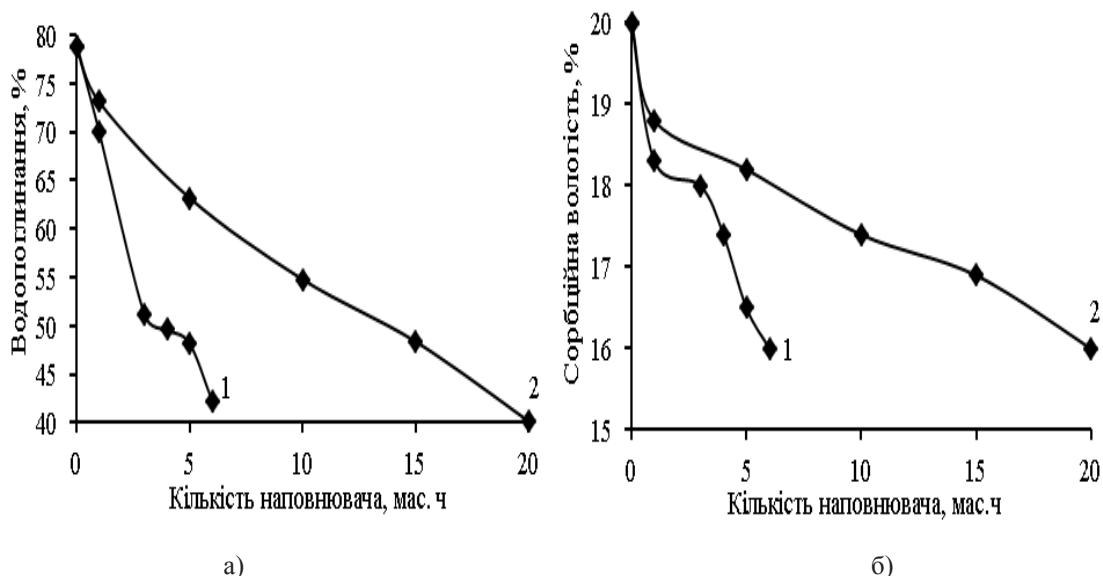


Рис. 2 Вплив виду і кількості наповнювача на водопоглинання (а) і сорбційну вологість (б) композиційного теплоізоляційного матеріалу: 1 - цемент; 2 - алебастр

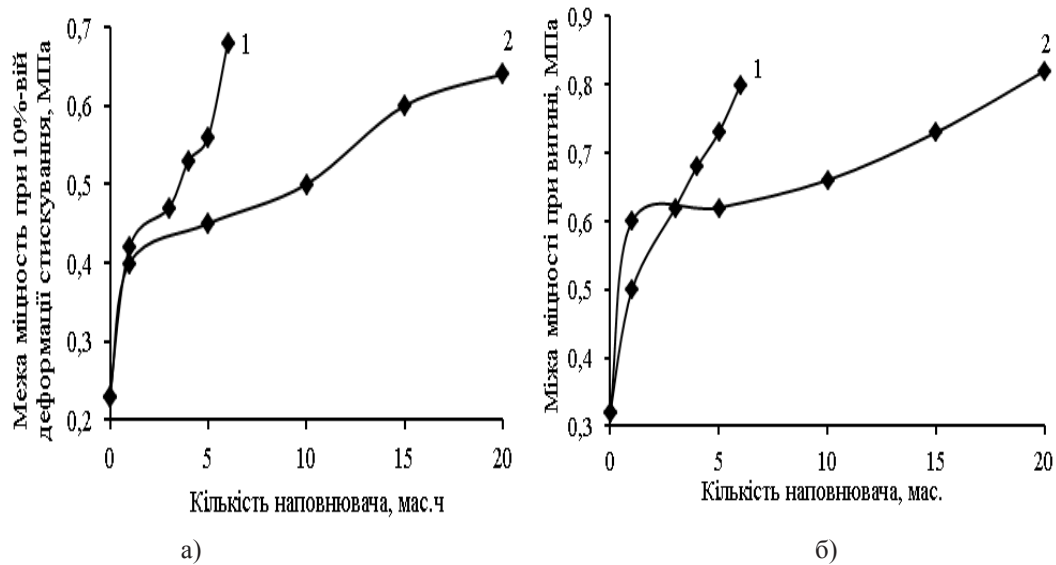


Рис. 3. Вплив виду і кількості наповнювача на межу міцності композиційного теплоізоляційного матеріалу при 10%-вій деформації стискування (а) і при вигині (б): 1 - цемент; 2 - алебастр

з застосуванням комбінації цементу і алебастру є утворення мономерних і полімерних гідросилікатів кальцію (кристалічних і аморфних), які надають високу механічну міцність матеріалу, завдяки схильності до переважної орієнтації в одному напрямі, внаслідок присутності цементу, та утворення кристалічної решітки двоводного гіпсу, внаслідок введення алебастру.

У разі виготовлення ТІМ холодного спінювання наповнювач виконує ще і роль стабілізатора піни, оскільки підвищує в'язкість РСК та не дає піні осісти до моменту її отвердження. Для отримання якісного матеріалу необхідно, щоб швидкість гелеутворення РСК була дещо вище швидкості виділення газу. Комбінування алебастру з цементом задовольняє цій вимозі і дозволяє розширити часовий інтервал отвердження композиції, стабілізувати спінену систему і, як наслідок, отримати

матеріал з низькою щільністю та достатньо високою міцністю, а також знизити водопоглинання та сорбційну вологість ТІМ.

Висновки. Доведено, що використання комбінованого наповнювача алебастру і цементу у кількості 5 і 15 мас. ч відповідно у складі зв'язуючого при отриманні ТІМ холодного спінювання дозволяє розширити часовий інтервал затвердіння РСК, що дає змогу здійснити рівномірне перемішування компонентів композиції та сформувати виріб. Отримані матеріали характеризуються низькою щільністю (244 кг/м^3), яка в 2–3 рази нижче за окреме застосування цементу і алебастру за збереження на такому ж рівні міцнісних показників, що позитивним чином впливає на теплоізоляційні властивості матеріалів та дасть змогу для ефективного їх використання для теплоізоляції різних будівель та споруд.

Список літератури:

1. Теплоизоляционные материалы. Выбор теплоизоляционных материалов. URL: <http://www.builderclub.com/statia/teploizolyacionnye-materialy-vybor-teploizolyacionnyh-materialov>.
2. Зарубина Л.П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии: 2-е изд. Санкт-Петербург : БХВ – Петербург, 2012. 416 с.
3. Малявский Н.И. Щелочно-силикатный утеплитель. Свойства и химические основы производства. *Российский химический журнал*. 2003. Т. 4. С. 39–45.
4. Способ получения теплоизоляционного материала на основе жидкого стекла: пат. 2177922 Россия: МКИ С04В 28/26. № 2000122266/03; заявл. 24.08.2000; опубл. 10.01.2002.
5. Способ получения блоков пеносиликата: пат. 2225373 (13) С1 Россия: МПК С03С11/00. № 2002123820/03; заявл. 06.09.2002; опубл. 03.10.2004.
6. Композиты на основе стекла. Виды композиционных материалов на основе стекла. URL: <https://studopedia.org/8-47123.html>.
7. Использование жидкого стекла в качестве ускорителя твердения цементов. URL: <http://www.ecohim.spb.ru/Prod31.htm>.
8. Черкинский Ю.С. Химия полимерных неорганических вяжущих веществ. Ленинград: Химия, 1967. С. 129–207.

Rymar T.E. STUDY OF THE INFLUENCE OF FILLERS ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE THERMAL INSULATION MATERIALS OF COLD FOAMING BASED ON LIQUID GLASS

The article investigates the properties of composite thermal insulation materials based on liquid glass in order determining the most effective filler to obtain these materials. Receiving of composite materials is carried out by means of grouting liquid-glass granulate of binder, also on the basis of liquid glass, which is foamed chemically at ambient temperature. Efficiency of introduction of granules consists in reduction of deformability and shrinkage phenomena of the foamed materials and prevention of their cracking due to decrease in internal tension, increase in their strength characteristics, decrease in hygroscopicity and water absorption. Binders – cement and alabaster – were used as fillers, which serve both as a filler (increasing the viscosity of the composition) and as a hardener (contributing to the formation of stonelike states in reaction with water). When these substances are introduced into a liquid-glass binder, they bind an excessive amount of water contained in the liquid glass in their crystal lattice, which allows increasing the strength of insulation materials. In case of manufacturing of thermal insulating materials of cold foaming the filler also acts as a stabilizer of foam as it increases the viscosity of liquid glass composition and does not allow the foam to settle by the time of its curing. To obtain a quality material, it is necessary that the gelation rate of the liquid-glass composition is slightly higher than the gas emission rate. Combination of alabaster with cement meets this requirement and allows to extend the hourly curing interval of the composition and stabilize the foam system, and as a result, to obtain a material with low density and sufficiently high strength, and reduce its water absorption and sorption humidity. Such materials have a density of 244 kg/m³, which is 2–3 times lower than the separate application of cement and alabaster, while maintaining the same level of strength, which will positively affect the thermal insulating properties of materials, which will make it possible to effectively use them for the thermal insulation of various buildings and structures.

Key words: *composite thermal insulation materials, liquid glass, fillers, binding agents, physical-mechanical properties.*

UDC 504.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/08>**Tkachuk K.K.**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Tverda O.Ya.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Repin M.V.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION OF THE INSTALLATION FOR NATURAL RESERVOIR CLEANING

Article is devoted to main problems of hazardous situation in rivers reservoirs are: discharges of under treated industrial sewage, household sewage water, increase of organic matter amounts, lowering the water level of reservoir during warm season, active uncontrolled growth of blue-green algae. In order to designate the measures for improving the quality of water in reservoirs, here is proposed the method of “choosing the best alternative”. This method allows execution of a comparative analysis of alternative measures using enumeration which includes technological parameters and organizational measures, provided with norms. In this thesis there is proposed a method justification for the measures to improve water quality. The solution of multi-criteria task via the method of choosing the best alternatives without full information allows numerical estimation of the water quality lowering possibility and to choose the best available method of increasing water quality in reservoirs. To choose and justify the measures that will ensure increasing of water quality in natural water reservoirs, there was carried out comparative analysis to determine the viability of alternative suggestions using a list of parameters and measures to search the best alternatives. Economic effectiveness of modelled measures is calculated with the indicator of the overall economic efficiency of environmental protection expenses. The effectiveness of the expenses is determined basing on the environmental protection substantiation stages and in process of results estimation for environmental protection program tasks and regional usage of natural resources on certain territory. The determination of environmental protection measures' pure ecological effect bases on comparing the expenses for their implementation to achieved result through these measures.

Key words: sewage water, water quality, comprehensive, analytical indicators, natural resources.

Introduction. The main problems of hazardous situation in Dnipro reservoirs are: discharges of under treated industrial sewage, household sewage water, increase of organic matter amounts, lowering the water level of reservoir during warm season, active uncontrolled growth of blue-green algae. In order to designate the measures for improving the quality of water in reservoirs, here is proposed the method of “choosing the best alternative” [1]. This method allows execution of a comparative analysis of alternative measures using enumeration which includes technological parameters and organizational measures, provided with norms.

Purpose of the article. Improving the efficiency of activities for natural reservoir cleaning.

Statement of the main research material. The solution of multi-criteria task via the method of choosing the best alternative in the condition of information lack allows numerical estimation for the probability of enormous uncontrolled algal growth appear-

ance. Because of one or another reason and according to that, recommend the best available measures or means to increase the water quality.

In this thesis there is proposed a method justification for the measures to improve water quality. This method allows identification of the process or parameter that can cause hazardous situation in water reservoir. The minus of this method is there is need to determine weighing factor for every specific point. On the other side this helps to estimate more precisely the reasons of possible hazards' appearance of lowering the water quality occurrence, and accordingly fitting measures to solve the problem.

The solution of multi-criteria task via the method of choosing the best alternatives without full information allows numerical estimation of the water quality lowering possibility and to choose the best available method of increasing water quality in reservoirs.

The criteria for the task solution on finding the most likely reason of water quality deterioration are:

degree of sewage treatment, rates of blue-green algae growth, amount of organic matter in water of the reservoir, rates of reservoir's ability to self-purification, and changes of water levels.

Economic effectiveness of modelled measures is calculated with the indicator of the overall economic efficiency of environmental protection expenses. This indicator is used when justified structure and volumes of environmental protection measures (including construction of environmental protection objects) and amount of capital investments of environmental protection purposes.

The main value of this indicator and also pure economic effect of environmental protection measures have for substantiation of project decision and for object of given type and capacity.

The effectiveness of the expenses is determined basing on the environmental protection substantiation stages and in process of results estimation for environmental protection program tasks and regional usage of natural resources on certain territory. There are three approaches to determining the economic effectiveness of environmental expenses:

- basing on expenses minimization of determined expenses;
- by comparison of the expenses with normal state of environment;
- by comparison of the expenses with the valuation of distorted economic losses (calculation of total economic efficiency).

The first approach has somewhat limited representation on real ecologic and economic effect as it is used for comparison of different variations of environmental protection activities and samples of environmental protection technologies, and estimates technical-ecological efficiency itself.

The second approach uses system of natural indicators which characterize “normal state of environment”. This means that effectiveness is calculated basing on expenses needed for achieving desirable (determined by norms) state of environment.

Due to lack of ecological standards' scientific development and to high practical cost of their achievement this approach hasn't got widening, though it is the most suitable for environmental protection activities aims from ecological point of view.

The most widespread approach is the one that allows fully enough take into account social and economic consequences of contamination by the way of comparison the expenses for environmental protection measures and its results, it allows to study deeper the expenses and losses and in such way estimate the economic effectiveness of environmental protection

activity. This approach enables taking into account the expenses for reimbursement of ecological harm as inevitable production expenses.

Pure economic effect of environmental protection measures is determined aiming the justification of technical and economic choice of the best alternatives which differ among themselves by influence on environment and by influence of production results of the industries and subject of economic activity. The determination of environmental protection measures' pure ecological effect bases on comparing the expenses for their implementation to achieved result through these measures.

But because of the situation, where for calculation of ecological and economic effect there is a need in operating installation which is impossible at this stage of investigations. This is why considered above approaches are unavailable. But there is a way to calculate the ecological and economic effect of the developed model of the installation. The formula of economic effect should be used. The empirical formula of economic effect looks as follows:

$$E = a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + \dots + a_i * x_i + a_n * x_n$$

with: a_i – average cost of yearly deposit (of the implemented measure) in i direction of measure completion, i.e. the average increase of pure income per year provided by this measure (using method of expert evaluation); x_i – amount of possible measures for i direction.

The realization of these measures can give increase of economic effect:

- minimum (pessimistic scenario) per 10%;
- maximum (optimistic scenario) per 17%.

As an income taken is effectiveness of the installation in cleaning the water, which means the level for which water was purified after implementation of the installation. In case of pessimistic scenario water will be cleaner per 10% (Table 1). And in case of optimistic scenario water will be cleaner per 17% (Table 1). All the calculations are based on existing data and on the results of previous calculations, analyses, and investigations [2].

On the table we can observe calculated results of installation operations. Basing on it we can theoretically estimate operation of the installation.

Before getting any income, there is a need of constructing the installation from the existing parts. For construction of the “Swan” we need 2 filters Smart-PondFilter EBF-1200G (900m³), one diesel engine Centaur 4L22BT (35 HP), container, and hull (Table 2). Their prices are listed in the Table 2. All the spending

is substituted basing on average prices for the parts that are variable.

From the Table 2 we can see that the cost of hull is approximate because the hull for the “Swan” is unique and there is no price for such constructions in ship building companies. Also, the cost of the instal-

lation construction can vary because depending on type of filters, engine and container (its price is added to the price of the hull) [3].

All the constituents chosen are the best alternatives between the offered on the market by few parameters: volume (amount of water let through the filter

Table 1

Change of water quality indexes for pessimistic scenario and for optimistic scenario at peak of algae bloom

Place	Date of probe	Temperature, °C	Factual main indexes of water quality			Values of main water quality indexes at 10%			Values of main water quality indexes at 17%		
			Dissolved O ₂ , mgO ₂ /dm ³	Chroma-ticity, ° PCS	COD, mgO/dm ³	Dissolved O ₂ , mgO ₂ /dm ³	Chroma-ticity, ° PCS	COD, mgO/dm ³	Dissolved O ₂ , mgO ₂ /dm ³	Chroma-ticity, ° PCS	COD, mgO/dm ³
Norm	SRN №4630-88 (till 2017)		≥4,0	-	15	≥4,0	-	15	≥4,0	-	15
	ESWO from 2012		-	-	50	-	-	50	-	-	50
River Ros	11.07. 2017	23	7,7	12,6	25,2	8,47	11,34	22,68	9,009	10,458	20,916
	21.08. 2017	27	5,6	18,5	36,4	6,16	16,65	32,76	6,552	15,355	30,212
River Ros	11.07. 2017	23,2	7,1	14,7	24,8	7,81	13,23	22,32	8,307	12,201	20,584
	21.08. 2017	27	5,4	17,2	40,5	5,94	15,48	36,45	6,318	14,276	33,615
River Ros	10.07. 2017	24	5,4	32	39	5,94	28,8	35,1	6,318	26,56	32,37
	16.08. 2017	24,5	3,9	39	41	4,29	35,1	36,9	4,563	32,37	34,03
Cherkasy w/i	10.07. 2017	23	6,9	50	20,1	7,59	45	18,09	8,073	41,5	16,683
	16.08. 2017	25	4,4	55	30,6	4,84	49,5	27,54	5,148	45,65	25,398
Svitlovodsk w/i	13.07. 2017	23	7,2	50	29,1	7,92	45	26,19	8,424	41,5	24,153
	16.08. 2017	25	5,8	54	34	6,38	48,6	30,6	6,786	44,82	28,22
Kremen-chuk w/i	04.07. 2017	22	6,56	40	39,5	7,216	36	35,55	7,6752	33,2	32,785
	14.08. 2017	25,3	6,7	59	36	7,37	53,1	32,4	7,839	48,97	29,88

Table 2

Expenses on the installation construction

№	Nomination	Model	Cost, UAH
1	Filter	SmartPondFilter EBF-1200G (900m ³)	801,590
2		SmartPondFilter EBF-1200G (900m ³)	801,590
3	Engine	Кентавр 4L22BT (35 HP)	51,424
4	Hull	(average cost of the sized hull)	520,000
5	Construction of the installation	20% from total cost of the components	330,920.8
6	Total		2,505,524.8

Comparison of different types of filters

Model	Smartpond Filter EBF 1200G	Smartpondfilter EBF-500G	Pondtech Filter 130i
Volume l/h	100,000	30,000	25,000
Dimensions, (L x W x H) mm	1350 x 1400 x 890	1350 x 720 x 890	1150 x 760 x 740
UV lamp	+	+	+
Built-in pump	+	+	+
Price, UAH	801,590	559,300	66,419

per hour), its physical parameters (length, width, and height), the presence of an ultraviolet lamp, whether the pump is built-in or not, and the price of the filter). The comparison was held out between 3 models of filters that were the most suitable for using in the installation. Namely there were: Smartpond Filter EBF 1200G, Smartpondfilter EBF-500G, and Pondtech Filter 130i. The comparison of the different filters is shown at the Table 3.

Table 3 explains the use of Smartpond Filter EBF 1200G instead of others. Although this filter has the biggest dimensional proportions and way higher price, its benefits overlap deficiencies. The amount of water that this filter can filtrate per one hour is more than two times bigger than capacity of others. Also, the dimensions of this filter in comparison to its abilities are reasonable, because such operational characteristics require corresponding space. At the same time Smartpondfilter EBF-500G and Pondtech Filter 130i cannot compete with the chosen model.

Conclusions. The expert valuation method showed two scenarios for installation implementation – pessimistic and optimistic. In case of pessimistic outcome the effectiveness will be 10%. In case of optimistic scenario it will gain 17% effectiveness.

Hydro-chemical analysis of the surface waters state showed that factors that influence hydro-chemical water state are: anomalous temperature conditions; lack of snow and heavy precipitations; lack of floods.

Excessive and uncontrolled growth of algae or other aquatic plants may provide very high concentration of dissolved oxygen, it is so-called supersaturation.

The ability of the reservoir to self-cleaning is a lot lower than it should be.

For that reason there is a need to help nature with restoration of good water quality. There are quite a few different methods of water treatment, but not all of them are suitable to be applied in natural water reservoir.

The usage of an installation for reservoir cleaning will improve the ability of the reservoir to self-cleaning. If the installation is implemented before the period of algal bloom starts, significant changes in water quality can be achieved even after one year of operation, which will be enlarged with every year after.

The extracted algae can be further used for biogas production, for cosmetology and health care, in food industry, and as a source of nutrients in agriculture, not to mention benefit of algae removal from water for fish and other aquatic organisms.

References:

1. Takehiro Nakamura. Ecosystem-based river basin management: its approach and policy-level application. *Special Issue: Japan Society of Hydrology and Water Resources*. 2005. Vol. 17, Issue 14. P. 271–272.
2. Barinova S. Essential and practical Bioindication Methods and Systems for the Water Quality. Assessment. *International Journal of Environmental Science and Natural Resources*. 2017. 2(3). P. 1–11.
3. Development of a procedure for determinating the basic parameter of aquatic ecosystems functioning – environmental capacity / V. Isayenko, S. Madzhd, Y. Pysanko et. al.]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 97. P. 21–28.

Ткачук К.К., Тверда О.Я., Репін М.В. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВУАРА

Стаття присвячена основним проблемам небезпечної ситуації на водоймах та річках від: скидів очищених промислових стічних вод, побутових стічних вод, збільшення кількості органічних речовин, зниження рівня води водойм у теплу пору року, активне неконтрольоване зростання синьо-зелених водоростей.

Для того щоб визначити заходи щодо покращення якості води у водоймах, у роботі запропоновано метод «вибору найкращої альтернативи». Цей метод дозволяє виконати порівняльний аналіз

альтернативних заходів з використанням перерахунку, який включає технологічні параметри та організаційні заходи, забезпечені нормами. Запропоновано обґрунтування комплексного методу заходів щодо покращення якості води. Рішення багатокритеріальної задачі методом вибору найкращих альтернатив без повної інформації дозволяє чисельно оцінити можливість зниження якості води та вибрати найкращий доступний метод підвищення якості води у водоймах. Для вибору та обґрунтування заходів, які забезпечать підвищення якості води у природних водоймах, було проведено порівняльний аналіз для визначення життєздатності альтернативних пропозицій, використовуючи перелік параметрів та заходи для пошуку найкращих альтернатив. Економічна ефективність модельованих заходів розраховується з показником загальної економічної ефективності витрат на охорону навколишнього середовища. Ефективність витрат визначається з огляду на етапи обґрунтування охорони навколишнього природного середовища та в процесі оцінки результатів виконання завдань програми охорони навколишнього природного середовища та регіонального використання природних ресурсів на певній території. Визначення екологічного впливу природоохоронних заходів ґрунтується на порівнянні витрат на їх реалізацію з результатом, досягнутим завдяки цим заходам.

Ключові слова: стічні води, якість води, комплекс заходів, аналіз життєздатності, природні ресурси.

Фролова Л.А.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

СПВОСАДЖЕННЯ ФЕРУМ(II) ТА КОБАЛЬТ(II) ГІДРОКСИДІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ФЕРИТІВ

Матеріали на основі фериту кобальту займають провідне місце в сучасній промисловості. Це перш за все зумовлене надзвичайно широким спектром використання цих матеріалів, що охоплює такі галузі застосування, як машинобудування, приладобудування, медицина, природоохоронні технології, аерокосмічний та військово-промисловий комплекси. Зростаючий інтерес до таких матеріалів зумовлений унікальним поєднанням цінних фізико-хімічних властивостей фериту кобальту, які характеризуються високими каталітичними і магнітними властивостями. Прогнозоване регулювання складу шпінелевих феритів розширює можливості ефективного використання таких матеріалів. Застосування рідкофазних технологій одержання дозволяє змінювати структуру, склад і, як наслідок, функціональні властивості фериту кобальту.

Зазвичай гідрофазний метод включає співосадження три- та двовалентних гідрооксидів з подальшою термообробкою за високих температур. Однак процес співосадження ферум(II) та кобальт(II) гідрооксидів досліджений не достатньо. В цій роботі досліджено систему $Fe^{2+}-Co^{2+}-SO_4^{2-}-H_2O$ за допомогою потенціометричного титрування, циклічної вольтамперометрії (ЦВА), встановлені послідовні стадії утворення полігідрококомплексів. З'ясовано, що процес осаждения полігідрооксидів перебігає в декілька стадій. На початковій стадії утворюються акваіони. Формування осаду відбувається через стадію утворення основної солі. Отримані ЦВА при мольному співвідношенні $n=[OH^-]/[M^{2+}]=1$ в системі $Co^{2+}-Fe^{2+}-SO_4^{2-}-H_2O$, хід кривих послідовно змінюється для циклів 1–5, що свідчить про відносну стійкість утворених проміжних сполук.

Ключові слова: гідроксид, ферит кобальту, полігідрококомплекс, вольтамперометрія, потенціометричне титрування, співосадження.

Постановка проблеми. Складні оксидні системи на основі фериту кобальту займають провідне місце в сучасній промисловості. Це перш за все зумовлене надзвичайно широким спектром використання цих матеріалів, що охоплює такі галузі застосування, як машинобудування, приладобудування, медицина, природоохоронні технології, аерокосмічний та військово-промисловий комплекси тощо [1–3]. Зростаючий інтерес до таких матеріалів зумовлений унікальним поєднанням цінних фізико-хімічних властивостей фериту кобальту, які характеризуються високими каталітичними і магнітними властивостями. Складність регулювання складу шпінелевих феритів унеможливає ефективне використання таких матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання рідкофазних технологій одержання дозволяє змінювати магнітні властивості фериту кобальту, каталітичну активність [3; 4].

Зазвичай гідрофазний метод включає співосадження три- та двовалентних гідрооксидів з подальшою термообробкою за високих температур. Процеси осаждения кобальт(II) гідроксиду досліджувалися багатьма авторами [3–6]. Однак

процес співосадження ферум(II) та кобальт(II) гідрооксидів досліджений не достатньо. Натепер запропоновані схеми стосуються співосадження гідрооксидів металів з використанням як осаджуючих агентів лугів, гідроксиламінів, карбаміду, карбонатів та гідрокарбонатів лужних металів, що дає змогу отримати однорідний продукт. Згідно з існуючою уявою осаждения перебігає у декілька стадій: на першій стадії іони металів утворюють комплекси з водним розчином, на другій стадії через стадію утворення основної солі відбувається формування осаду полігідрококомплексів, а на третій – вже утворюється гідроксид. Такі ступінчасті процеси сприяють спочатку утворенню зародків твердої фази з подальшим утворенням вторинних частинок шляхом агрегації наявних. Під час формування ланцюжкової структури подвійних шаруватих гідрооксидів важлива участь аніонів утворених основних солей. Експерименти показали можливість утворення однорідних осадів гідрооксидів різноманітних складів Al-Mg ПШГ, Al-Zn ПШГ, Al-Ca ПШГ та неможливість співосадження для гідрооксидів з подібним рН осаждениям [5]. Дослідженню формування перед-

структури феритів у системах Ni-Zn або Co-Ni-Zn гідроксидів присвячені також роботи [6; 7]. Можливість утворення співосаджених сполук пояснювалась близькими значеннями рН осадження відповідних гідроксидів. Утворення шпінельних фаз зі співосаджених гідроксидів за значно нижчих температур спостерігали в системах NiAl_2O_4 , CoAl_2O_4 [8; 9]

Постановка завдання. Метою статті є встановлення механізму співосадження ферум (II) та кобальт(II) гідроксидів на основі використання комплексу методів аналізу, а саме: потенціометричного титрування, циклічної вольтамперометрії, чисельного диференціювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження процесу співосадження проводилося в термостатичному реакторі, забезпеченому мішалкою та ртутним термометром (рис. 1). Постійну температуру підтримували за допомогою термостата ІТЖ-0-03 [9].

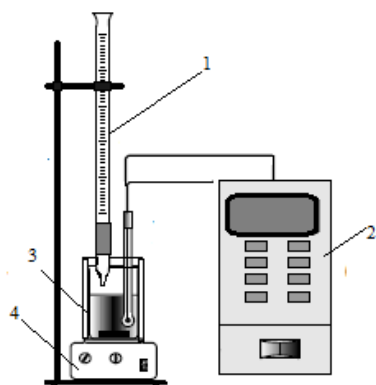


Рис. 1. Схема лабораторної установки дослідження співосадження гідроксидів 1-бюретка, 2-рН-метр, 3-реактор, 4- перемішувачий пристрій

Потенціометричне титрування проводилося при термостатуванні (1°C) на рН-метрі-мільвольтметрі рН-150. Як вимірювальний електрод використовували скляний марки ЕСЛ-15-11, як електрод порівняння – хлоридсрібний електрод марки ЕВЛ-1Г4, похибка вимірювань величини рН становила 0,02 од. Титрування проводили таким чином: з бюретки з ціною поділки 0,02 мл додавали розчин NaOH до вихідного розчину FeSO_4 та CoSO_4 . Для отримання порівняних результатів і спрощення інтерпретації кривих, обсяг NaOH, що додається, приводили до мольного співвідношення $n=[\text{OH}^-/\text{M}^{2+}]$.

Циклічні вольтамперограми (ЦВА) одержували за допомогою потенціостату Potentiostat / Galvanostat Reference 3000 (Gamry) у потенціодинамічному режимі за швидкості розгортання потенціалу 100 мВ/с. Робочим електродом слугувала платина площею 2,0 cm^2 . Допоміжний електрод був також платиновий. Електрод порівняння – насичений хлоридсрібний електрод марки ЕВЛ-1М1, з'єднаний з коміркою електролітичним містком.

На рис. 2 представлені криві потенціометричного титрування для системи Co^{2+} - Fe^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O . Криві титрування мають чисельні стрибки. Перша група в діапазоні $n=0,2-0,4$ відповідає нейтралізації вільної кислоти, утворенню гідратованих іонів $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ та $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ і початку утворення осаду. Піки на кривій титрування за $n=0,5-0,8$ відповідають послідовному утворенню проміжних сполук, невеликий стрибок за $n=1,8$ відбиває утворення основних солей, за $n=2$ відбувається повне осадження гідроксидів.

Циклічні вольтамперограми для досліджуваних систем характеризують стадії окиснення-

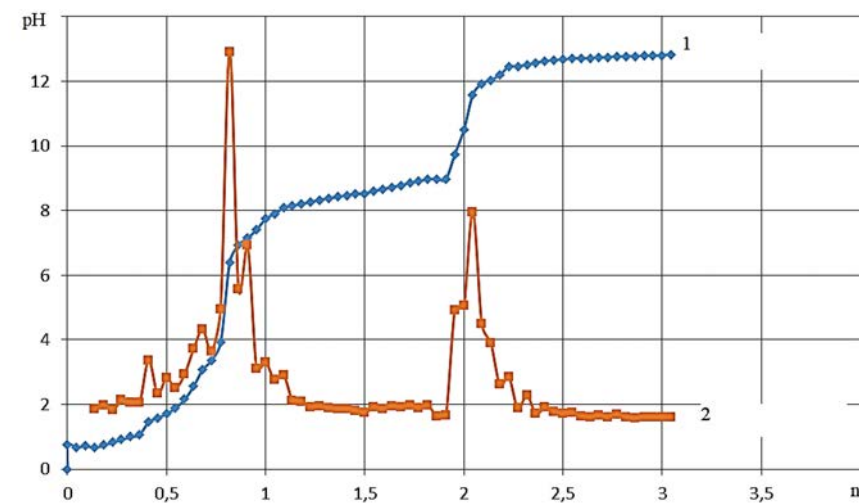


Рис. 2 Криві потенціометричного титрування розчинів Co^{2+} - Fe^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O , мольне співвідношення катіонів 1:2, інтегральна крива (1), диференціальна крива (2)

відновлення в розчині. На рисунках 3–5 наведені циклічні вольтамперограми, одержані в розчинах з різним складом ($\text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}^{2+} - \text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$) за $n=1$. Залежно від складу вони характеризуються наявністю низки характерних ділянок.

На рисунку 3 показані послідовні ЦВА, отримані $\text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ за $n=1$ для циклів 1–5. За анодної поляризації спостерігається різке зростання струму, яке відповідає перебігу процесів виділення кисню та окисненню сполук феруму (рис. 3).

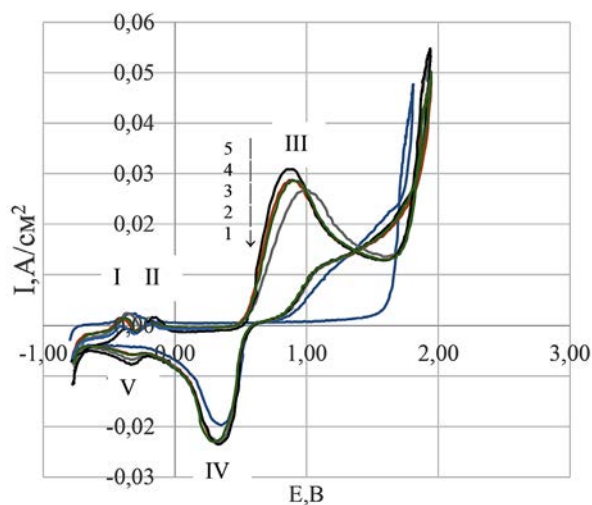
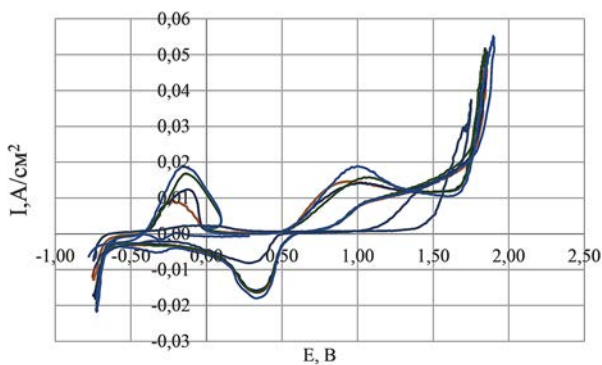
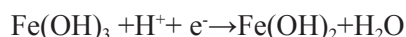


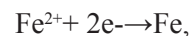
Рис. 3 ЦВА розчинів систем $\text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ за мольного співвідношення $[\text{OH}^-/\text{M}^{2+}]=1$ (п'ять циклів)

На катодній гілці ЦВА спостерігається декілька піків струму, зумовлених електрохімічним відновленням. Пік відновлення IV (+0,28В) відповідає відновленню Fe(III) до Fe(II) по реакції:



а)

та V пік (-0,38В), що відповідає реакції:



практично збігаються на прямий і зворотній розгортці. Хоча на цей час налічується велика кількість оксигідроксидних сполук феруму, можна припустити саме такий набір анодних і катодних реакцій, який зумовлений також обраним діапазоном циклування. При цьому площа піків може бути використана як критерій, що характеризує інтегральну швидкість процесу розкладу полігідросокомплексів, тобто концентрацію відповідних іонів в розчині (рис. 3). У кожному з них піки окислення I (-0.38В), II (-0.6В) і III (+ 0.87В) не збігаються між собою і збільшуються від 1 до 5 циклу.

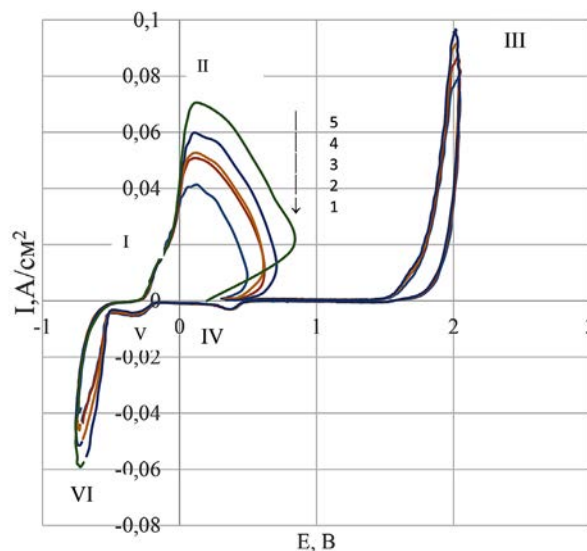
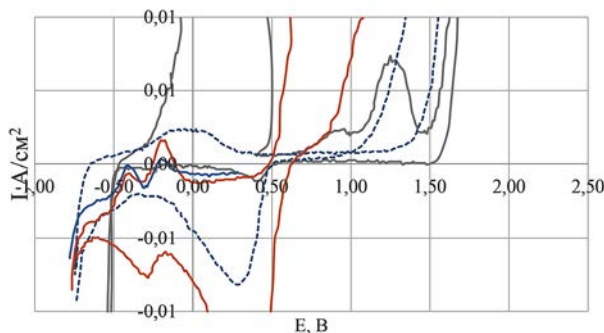


Рис. 4 ЦВА розчинів систем $\text{Co}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ за мольного співвідношення $[\text{OH}^-/\text{M}^{2+}]=1$ (п'ять циклів)



б)

Рис. 5 ЦВА розчинів систем $\text{Co}^{2+} - \text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ п'ять циклів (а) та $\text{Co}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ і $\text{Co}^{2+} - \text{Fe}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ (б) за мольного співвідношення $[\text{OH}^-/\text{M}^{2+}]=1$

ЦВА для п'яти послідовних циклів для розчинів системи Co^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O за $n=1$ показані на рисунку 4. Очевидно, що під час першого сканування $\text{Co}(\text{OH})_2$ відбувається двостадійне окислення (пік I і II) при $E = -0,2$ В і $E = +0,12$ В і відновлення (пік і IV і V) при $-0,4$ В і $-0,27$ В. Під час подальшого циклування перший анодний пік не змінюється, другий значно збільшується. Піки II і III, що пов'язані з окислювальними реакціями, поступово зменшуються.

Як впливає з одержаних даних (рис. 5а), за наявності в розчині одночасно катіонів феруму(II) та кобальту(II) площа піків аналогічна індивідуальним розчинам Fe^{2+} SO_4^{2-} - H_2O та Co^{2+} SO_4^{2-} - H_2O .

Крім того, на сумісному графіку за $n=1$ на катодних та анодних кривих присутні піки, що відповідають окисно-відновним процесам руйнування кобальту(II) та феруму(II) полігідроксиокомплексів. Поступове збільшення піків та деякий зсув катодного піку в бік позитивних значень можна пояснити утворенням більш стійких проміжних комплексів, порівняно з сполуками феруму.

Необхідно також відзначити, що прямий і зворотний хід катодних ділянок ЦВА не збігаються

між собою, що говорить про значний вплив поступового вивільнення катіонів із утворених полігідроксиокомплексів.

Оскільки у атома кобальта радіус менше, ніж у атому феруму, енергія зв'язку Co-O більше, тому відповідно до схеми Косселя основні властивості зменшуються в ряді $\text{Fe}(\text{OH})_2$ - $\text{Co}(\text{OH})_2$ та зростає стійкість комплексів, що пов'язано з заповненням електронами d-орбіталей з низькою енергією при октаедричному оточенні лігандами [10]. Тобто під час додавання луку утворюються комплексні сполуки.

Висновки. В роботі запропоновано використання методу потенціометричного титрування та циклічної вольтамперометрії для вивчення процесу співосадження феруму(II) та кобальту(II) полігідроксидів.

З'ясовано, що реакція взаємодії між розчинами FeSO_4 , CoSO_4 і NaOH перебігає в дві стадії. На початковій стадії утворюються акваіони. Формування осаду полігідроксиокомплексів відбувається через стадію утворення основної солі. За результатами ЦВА гідроксиди формуються у вигляді кобальту(II) та феруму(II) полігідроксиокомплексів.

Список літератури:

1. Kumbhar V. S. et al. Chemical synthesis of spinel cobalt ferrite (CoFe_2O_4) nano-flakes for supercapacitor application. *Applied Surface Science*, 2012, 259, P. 39–43.
2. Xu L. J., Chu W., Gan L. Environmental application of graphene-based CoFe_2O_4 as an activator of peroxydisulfate for the degradation of a plasticizer. *Chemical Engineering Journal*, 2015, 263, P. 435–443.
3. Saffari J. et al. Sonochemical synthesis of CoFe_2O_4 nanoparticles and their application in magnetic polystyrene nanocomposites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2014, 20, №. 6, P. 4119–4123.
4. Ren S. et al. A facile synthesis of encapsulated CoFe_2O_4 into carbon nanofibres and its application as conversion anodes for lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 2014, 260, P. 205–210.
5. Theiss F. L., Ayoko G. A., Frost R. L. Synthesis of layered double hydroxides containing Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} and Al^{3+} layer cations by co-precipitation methods—A review. *Applied Surface Science*, 2016, 383, P. 200–213.
6. Grégoire B., Ruby C., Carteret C., Hydrolysis of mixed Ni^{2+} - Fe^{3+} and Mg^{2+} - Fe^{3+} solutions and mechanism of formation of layered double hydroxides. *Dalton Transactions*. 2013. no. 42(44). 15687-15698.
7. Frolova L., Pivovarov A., & Butyrina T., Synthesis of pigments in Fe_2O_3 - Al_2O_3 - CoO by co-precipitation method. *Pigment and Resin Technology*. 2017. no.46(5). 356–361.
8. Фролова Л.А., Пивоваров О.А. Дослідження умов синтезу вихідних речовин одержання алюмінату кобальту. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології*, 2013, 11, № 2, сс. 303–312
9. Frolova L. An investigation on the synthesis of nickel aluminate. *Pigment & Resin Technology*, 2019.
10. Чундак С.Ю., Барчій І.Є. Основи хімії комплексних сполук: навчальний посібник. Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2019. 133 с.

Frolova L.A. CO-PRECIPIATION OF FERUM (II) AND COBALT (II) HYDROXIDES IN THE FERIT'S TECHNOLOGY

Materials based on cobalt ferrite occupy a leading position in modern industry. This is primarily due to the extremely wide range of use of these materials, covering such applications as engineering, instrumentation, medicine, environmental technologies, aerospace and military-industrial complexes. The growing interest in such materials is due to the unique combination of the valuable physical and chemical properties of cobalt ferrite, which are characterized by high catalytic and magnetic properties. The predicted regulation of the composition of spinel ferrites enhances the effective use of such materials. The using of hydrophase technologies allows to change the structure, composition and, as a consequence, functional properties of cobalt ferrite.

Typically, the hydrophase method involves the co-precipitation of tri- and divalent hydroxides, followed by heat treatment at high temperatures. However, the co-precipitation process of ferrous (II) and cobalt (II) hydroxides has not been sufficiently studied. In this work, the system of Fe^{2+} - Co^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O was investigated by means of potentiometric titration, cyclic voltamperometry (CVA), and sequential stages of formation of polyhydrocomplexes were established. It has been found that the process of precipitation of polyhydroxides proceeds in several stages. At the initial stage, aquaions are formed. The formation of sediment occurs through the stage of formation of basic salt. The CVA obtained at a molar ratio of $n = [OH^-]/[M^{2+}] = 1$ in the system Co^{2+} - Fe^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O , the course of the curves changes consistently for cycles 1-5, which indicates the relative stability of the formed intermediate compounds.

Key words: *hydroxide, cobalt ferrite, polyhydroxocomplex, voltammetry, potentiometric titration, coprecipitation.*

UDC 542.61

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/10>**Cheltonov M.M.**

Ukrainian State University of Chemical Technology

Kirichenko A.L.

State Enterprise Research-Industrial Complex "Pavlograd Chemical Plant"

Ustimenko E.B.

State Enterprise Research-Industrial Complex "Pavlograd Chemical Plant"

EXTRACTION OF CYCLOTETRAMETHYLENETETRANITRAMINE FROM SOLID PROPELLANT UTILIZATION PRODUCTS

The purpose of this work is to assess the ability of dimethyl sulphoxide for extraction of cyclotetramethylene tetranitramine (nitramine) from solid propellant polymer crumb of different sizes under laboratory conditions. Currently, for Ukraine, the disposal of ammunition, warheads, solid propellant rocket engines (solid propellant rockets) with expired storage is relevant. To solve this problem, the specialists of the "Pavlograd Chemical Plant" have been solving the problems of safe disposal of solid propellant using the hydromechanical method for more than 15 years. The hydromechanical method consists in the hydrodynamic extraction of fragments of solid propellant with its subsequent shredding.

Nitramine was extracted with dimethyl sulphoxide from the obtained SP polymer crumb followed by extract separation from the refined polymer crumb and nitramine deposition by adding the diluent (water) which does not dissolve nitramine into the extract solution. At the preliminary stage of work a water-soluble constituent – ammonium perchlorate was extracted from SP polymer crumb and because it is soluble both in dimethyl sulphoxide and in water, its presence in dimethyl sulphoxide extract is undesirable, since in case of dimethyl sulphoxide regeneration it is associated with additional costs. It was determined that the use of dimethyl sulphoxide makes it possible to extract about 87.6% of nitramine from SP polymer crumb with average particle size of up to 2 mm. According to the obtained thermochemical calculations and experimental work with the formulations of emulsion explosives with the addition of refined polymer matrix (PM) of various contents, it shows that the addition of PM to the composition of emulsion explosives to 10% leads to an increase in 11% of the energy characteristics of emulsion explosives, but does not lead to the formation of an additional volume of toxic gases, the amount of which remains virtually unchanged. The selected formulation with the optimal content of refined PM in emulsion explosives, which is recommended for use in experimental conditions. As the main pilot industrial method for the extraction of nitramine from SP, a method using dimethyl sulphoxide after a detailed technical and economic analysis is recommended.

Key words: solid propellant, extraction, cyclotetramethylenetetranitramine, dimethyl sulphoxide.

Introduction. Currently, for Ukraine, the disposal of ammunition, warheads, solid propellant rocket engines (solid propellant rockets) with expired storage is relevant. To solve this problem, the specialists of the "Pavlograd Chemical Plant" have been solving the problems of safe disposal of solid propellant using the hydromechanical method for more than 15 years. The hydromechanical method consists in the hydrodynamic extraction of fragments of solid propellant with its subsequent shredding.

Solid propellant (SP) is a polybutadiene-based polymer binder, filled with an oxidizer (ammonium perchlorate), as well as energetic additives (nitramine, i.e. cyclotetramethylenetetranitramine and aluminium) and process additives.

In the course of LMCs hydromechanical disposal the operating medium is a water, which extracts the most of water-soluble oxidizer (ammonium perchlorate) during extraction and shredding of solid propellant.

Nitramine may be extracted from the derived polymer crumb of solid propellant by selective organic solvents [1,3] either by separation of extract from raffinate (refined oil) with a subsequent nitramine deposition using the addition of a diluent (such as water) to the solution, or separation of nitramines and SP polymer crumb due to different densities of these components [2] in solution with intermediate density.

According to the literature [3], dimethyl sulphoxide (DMSO), N-methylpyrrolidone and γ -butyrolactone

have the highest solvent ability to nitramine, but for selective extraction of nitramine from polybutadiene-based solid propellant, DMSO is the most promising of the above solvents [1], since it has the highest solvent ability to nitramine among the above solvents, it is more affordable and is lower in cost than the above mentioned organic solvents.

Statement of the main research material. The purpose of this work is a study of the ability of DMSO extraction nitramine from SP polymer crumb of different sizes, i.e. “fine” fraction (average particle size is up to 2x2x2 mm) and “coarse” fraction (average particle size is from 7x4x4 mm to 15x4x4 mm). The polymer crumb of solid propellant contains, in addition to nitramine, the amount of ammonium perchlorate, which remains in SP upon extracting from LMC and shredding. And at the stage of nitramine extraction it is a by-product, since it is soluble both in dimethyl sulphoxide and in water, therefore its subsequent extraction from the spent aqueous solutions involves additional costs.

At the preliminary stage of laboratory studies the ammonium perchlorate was extracted with water from SP polymer crumb at temperature 75–80 °C for 2 hours. Then the derived solid polymer matrix (PM) was filtered, dried, weighed and analyzed for content of ammonium perchlorate, nitramine, aluminium and moisture. Table 1 shows chemical composition of PM “coarse” and “fine” fractions before and after water extraction respectively.

Procedure for laboratory studies for evaluation of DMSO extraction ability to extract nitramine from polymer matrix consisted of the following: PM and DMSO were weighed and placed into the beaker at the ratio of 1 : 2.5 respectively, then they were mixed by stirring mechanism (rate of stirring – 400 rpm) for 2 h at a temperature of 20–80 °C. Resulting PM refined suspension was filtered through the folded paper filter, dried and weighed. The water (diluent) was added while stirring to nitramine-containing DMSO extract at the room temperature (DMSO : water ratio – 1 : 1). Then after nitramine precipitation,

the derived precipitate was filtered through the folded paper filter, dried and weighed. It was determined the sensitivity of obtained nitramine to mechanical effects (impact, friction) as well as thermal stability by means of the differential thermal analysis (DTA) using Linseis L81 differential thermal analyzer. In order to determine safety characteristics the refined polymer matrix was tested for sensitivity to mechanical effects (impact, friction) and sensitivity to detonation pulse after nitramine extraction. The spent DMSO aqueous solution was regenerated by vacuum distillation in Laborota 4003 rotary evaporator under the following conditions: evaporating flask rotation speed of 50–75 rpm, residual pressure of 11 mm Hg, maximum temperature of 100 °C.

Results and discussion. Based on the results of the studies, temperature dependences of the degree of nitramine extraction from PM are presented, which are shown in Fig. 1: a) from the “fine” PM fraction, b) from the “coarse” PM fraction.

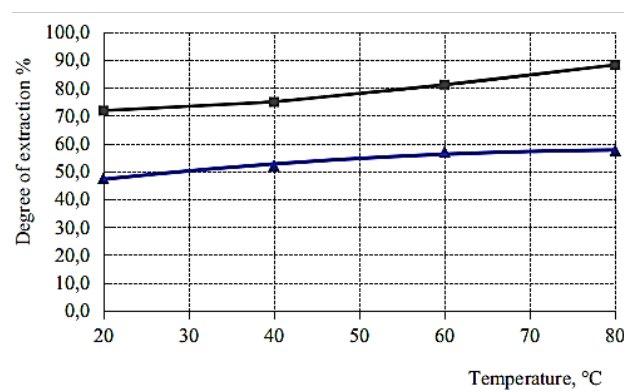


Fig. 1. The temperature dependence of the degree of extraction of nitramine: a) from a “fine” PM fraction, b) from a “coarse” PM fraction (stirrer rotation speed 400 rpm, extraction process time 2 h)

From the presented in fig. 1 dependences it follows that with increasing temperature the degree of extraction of nitramine from PM “fine” and “coarse” fractions increases according to the polynomial dependencies, which are described by the approxi-

Table 1

Chemical composition of PM coarse and fine fractions before and after water extraction

Component	Mass content of components of “fine” fraction, %		Mass content of components of “coarse” fraction, %	
	Before extraction	After extraction	Before extraction	After extraction
Polymer binder	9	13.1	7.8	8.3
Ammonium perchlorate	47	16.4	28.0	16.1
Nitramine	25	34.5	30.4	34.4
Aluminium	19	31.4	26.9	25.1
Moisture	-	4.6	6.9	16.7

inating equation with the value of the reliability of the approximation $R^2 \geq 0.99$:

$$\eta = at^2 + bt + c \quad (1)$$

where: η is the degree of extraction of nitramine, %; t is the temperature, °C; a , b , c – empirical coefficients depending on the temperature of extraction from: “fine” PM fraction ($a = 0.0021$, $b = 0.0555$, $c = 69.7$), “coarse” PM fraction ($a = -0.0031$, $b = 0.4995$, $c = 48.2$).

According to fig. 1, the optimal temperature for the extraction of nitramine from PM under specified conditions is a temperature range of 60–80 °C, the degree of extraction of a “fine” fraction from a PM is 81.1–87.6%, the degree of extraction of a “coarse” fraction from a PM is 66.8–68.2%.

Fig. 2 shows the appearance of nitramine crystals under the microscope Leica DMILM upon extraction of DMSO from PM (“fine” fraction).

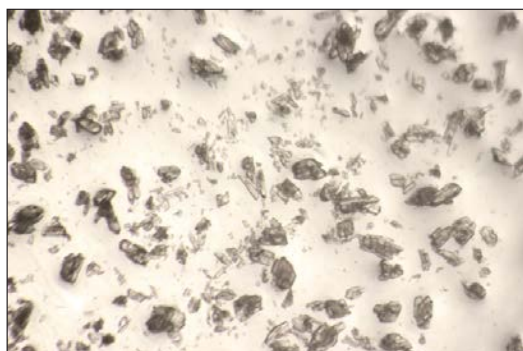


Fig. 2. Picture of nitramine crystals upon extraction of DMSO from PM (“fine” fraction)

As we can see at the picture (Fig. 2), the tests resulted in crystals which had halfway formed faces and defects and which required modification for further reuse.

In order to evaluate safety parameters in handling the derived product, its sensitivity to mechanical effects was determined. Impact and friction sensitivities were measured using BAM Hammer 782-0000 and BAM Friction Apparatus 781-0000 respectively according to the methods [4]. It was evaluated that refined nitramine had an impact sensitivity of 4...10 J and friction sensitivity of 216 N to >360 N. The obtained data show that the impact and friction sensitivity limit of derived nitramine is 2 and 2.7 times higher than minimum requirement values ≥ 2 J and ≥ 80 N respectively, which were established by UN requirements to ensure safety during transportation [4].

To evaluate the chemical purity of the obtained nitramine the DTA method was used. When conducting DTA tests, the heating rate of nitramine was 10 °C/min. The DTA thermogram of the obtained nitramine is shown in Fig. 3. Fig. 4 shows the DTA thermogram of commercial nitramine for comparison.

Based on the results of comparative analysis of DTA thermograms, it has been determined that nitramine obtained due to extraction from SP using dimethyl sulfoxide (Fig.3) has similar thermophysical characteristics to a commercial product.

During SP conversion reprocessing after extraction of nitramine wastes like DMSO aqueous solution and refined PM which are subject to additional reprocessing or disposal were formed. Table 2 shows amount of wastes for reprocessing of 100 g of PM using the example of fine fraction.

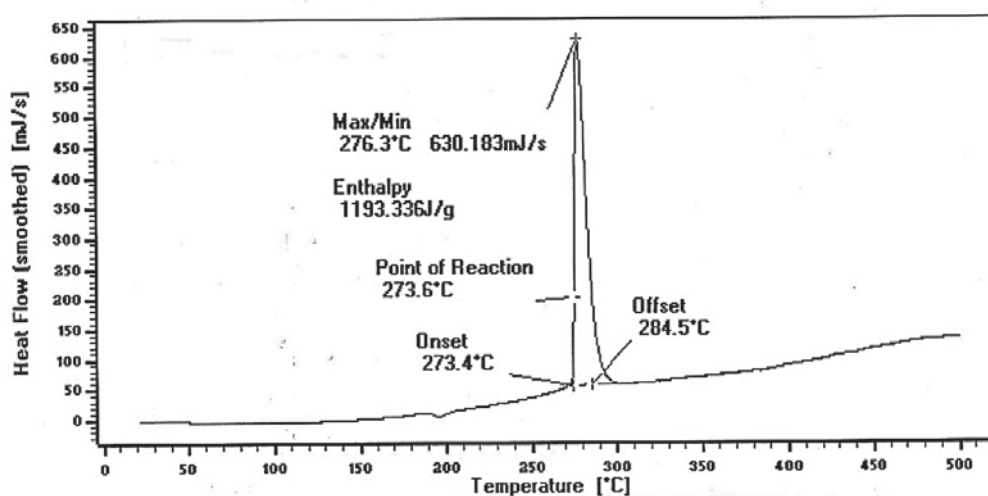


Fig. 3. DTA thermogram for nitramine obtained

Table 2
Amount of wastes from SP conversion reprocessing

Waste description	Amount of wastes for reprocessing of 100 g of PM, g
DMSO aqueous solution	464.3
Refined PM	76.5

The spent DMSO aqueous solution was regenerated by vacuum distillation in a rotary evaporator Laborota 4003 resulting in separation of the mixture into primary components suitable for reuse.

To select a method of disposal of refined PM, containing in its composition nitramine of up to 34.5%, ammonium perchlorate of up to 16.4% and not less than 4.6% of moisture, characteristics of its sensitivity to mechanical stress were determined. According to the results of the studies performed, it was established that the sensitivity to impact and friction is >50 J and >360 N, respectively. Thus, it was determined that the sensitivity to mechanical impact of refined PM with respect to PM prior to nitramine extraction decreased to impact from 32 J to >50 J, to friction from 220 N to >360 N. It should be noted that refined PM has sufficient energy calorific potential and therefore it is of interest to use it in industrial explosives composition as an energy additive.

Taking into account the current trends in the development of industrial explosives, it is obvious that the most secure basis for processing refined PM is water-filled emulsion explosives, which are a het-

erogeneous system consisting of a classical inverse emulsion (Division 5.1) and technological additives. This is primarily due to low sensitivity of emulsion explosives to mechanical and electrostatic effects, as well as characteristic properties of emulsion to create a relatively safe, phlegmatizing environment when it is filled with energetic materials, such as nitramine, aluminum. In addition, flexibility of emulsion explosives formulation ensures not only manufacturability and safety of its manufacture, but balanced oxygen balance (O_b), which in turn minimizes formation of toxic gases (CO , NO_x) during explosion.

To assess the effect of content of refined PM included into emulsion explosive on its physico-chemical characteristics, thermochemical calculations were performed for model formulations of emulsion explosives [5–6] containing from 0% to 15% of refined PM. Table 3 shows the results of thermochemical calculations.

According to Table 3, with up to 10% increase in content of refined PM in composition of emulsion explosives, heat of explosion increases by 11%. At the same time, content of CO in composition of explosion products slightly increases and remains at a minimum level (up to 3.83%). With further up to 15% increase in content of refined PM in composition of emulsion explosives, heat of explosion remains almost unchanged, but this significantly increases concentration of CO in composition of explosion products to 11.67%.

To assess the influence of the PM content in the explosive composition on its explosive characteristics,

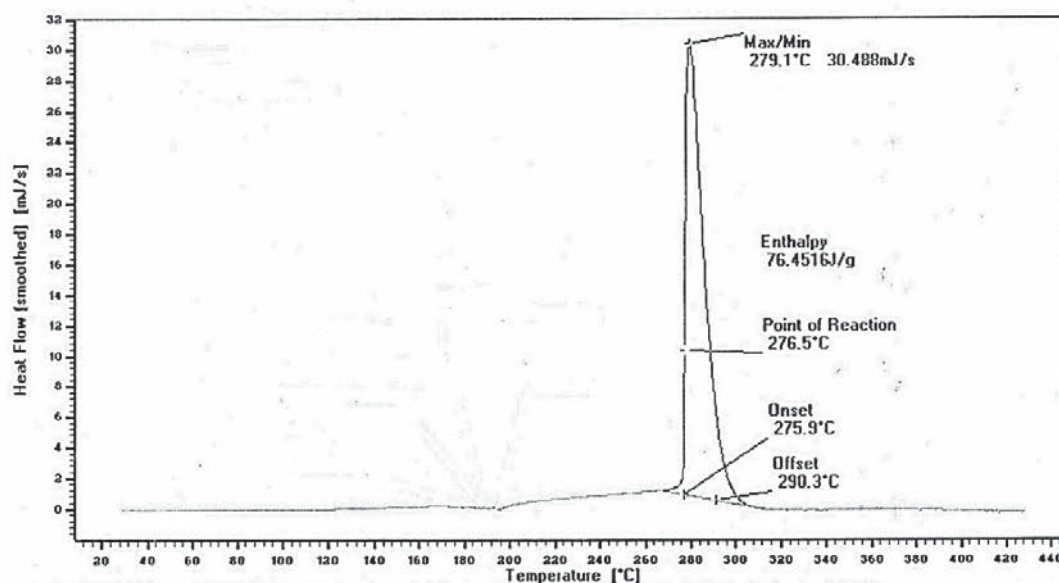


Fig. 4. DTA thermogram for commercial nitramine

we studied the propagation velocity of the detonation wave in the explosive charges in a polyethylene shell with a diameter of 90 mm and a length of 600 mm. The charges were initiated from an intermediate detonator (TNT) weighing 200 g. An “Explometr” device was used to determine the detonation velocity of explosive charges. The principle of operation, which is based on measuring the transit time of the luminous front of the detonation wave on a fixed segment of the charge. The results of the measurements are presented as the ratio of the distance and travel time of the detonation wave in the charge of the emulsion explosives and are presented in table 4. Also in table 4 presents the parameters of the density of explosive charges and the completeness of detonation.

Data analysis table. 4 shows that upon the initiation of emulsion explosives with a density of $1080 \div 1200 \text{ kg/m}^3$ and a PM content of up to 10% in the charge, a stationary detonation wave propagates at a detonation speed from 4115.7 m/s to 4171.1 m/s.

With an increase in the PM content to 15% in the charge of emulsion explosives, a decrease in the detonation speed to 3450.6 m/s is observed. In this case, the decrease in the detonation speed is due to the incompleteness of the explosive transformation reaction occurring behind the detonation wave front. Thus, the above theoretical and experimental studies show that the optimal PM content in the composition of emulsion explosives should not exceed 10%.

After a detailed technical and economic analysis and comparison of this method with alternative methods of extracting nitramine from products of SP disposal, it can be considered as the main experimental-industrial method for nitramine extraction.

After its modification nitramine obtained can be reused in compositions of heat-resistant explosives, solid rocket propellant, and non-electric initiation systems.

Regeneration of spent DMSO aqueous solution and use of refined PM as a filler in compositions of

Table 3

Results of thermochemical calculations for emulsion explosives containing refined PM

Parameter	Parameter value depending on refined PM content					
	0%	2.5%	5%	7.5%	10%	15%
Composition of emulsion explosive, %						
Oxidizing phase	69.2	70.4	59.8	58.1	56.1	51.4
Fuel phase	6.8	6.1	5.2	4.4	3.9	3.6
Ammonium nitrate	24.0	21.0	30.0	30.0	30.0	30
PM	0	2.5	5.0	7.5	10.0	15
Thermochemical parameters						
Explosion heat, kJ/kg	767	787	802.5	842	865	853
Gas volume, l	878.5	865	851.4	857	855	867
Oxygen balance	-0.29	-0.42	-0.59	-0.94	-1.5	-6
Explosion temperature, K	2701	2778	2856	2955	3033	3055
Composition of explosion products, %						
CO	1.92	2.13	2.44	2.89	3.83	11.67
CO ₂	12.66	11.95	11.12	10.54	9.22	0
H ₂ O	48.73	48.24	47.75	47.55	47.29	47.47
N ₂	24.11	23.44	22.7	23.64	23.72	22.94
Al ₂ O ₃	0	1.42	2.83	4.25	5.67	8.5
CaCl ₂	1.05	1.25	1.45	1.46	1.56	1.85
CaCO ₃	11.52	11.56	10.68	9.67	8.71	7.53

Table 4

The results of experimental studies to determine the thermochemical parameters of emulsion explosives based on PM

Parameter	The content of refined PM in emulsion explosives					
	0%	2.5%	5%	7.5%	10%	15%
Thermochemical parameters						
Density, kg/m ³	1120.0	1080.0	1090.0	1100.0	1120.0	1095.0
Detonation completeness	Full detonation	Full detonation	Full detonation	Full detonation	Full detonation	Full detonation
Detonation speed, m/s	4171.1	4115.7	4132.9	4147.9	4171.1	3450.6

emulsion explosives will allow creating an economically and environmentally grounded closed cycle of the process of extracting nitramine from solid rocket propellant disposal products.

Conclusions. As a result of the studies, the dependences of the influence of temperature on the degree of extraction of nitramine obtained from the PM of the “fine” and “coarse” fractions using DMSO are obtained, which are described by the general approximating equation with an approximation confidence value of $R^2 \geq 0.99$.

It was found that the highest degree of extraction – 87.6% of nitramine from the PM of the “fine” fraction was achieved in the experiment, which was carried out for 2 hours, at a temperature of 80 °C, and a rotation speed of the mechanical stirrer of 400 rpm.

The degree of extraction nitramine during extraction of dimethyl sulfoxide from PM of “coarse” fraction was 68.2%, which is 1.3 times less than the result obtained in the previous experiment. Thus, it is more

preferable to perform extraction from “fine” fraction of PM using dimethyl sulfoxide.

Refined PM has less than the minimum acceptable UN sensitivity requirements: to detonation impulse, mechanical stress, and indicates that refined PM is not dangerous for transportation as cargo and can be recommended for use as a filler in compositions of emulsion explosives after additional phlegmatization with reverse type emulsion.

On the basis of thermochemical calculations and experimental studies with the formulations of emulsion explosives with the addition of refined PM of various contents, it shows that the addition of refined PM in the composition of emulsion explosives up to 10% leads to an increase in 11% of the energy characteristics of emulsion explosives, but it does not lead to formation of an additional volume of toxic gases, the amount of which remains practically unchanged. This formulation is recommended for practical try-out under test conditions.

References:

1. Основы промышленной технологии утилизации крупногабаритных твёрдотопливных зарядов / Забелин Л.В., Р.В. Гафьятулин, А.Н. Поник, В.Ю. Мелешко. Москва : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. 226 с.
2. Патент 2145588 России, МПК С 06 В 21/00, F 42 D 5/04. Способ экологически чистой регенерации нитраминол из смесевых твёрдых ракетных топлив / В.Ю. Мелешко, Г.В. Кирий, В.А. Карелин, С.А. Гусев, В.И. Гребенкин, Ю.М. Милехин, Ю.С. Соломонов, А.Н. Ключников (Россия). – № 98109125/02; Заявл.05.05.1998; Опубл. 20.02.2000. 9 с.
3. Ломовцева Г.А., Веселова Е.В., Збарский В.Л., Юдин Н.В. О некоторых особенностях растворимости циклических нитраминол в органических растворителях. *Успехи в химии и химической технологии*: сб. научных трудов, РХТУ им. Д. И. Менделеева. Москва, 2012. Т. XXVI, № 3 (132). С. 21–25.
4. Recommendations on the transport of dangerous goods, manual of tests and criteria. 5th revised ed. New York and Geneva, 2009. 456 p.
5. Афанасенков А.Н., Богомолов В.М., Воскобойников И.М. Расчёт параметров детонационной волны смесей взрывчатых веществ с инертными добавками. *Физика горения и взрыва*. 1970. Т. 6, № 2. С. 182–186.
6. Физика взрыва / под ред. Л.П. Орленко. в 2-х т. Т. 1. Москва : Физматлит, 2002. 826 с.

Челтонов М.М., Кириченко О.Л., Устименко Є.Б. ЕКСТРАГУВАННЯ ЦИКЛОТЕТРАМЕТИЛЕНТЕТРАНІТРАМІНУ З ПРОДУКТІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ПАЛИВА

На сьогодні в ході утилізації твердих ракетних палив (ТРП) із закінченим терміном зберігання зі споряджених корпусів двигунів (СКД) актуальним є питання повернення матеріальних ресурсів, а саме ефективного вилучення компонентів ТРП (амонію перхлорату, циклотетраметилентетранітраміну). Об'єктом досліджень є тип ТРП, який представляє собою полімерне зв'язує на основі полібутадієну, наповнене окислювачем (амонієм перхлоратом), енергетичними (циклотетраметилентетранітрамін, алюмінієм) і технологічними домішками. Одним із способів вилучення циклотетраметилентетранітраміну (нітраміну) з ТРП є застосування селективних органічних розчинників, якими є диметилсульфоксид (ДМСО), N-метилпіролідон, γ -бутіролактон.

Метою цієї роботи є оцінка екстракційної здатності диметилсульфоксиду (ДМСО) для вилучення нітраміну з полімерної крихти твердого ракетного палива різного розміру в лабораторних умовах. З отриманої полімерної крихти ТРП нітрамін екстрагувався ДМСО з подальшим відділенням екстракту від рафінованої полімерної крихти і висадженням нітраміну шляхом введення в розчин екстракту розчинника, нерозчинюючого його – води. На попередньому етапі робіт з полімерної крихти ТРП було вилучено водорозчинний компонент – амоній перхлорат, який розчиняється як в ДМСО, так і у воді і тому його присутність в екстракті ДМСО небажана, оскільки процес регенерації ДМСО

ускладнюється додатковими витратами. Визначено, що застосування ДМСО дозволяє вилучати з полімерної крихти ТРП з середнім розміром часток до 2 мм до 87,6% нітраміну. Проведений термохімічний розрахунок рецептури емульсійної вибухової речовини з рафінованою крихтою ТРП після вилучення нітраміну різного змісту. Згідно з отриманими термохімічними розрахунками вибрана рецептура з оптимальним змістом рафінованої полімерної матриці в емульсійній вибуховій речовині, яку рекомендується використати в промислових умовах. В якості основного дослідно-промислового методу вилучення нітраміну з ТРП рекомендується метод із застосуванням ДМСО після детального техніко-економічного аналізу.

Ключові слова: тверде ракетне паливо, екстракція, циклотетраметилентетранітрамін, диметилсульфоксид.

Шумило К.П.

Дніпровський державний технічний університет

Белянська О.Р.

Дніпровський державний технічний університет

Крюковська О.А.

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВО-ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Однією з проблем наукового інтересу є раціональне поводження з відходами, включаючи збирання відходів, компостування, споживання, зменшення кількості відходів. У статті досліджується енергоекологічний метод переробки промислово-побутових відходів та її вплив на навколишнє середовище. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено доцільність переробки промислово-побутових відходів методом анаеробного зброджування з додаванням до вихідної суміші активного мулу та шламу розчину кальцієвої селітри (РКС) та вплив продуктів анаеробного зброджування на організм людини. Розглянуто небезпечні та шкідливі фактори впливу на організм людини під час функціонування енергоекологічної технології переробки відходів і методи їх попередження. Досліджено показники якості одержаного комплексного добрива на основі промислово-побутових відходів, активного мулу та шламу РКС.

Досліджено ефект додавання кальцієвмісного шламу РКС та розчину кальцієвої селітри в концентраціях 5, 8, 10, 13, 15, 18% у метановому резервуарі з розчином побутових відходів та міських стічних вод. Представлена кінетика зміни вологості отриманого добрива після додавання шламу з різною концентрацією. Порівнюючи отримані експериментальні і математичні залежності, видно, що існує між ними суттєва різниця: у разі додавання оптимальної концентрації осаду спостерігається позитивний ефект під час експериментального випробовування. Визначено якість за концентраціями 25 хімічних елементів отриманих добрив після додавання кальцієвмісного шламу до біореактора.

На основі експериментальних даних була розроблена технологія отримання комплексних добрив з використанням регулюючої добавки кальцієвмісного шламу. Рекомендовані основні засоби індивідуального захисту під час дослідження енергоекологічного методу переробки промислово-побутових відходів.

Ключові слова: промислово-побутові відходи, охорона праці, анаеробне зброджування, біогазова установка, комплексне добриво.

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

Одним із шляхів запобігання їх накопиченню є утилізація та знешкодження харчових побутових відходів з використанням процесу анаеробного зброджування. Анаеробне зброджування – це природний процес перероблення мікроорганізмами за заданого температурного режиму органічно-мінерального субстрату з виділенням цінного біогазу, що також може реалізовуватись на потреби держави. Розвиток і широке використання технології анаеробного зброджування допоможе одночасно розширити сировинну базу добрив, утилізувати накопичені промислово-побутові відходи, активний мул та шлам розчину кальцієвої селітри (РКС), а також суттєво поліпшити екологічний стан довкілля.

Будь-яке середовище, в якому перебуває людина, особливе виробниче, є джерелом потенційних небезпек та небезпечним чи шкідливим чинником для здоров'я людини. Небезпечний чинник за певних умов може призвести до травм на виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Утилізація побутових відходів стає глобальною проблемою в розвинених країнах. За даними міжнародних рекомендацій і законодавства, різні технології використовуються для скорочення обсягу захоронення органічних відходів, поліпшення утилізації органіки і поживних речовин [2, с. 1–16].

Серед технологій, що використовуються для перероблення побутових відходів (OFMSW), найбільш широко рекомендованою як екологічно безпечною є технологія анаеробного зброджування [3, с. 896–902].

Анаеробне зброджування відходів біомаси зменшує й усуває широкий спектр екологічних забруднень, покращує санітарний стан довкілля, допомагає в боротьбі з забрудненням води й повітря, знижує викиди парникових газів. Крім того, цей процес забезпечує отримання якісного, багатого поживними речовинами добрива та вихід енергії у вигляді біогазу [4, с. 300–303; 5, с. 952–966].

Є два основних температурних режими для анаеробного зброджування: мезофільний (від 32 до 42 °С) і термофільний (від 48 до 55 °С). У мезофільному режимі процес зброджування проходить за більш низької температури, він відбувається повільніше і дає менше біогазу, однак мезофільні реактори залишаються більш популярними внаслідок їх нижчих енергетичних затрат порівняно з термофільними реакторами [6, с. 787–800].

У процесі переробки промислово-побутових відходів отримують біогаз, який складається із H_2S , CO_2 і CH_4 . Вільне розповсюдження біогазу в повітрі викликає ряд негативних ефектів для працівників, зумовлених токсикологічними властивостями компонентів біогазу. Потрапляючи в організм людини через дихальні шляхи, складники біогазу (отруйні речовини) проникають у систему кровообігу, вражаючи життєво важливі органи, впливають на метаболізм майбутніх матерів, можуть викликати дефекти розвитку плода і знизити здатність до відтворення потомства.

Сірководень має неприємний характерний запах, важчий за повітря, у разі вдихання притуплює органи сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може призвести до смертельних отруєнь. Масова частка сірководню в біогазі не більше 1–5%.

Вуглекислий газ може накопичуватися в нещільностях установки, оскільки він важчий за повітря, через що може викликати небезпеку задухи. Масова частка вуглекислого газу в біогазі 20–44%.

Метан практично не отруйний газ, під час взаємодії з повітрям або киснем утворює вибухонебезпечну суміш. За наявності вентиляції газ випаровується безслідно. Масова частка метану в біогазі 53–75%.

Передбачається, що впровадження енергоекологічного методу переробки промислово-побутових відходів шляхом додавання до суміші активного мулу та шламу РКС допоможе не тільки прискорити процес бродіння суміші, утилізувати активний мул та полігони шламу РКС, а й забезпечити вихід якісного комплексного добрива, а вбудована система очистки від домішок допоможе

запобігти впливу шкідливих домішок у біогазі на організм людини.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження енергоекологічного методу переробки промислово-побутових відходів та її впливу на навколишнє середовище з наступним одержанням комплексного добрива та біогазу.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

- дослідити кінетику зміни вологості комплексного добрива під час додавання активного мулу та шламу РКС та виділення біогазу з суміші промислово-побутових відходів;

- дослідити показники якості комплексного добрива, отриманого методом анаеробного зброджування з додаванням активного мулу та шламу РКС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктом дослідження є промислово-побутові відходи з додаванням шламу РКС та активного мулу з водоочисних станцій м. Кам'янське.

У процесі отримання кальцієвої селітри утворюються значні об'єми шламу РКС, що не утилізуються і зберігаються на складі відходів. Шлам РКС являє собою тверді темно-бежеві грудки розміром 40–50 мм без запаху з пластоподібним вогким зовнішнім шаром, що легко кришаться. Дослідили шлам РКС підприємства ПАО «Хімдивізіон». Якісний склад шламу РКС, мас. %: FeO , SiO_2 і Al_2O_3 – до 1,0; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ – до 22,0; MgCO_3 і CaCO_3 – до 4,0; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – до 33,0; волога – 35,0–39,0; важкі метали 1,0–5,0. Активна реакція водної витяжки з шламу РКС (рН) – 7,49. Клас токсичності наведеного шламу – IV, що належить до малонебезпечних відходів.

Для проведення робіт, пов'язаних із визначенням вологості субстрату, окремих його компонентів та вихідного комплексного добрива, використовували сушильну шафу та електронні лабораторні ваги AXIS AD500. На першому етапі підготовки проводиться сортування субстрату і відділення сторонніх включень. Необхідність проведення цієї операції залежить від походження і складу сировини для біогазових установок. До сторонніх включень зазвичай відносять камені, які під дією сили тяжіння зазвичай опускаються на дно приймальної місткості.

Другий етап підготовки субстрату полягає в його подрібненні. Подрібнення промислово-побутових відходів відбувається шляхом їх механічної обробки за допомогою фрезерної мішалки (швидкість обертання ротора мішалки 7 об/с, частота коливання рідини 230 c^{-1} , критерій Рейнольдса

$3,99 \times 10^4$, час обробки протягом 1–2 хвилин) до розміру часток 3–5 мм.

Після процесу подрібнення та перемішування вимикали фрезерну мішалку та знову зважували суміш. Зважений субстрат завантажували до біореактора та закривали його.

Процес одержання комплексного добрива протікав у мезофільному режимі зброджування (33°C) як найбільш оптимальному та менш коштовному. Підтримання постійної температури мезофільного режиму під час анаеробного зброджування та мінімізації теплових втрат виконували за допомогою нагрівача з терморегулятором та використовували пінопластовий ковпак з товщиною стінки – 19 мм.

Експеримент проводили у скляному реакторі ємкістю $0,5 \text{ дм}^3$, щільно закритому та захищеному від прямого сонячного світла, до якого приєднували герметичну ємкість для збору витісненого біогазу та мірний циліндр. Показник рН визначали потенціометричним методом. Визначення вмісту сухого залишку виконували за методикою [8].

Протягом всього періоду анаеробного зброджування через рівний проміжок часу відбирали проби (наважки) сировини для визначення зміни її вологості. Наважки сировини відбирали у керамічні тиглі, зважували на лабораторних вагах, ставили в попередньо нагріту до $105\text{--}110^\circ\text{C}$ сушильну шафу і висушували протягом 4 годин. Після сушіння тиглі виймали з сушильної шафи, охолоджували в ексикаторі протягом 40 хв та повторно зважували. Після зважування тиглі з наважкою ставили в сушильну шафу для досушування. Зольність органо-мінеральної суміші визначали за показником втрати ваги. Прожарювання виконували в електричній муфельній печі ПМ-8 за температури близько 600°C .

Для проведення дослідження створена лабораторна установка енергоекологічної переробки промислово-побутових відходів у комплексне добриво з додаванням активного мулу та кальцієвмісних шламів, що складалася з корпусу із внутрішньою теплоізоляцією, ємкості для бродіння (біореактор), термометра, електричного нагрівача з терморегулятором, газовідвідної трубки, газозбірника та ємкості для збору витісненої води.

Для запобігання отруєнь та задухи під час проведення дослідів використовували засоби індивідуального захисту (халат, маска, рукавички) в приміщенні лабораторії, обладнаній загальнообмінною та місцевою вентиляцією.

Експериментально визначили вплив активного мулу та кальцієвмісних шламів на швидкість анаеробного зброджування і якість отриманого добрива.

Після монтування лабораторної установки, для проведення процесу було встановлено оптимальну температуру мезофільного режиму – 33°C .

У процесі дослідження дослідили кінетику зміни вологості комплексного добрива під час його отримання з промислових відходів за додавання різноманітних концентрацій кальцієвмісного шламу та активного мулу (вихідний субстрат) методом анаеробного зброджування. Відомо, що чим ефективніше проходить процес зброджування, тим більше виділяється біогазу та швидше знижується вологість субстрату.

Кінетику переміни вологості комплексного добрива за концентрації кальцієвмісного шламу 5–8% на суху речовину наведено на рисунку 1.

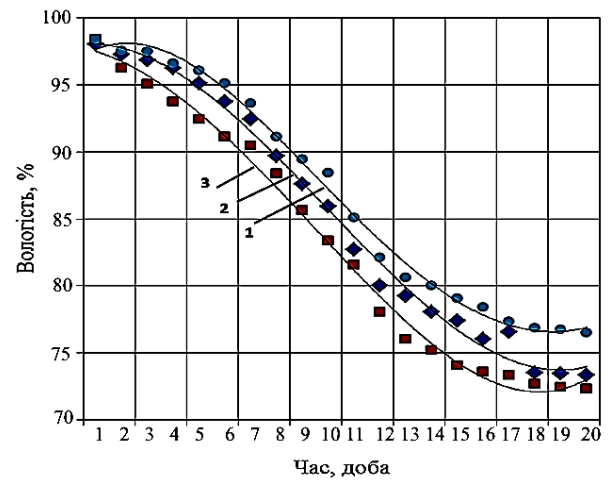


Рис. 1. Кінетика зміни вологості комплексного добрива з концентрацією шламу РКС 5 та 8% на суху речовину
 1 – суміш побутових відходів; 2,3 – суміш побутових відходів при додаванні кальцієвмісного шламу 5 та 8% на суху речовину

Визначено, що додавання кальцієвмісного шламу концентрацією менше 5% економічно не вигідно, оскільки не покриває економічні витрати. Швидкість зміни вологості субстрату у разі додавання кальцієвмісного шламу концентрацією 8% протікала більш інтенсивно порівняно з контрольною пробою, до якої кальцієвмісні шлами та активний мул не додавались. Найінтенсивніше процес зниження вологи протікав на 7–12 добу, вологість знизилася на 15,3–18,7%.

Кінетику переміни вологості комплексного добрива за концентрації кальцієвмісного шламу 10–13% на суху речовину наведено на рисунку 2.

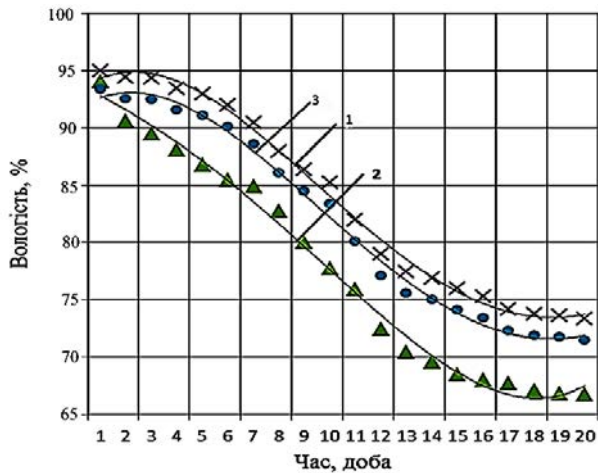


Рис. 2. Кінетика зміни вологості комплексного добрива з концентрацією шламу РКС 10 та 13% на суху речовину
1 – суміш побутових відходів; 2 – суміш побутових відходів у разі додавання кальцієвмісного шламу 10 та 13% на суху речовину

Під час додавання кальцієвмісного шламу концентрацією 10 та 13% швидкість спадання вологості добрива сповільнилась. Найбільш інтенсивно процес протікав на 7–12 добу, вологість вихідного субстрату в цей проміжок часу знизилася на 10,7–15,6%.

Кінетику зміни вологості субстрату за концентрації кальцієвмісного шламу 15–18% на суху речовину наведено на рисунку 3.

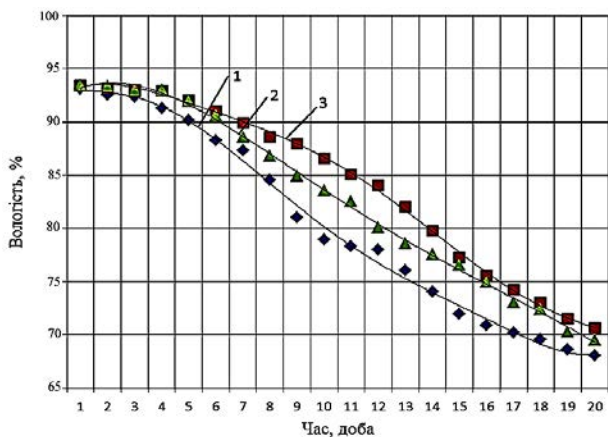


Рис. 3. Кінетика зміни вологості комплексного добрива з концентрацією шламу РКС 15 та 18% на суху речовину
1 – суміш побутових відходів; 2 – суміш побутових відходів у разі додавання кальцієвмісного шламу 15 та 18% на суху речовину

Найбільшу активність протікання процесу анаеробного зброджування спостерігали на 7–12 добу. Більш ефективною виявилася концентрація шламу 8–13% на суху речовину. Вологість

субстрату до анаеробного зброджування склала до 92–95%, тоді як вологість субстрату без шламу РКС та активного мулу – до 80–83%. Ефективність процесу анаеробного зброджування знизилася за концентрації шламу більше 15%, що пояснюється суттєвим впливом такої концентрації шламу на життєдіяльність метаноутворюючих бактерій. Встановили, що у разі додавання до промислових відходів активного мулу та кальцієвмісного шламу концентрацією 8–13% на суху речовину вологість добрива збільшується в 1,1–1,3 рази.

Дослідили показники якості комплексного добрива, отриманого методом анаеробного зброджування з додаванням кальцієвмісного шламу концентрацією 5–18% на суху речовину та активного мулу (таблиця 1). Масова частка води в добриві не перевищує 67,5–73,3%. Вологість добрива зростає зі зменшенням концентрації шламу РКС. Зольність добрива – 31,2–32,5% та кислотність добрива – 6,5 вказує на нейтральне середовище.

Концентрація металів в добриві не перевищує гранично допустиме значення, тому добриво є безпечним для навколишнього середовища. При додаванні шламу РКС концентрацією 5–18% на суху речовину, добриво містить Ca 34,778 – 38,912%, K 30,697 – 34,346%, P 0,01 – 0,026% та N 32,697 – 36,583%.

Отже, для найбільш ефективного використання добрива слід враховувати отримані показники якості. Найбільший вміст Ca, K та N містить добриво з концентрацією шламу РКС 10%.

Висновки. Досліджено кінетику зміни вологості комплексного добрива в процесі його отримання з промислових відходів за додавання 5–18% кальцієвмісного шламу на суху речовину та активного мулу (вихідний субстрат) методом анаеробного зброджування.

Рекомендовано ведення процесу анаеробного зброджування в мезофільному режимі за додавання до нього кальцієвмісного шламу концентрацією 8–13% зменшує вологість отриманого добрива в 1,1–1,3 рази, одночасно під час попередньої обробки сировини фрезерною мішалкою процес зброджування прискорюється у 0,6–0,7 разів. Загальна кількість утвореного біогазу через 20 діб становить 0,53–0,58 дм³/кг порівняно з контрольною пробою, в яку шлам не додавали, 0,32 дм³/кг.

Експериментально визначено вплив добавки кальцієвмісного шламу РКС на якість отриманого комплексного добрива. Концентрація металів у добриві не перевищує гранично допустиме

Усереднені показники якості комплексного добрива

Найменування мікроелемента	Концентрація мікроелемента, %					
	5	8	10	13	15	18
Al	0,022	0,024	0,047	0,036	0,083	0,099
N	32,697	34,54	36,583	32,788	32,972	33,025
Si	0,032	0,033	0,019	0,066	0,025	0,038
P	0,026	0,018	0,01	0,01	0,018	0,018
S	0,045	0,048	0,051	0,045	0,046	0,046
Cl	0,12	0,127	0,135	0,121	0,121	0,121
K	30,697	32,428	34,346	30,782	30,954	31,005
Ca	34,778	36,739	38,912	34,874	35,07	35,127
Ti	0,054	0,043	0,039	0,057	0,043	-
Cr	0,009	0,011	0,007	0,008	0,02	0,006
Mn	0,027	0,023	0,024	0,02	0,013	0,012
Fe	1,268	1,116	0,863	0,972	0,401	0,375
Ni	-	-	-	0,002	0,007	-
Cu	0,007	0,005	0,005	0,005	0,009	0,008
Zn	0,028	0,03	0,032	0,029	0,029	0,029
Br	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Rb	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Sr	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ag	0,013	0,014	0,015	0,013	0,013	0,013
Cd	0,014	0,015	0,016	0,014	0,014	0,014
Tb	0,144	0,152	0,161	0,145	0,146	0,146
W	0,005	0,003	0,003	0,003	0,006	0,006
Re	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

значення, тому добриво є безпечним для навколишнього середовища. За додавання шламу РКС концентрацією 5–18% на суху речовину, добриво містить Ca 34,778 – 38,912%, K 30,697 – 34,346%, P 0,01 – 0,026% та N 32,697 – 36,583%. Найбільший вміст Ca, K та N спостерігався в добриві з концентрацією шламу РКС 10%.

Найбільш небезпечними домішками в біогазі є CO₂ та H₂, тому для запобігання отруєнь та задухи під час проведення дослідів працівникам лабораторії рекомендовано використовувати засоби індивідуального захисту (халат, маска, рукавички) та обладнати приміщення лабораторії загальною обмінною та місцевою вентиляцією.

Список літератури:

1. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. 2007 г. Москва, 2015. 314 с.
2. European Commission Council directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on landfill of waste. *European Journal of Communication*. 1999. P. 1–19. ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj>.
3. Eitzer B.D. Emissions of volatile organic chemicals from municipal solid waste composting facilities. *Environmental Science and Technology*. 1995. No 29(4). P. 896–902.
4. Brown V.J. Biogas a bright idea for Africa. *Environmental Health Perspectives*. 2006. No 114(5). P. 300–303.
5. The structure of the bacterial and archaeal community in a biogas digester as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis and 16S rDNA sequencing analysis/ F.H. Liu, S.B. Wang, J.S. Zhang, J. Zhang, X. Yan, H.K. Zhou, G.P. Zhao, Z.H. Zhou. *Journal of applied microbiology*. 2009. Vol. 106. No 3. P. 952–966.

6. Mesophilic versus thermophilic anaerobic digestion of cattle manure: methane productivity and microbial ecology/ V. Moset, M. Poulsen, R. Wahid, O. Højberg, H.B. Møller. *Microbial Biotechnology*. 2015. Vol. 8. No 5. P. 787–800. doi: 10.1111/1751-7915.12271.

7. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначання рН (ISO 10523:1994, MOD). Введ. 2001-01-01. Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. 16 С.

8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва : МГУ, 1970. 179 с.

Shumylo K.P., Belyanska A.R., Kryukovskaya O.A. RESEARCH OF ENERGY-ECOLOGICAL METHOD OF RECYCLING INDUSTRIAL AND DOMESTIC WASTES

One of the problems of scientific interest is the rational waste management, including waste collection, composting, consumption, reduction of waste. This article considers energy – ecological method of processing industrial and domestic wastes and its impact on the environment. It is theoretically founded and experimentally proved the expediency of processing industrial and domestic wastes by anaerobic fermentation with the addition of the initial mixture of activated sludge and sludge solution of calcium nitrate (RKS), and the impact of the products of anaerobic fermentation on the human body. Dangerous and harmful factors of the impact on the human body, during the functioning of energy-ecological technology of waste processing, and methods of its prevention are considered. The quality levels of the resulted complex fertilizers based on industrial and domestic wastes, activated sludge and RKS sludge are investigated.

We investigated the effect of adding calcium-containing RKS sludge and solution of calcium nitrate in concentrations 5, 8, 10, 13, 15, 18% in the methane tank with a solution of domestic wastes and municipal wastewater. The kinetics of change in humidity of the obtained fertilizer after the addition of sludge with different concentration is presented. Comparing the obtained experimental and mathematical relationships, we can see that there is a significant difference between them when the optimum concentration of sediment is added, and a positive effect is observed during the experimental test. It was determined the quality of concentrations of 25 chemical elements of the obtained fertilizers after the addition of calcium-containing sludge to the bioreactor.

Based on the experimental data, a technology for the production of complex fertilizers was developed using an adjuster calcium-containing sludge. The main means of individual protection in the investigation of the energy-ecological method of processing industrial and domestic wastes are recommended.

Key words: *industrial and domestic wastes, occupational Safety and Health, anaerobic fermentation, biogas unit, complex fertilizer.*

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 665.334.9

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/12>

Бабенко В.І.

Національний університет харчових технологій

Велика А.О.

Національний університет харчових технологій

Пещера Л.С.

Національний університет харчових технологій

РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУР КУПАЖОВАНИХ ОЛІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РІПАКОВИХ ОЛІЙ

Проведено дослідження стійкості до окиснення рафінованих дезодорованих ріпакових традиційних, високоолеїнових і кукурудзяних олій і розроблено рецептури ріпаково-кукурудзяних купажованих олій із підвищеною окислювальною стабільністю. Одним із прийомів отримання олійно-жирових продуктів із підвищеною окислювальною стабільністю із заданим жирнокислотним складом є купажування (змішування) рослинних олій. Проаналізувавши жирнокислотний склад вихідних олій, розроблено двокомпонентні суміші олій: купажовані ріпаково-кукурудзяні олії із заданим складом, зокрема з масовою часткою моноолеїнових кислот 45–50%. Зразки купажованих ріпаково-кукурудзяних рафінованих дезодорованих олій готували із заданим масовим співвідношенням кукурудзяної рафінованої дезодорованої та, відповідно, ріпакової рафінованої дезодорованої традиційної або високоолеїнової олій ваговим методом. Оцінку антиоксидантних властивостей ріпаково-кукурудзяних купажованих рафінованих дезодорованих олій за розробленими рецептурами за зміною пероксидних чисел проводили за методикою визначення стійкості жирів та олій шляхом витримання їх за кімнатної температури в стандартних умовах автоокиснення протягом 6 місяців. Для визначення стійкості до окиснення киснем повітря ріпаково-кукурудзяних купажованих рафінованих дезодорованих олій за розробленими рецептурами в порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією використано методику прискореного визначення стійкості жирів та олій шляхом нагрівання їх в термостаті в стандартних умовах за температури $180 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 3 і 6 годин із визначенням приросту пероксидного числа за годину. Водночас виявлено, що окислювальна стабільність кукурудзяно-ріпакових купажованих олій вища в порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією на 30%. За результатами досліджень запропоновано рецептури ріпаково-кукурудзяних купажованих рафінованих дезодорованих олій із заданим жирнокислотним складом у масовому співвідношенні кукурудзяної та ріпакової рафінованих дезодорованих олій 40–55:45–60 та у масовому співвідношенні кукурудзяної та ріпакової високоолеїнової рафінованих дезодорованих олій 55–65:35–45.

Ключові слова: ріпакова рафінована дезодорована олія, високоолеїнова ріпакова рафінована дезодорована олія, кукурудзяна рафінована дезодорована олія, рафіновані дезодоровані ріпаково-кукурудзяні купажовані олії, окислювальна стабільність, пероксидне число.

Постановка проблеми. Важлива роль у структурі харчування відведена рослинним оліям. До рафінованих олій, залежно від цільового призначення, висувають ряд основних вимог. Олії, що призначені для харчових, у тому числі для дієтичних, цілей, рафінують за повним циклом, який охоплює наступні процеси: виведення фосфоліпідів зі збереженням їхніх властивостей і виробленням самостійного продукту, видалення вільних

жирних кислот, речовин, що забарвлюють і дезодорують, та отрутохімікатів [1]. Водночас процес ведуть в таких умовах, щоб запобігти негативному впливу вологи, кисню повітря, хімічних агентів і високих температур на триацилгліцерини олій.

Натепер споживання рослинних олій постійно зростає в усьому світі. Проте різноманіття цих продуктів у багатьох країнах дуже обмежене. У Сполучених Штатах Америки, Європі й Китаї

споживають такі рослинні олії, як соєва й ріпакова, а на українському ринку переважає соняшникова олія. Все більше ріпакової олії виробляє олійно-жирова галузь України. Традиційною для споживання в Україні є кукурудзяна олія, що пропонується торговельною мережею переважно в рафінованому виді. Однак індивідуальні рафіновані олії групи ω -6, до яких відноситься кукурудзяна олія, не мають оптимального жирнокислотного складу, що забезпечує їм підвищену стійкість до окислення. Відомим прийомом отримання олійно-жирових продуктів із підвищеною окислювальною стабільністю із заданим жирнокислотним складом є купажування (змішування) рослинних олій.

Мета дослідження. Метою є визначення окислювальної стабільності рафінованих дезодорованих ріпакових традиційних, високоолеїнових (далі – ВО) й кукурудзяних олій із розробленням рецептур кукурудзяно-ріпакових купажованих олій за жирнокислотним складом із масовою часткою моноолеїнових кислот 45–50%; дослідження антиоксидантних властивостей ріпаково-кукурудзяних купажованих олій за зміною пероксидного числа протягом рекомендованого гарантійного терміну зберігання – 6 місяців – у порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією; вивчення стійкості до окислення олій шляхом термоокислення за зміною пероксидних чисел.

Постановка завдання. Зразки купажованих ріпаково-кукурудзяних рафінованих дезодорованих олій готували із заданим масовим співвідношенням кукурудзяної рафінованої дезодорованої та, відповідно, ріпакової рафінованої дезодорованої традиційної або високоолеїнової олії ваговим методом шляхом змішування компонентів в лабораторних умовах.

Оцінку антиоксидантних властивостей ріпаково-кукурудзяних купажованих рафінованих дезодорованих олій за розробленими рецептурами за зміною пероксидних чисел проводили за методикою визначення стійкості жирів та олій шляхом витримувannya їх за кімнатної температури в стандартних умовах при вільному доступі повітря (автоокиснення) за температури $24 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 6 місяців [2]. Як контрольну використовували кукурудзяну рафіновану дезодоровану олію.

Для визначення стійкості до окислення киснем повітря ріпаково-кукурудзяних купажованих рафінованих дезодорованих олій за розробленими рецептурами в порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією застосовували мето-

дику прискореного визначення стійкості жирів та олій шляхом нагрівання їх у термостаті в стандартних умовах із визначенням приросту пероксидного числа в одиницю часу [2]. За такою методикою термоокислення зразків олій проводили за температури $180 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 3 і 6 годин і визначали приріст пероксидного числа зразка олії за годину. Для цього в однакові скляні стаканчики, які б забезпечили однакову поверхню контакту з повітрям, відбирали наважки олій по $50 \pm 0,01$ г і витримували їх в сушильній шафі за заданої температури.

В зразках ріпаково-кукурудзяних олій в порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією визначали пероксидні числа за стандартною методикою [3].

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведено порівняльний аналіз групового жирнокислотного складу рослинних олій: кукурудзяної та ріпакової традиційної та високоолеїнової рафінованої дезодорованої олії. За оцінкою жирнокислотного складу вихідних олій спрогнозовано двокомпонентні суміші олій – купажовані ріпаково-кукурудзяні олії із заданим складом.

Розроблено рецептури купажованих ріпаково-кукурудзяних рафінованих дезодорованих олій у масовому співвідношенні кукурудзяних і ріпакових рафінованих дезодорованих олій 40–55:45–60 та у співвідношенні кукурудзяних і ріпакових високоолеїнових рафінованих дезодорованих олій 55–65:35–45 і розраховано їхній груповий жирнокислотний склад.

Груповий жирнокислотний склад ріпакових, кукурудзяних рафінованих дезодорованих олій і купажованих олій на їх основі наведено в таблиці 1. Розроблені рецептури ріпаково-кукурудзяних купажованих олій захищені деклараційними патентами № 133221 і № 133926 на корисну модель [4; 5].

Результати досліджень під час термоокислення зразків олій, а саме для зразків ріпаково-кукурудзяних рафінованих дезодорованих олій у співвідношенні кукурудзяної та ріпакової рафінованих дезодорованих олій 50:50 та у співвідношенні кукурудзяної та ріпакової високоолеїнової рафінованих дезодорованих олій 60:40, у порівнянні з вихідними оліями наведено в таблиці 2.

За результатами приросту пероксидного числа після термоокислення протягом 3 і 6 годин за температури $180 \pm 2^\circ\text{C}$ встановлено, що ріпаково-кукурудзяні рафіновані дезодоровані олії за розробленими рецептурами із заданим жирнокислотним складом у масовому співвідношенні кукурудзяних і ріпакових

рафінованих дезодорованих олій 50:50 і в масовому співвідношенні кукурудзяних та ріпакових високоолеїнових рафінованих дезодорованих олій 60:40 більш стійкі до окиснення в порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією.

Під час проведення досліджень за методикою автоокислення визначали пероксидні числа щомісяця протягом 6 місяців – гарантійного строку зберігання, рекомендованого стандартом для рафінованих розфасованих купажованих олій [6].

На рисунку 1 показано графік зміни перекидних чисел зразків купажованих ріпаково-кукурудзяних олій у масовому співвідношенні кукуруд-

зяних та ріпакових рафінованих дезодорованих олій 50:50 і в масовому співвідношенні кукурудзяних і ріпакових високоолеїнових рафінованих дезодорованих олій 60:40 у порівнянні з кукурудзяною олією при автоокисленні.

Пероксидні числа ріпаково-кукурудзяних рафінованих купажованих дезодорованих олій збільшуються під час зберігання повільніше в порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією, окислювальна стабільність кукурудзяно-ріпакових купажованих олій вища в порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією на 30 %.

Таблиця 1

Груповий жирнокислотний склад ріпакових, кукурудзяних рафінованих дезодорованих олій і купажованих олій на їх основі

№ п/п	Назва жирних кислот	Кукурудзяна олія	Ріпакова олія	ВО ріпакова	Кукурудзяно-ріпакова олія (співвідношення кукурудзяна олія: ріпакова олія)			Кукурудзяно-ріпакова олія (співвідношення кукурудзяна олія: ВО ріпакова олія)		
					55:45	50:50	40:60	65:35	60:40	55:45
1.	Насичені кислоти, %	13,6	8,0	6,9	11,08	10,80	10,24	11,25	10,92	10,58
2.	Мононенасичені кислоти ω-9, %	29,0	64,4	80,5	44,93	46,70	50,24	47,02	49,6	52,17
3.	Поліненасичені кислоти ω-6 та ω-3, %	57,4	27,6	12,6	43,99	42,5	39,52	41,72	39,48	37,24
4.	Поліненасичені кислоти ω-6, %	56,2	20,7	10,3	40,22	38,45	34,9	40,13	37,84	35,54
5.	Поліненасичені кислоти ω-3, %	1,2	6,9	2,3	3,76	4,05	4,62	1,58	1,64	1,69

Таблиця 2

Приріст пероксидного числа ріпакової та кукурудзяної олій та її купажу під час термоокислення

Назва показника	Зразки рафінованої дезодорованої олії				
	Кукурудзяна	Ріпакова	ВО ріпакова	Купажована кукурудзяно-ріпакова (співвідношення кукурудзяна: ріпакова 50: 50)	Купажована кукурудзяно-ріпакова (співвідношення кукурудзяна: ВО ріпакова 60:40)
ПЧ ₁ до термоокислення, ммоль ½ О/кг	3,1±0,1	2,3±0,1	1,9±0,1	2,7±0,1	2,5±0,1
ПЧ ₂ після термоокислення 3 год, ммоль ½ О/кг	5,5±0,1	3,9±0,1	3,0±0,1	4,6±0,1	4,5±0,1
ПЧ ₃ після термоокислення 6 год, ммоль ½ О/кг	10,8±0,1	7,1±0,1	5,9±0,1	8,9±0,1	8,6±0,1
Приріст ΔПЧ/год = (ПЧ ₃ -ПЧ ₁)/6	1,28	0,8	0,67	1,03	1,02

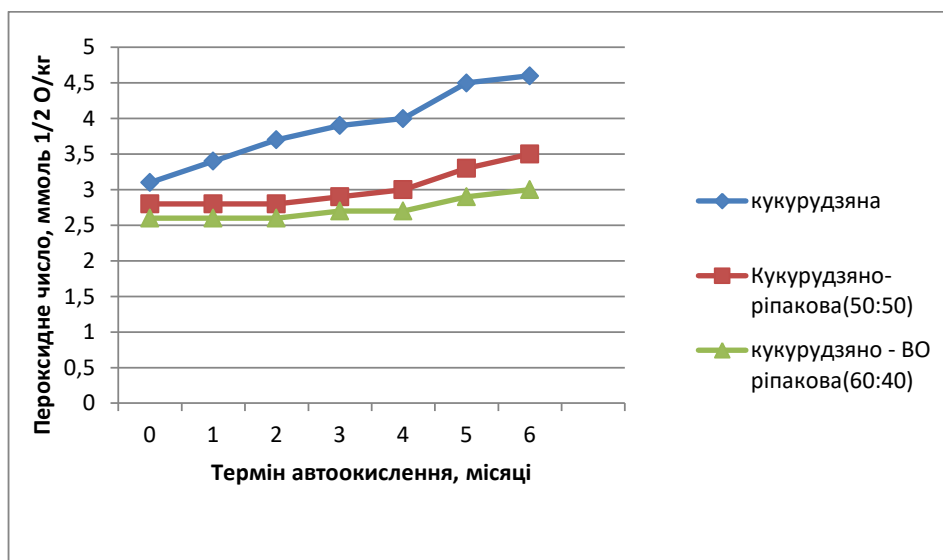


Рис. 1. Графік зміни пероксидних чисел зразків купажованих ріпаково-кукурудзяних олій у порівнянні з кукурудзяною олією при автоокисленні

Висновки. Показано, що ефективним способом створення композицій олій із заданим жирнокислотним складом є купажування (змішування) ріпакових і кукурудзяних олій. За результатами досліджень запропоновано рецептури ріпаково-кукурудзяних купажованих рафінованих дезодорованих олій із заданим жирнокислотним складом у масовому співвідношенні кукурудзяних і ріпакових рафінованих дезодорованих олій 40–55:45–60 і в масовому співвідношенні кукурудзяних і ріпакових високоолеїнових рафінованих дезодорованих олій 55–65:35–45, що розширює асортимент купажованих олій.

Розроблені ріпаково-кукурудзяні купажовані олії в порівнянні з кукурудзяною олією мають

більшу масову частку моноолеїнових кислот. Показано, що збільшення масової частки моноолеїнових кислот до 45–50% у жирнокислотному складі ріпаково-кукурудзяних купажованих рафінованих дезодорованих олій підвищує їхню окислювальну стабільність на 30% у порівнянні з кукурудзяною рафінованою дезодорованою олією.

Рекомендовано ріпаково-кукурудзяні купажовані олії з підвищеною окислювальною стабільністю за розробленими рецептурами для безпосереднього вживання в їжу, а також для приготування жирових емульсійних продуктів функціонального призначення.

Список літератури:

- Кулакова С.Н., Байков В.Г., Бессонов В.В., Нечаев А.П., Тарасова В.В. Особенности растительных масел и их роль в питании. *Масложировая промышленность*. 2009. № 3. С. 16–20.
- Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности: в 6 т. / под общ. ред. В.П. Ржежина и А.Г. Сергеева. Т. 1. Кн. 2. Ленинград, 1967. С. 1021–1022.
- ДСТУ 4570: 2006. Жири рослинні та олії. Метод визначання пероксидного числа. [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 6 с.
- Ріпаково-кукурудзяна купажована олія : пат. 133221 Україна : МПК А23D 7/00(2019.01). № а 201810764 ; заявл. 31.10.2018 ; опубл. 25.03.2019, Бюл. № 6.
- Кукурудзяно-ріпакова купажована олія : пат. 133926 Україна : МПК А23D 7/00(2019.01). № а 201811797 ; заявл. 28.11.2018 ; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.
- ДСТУ 4536: 2006. Олії купажовані. Технічні умови. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, Держспоживстандарт України, 2007. 25 с.

Babenko V.I., Velyka A.O., Peshchera L.S. DEVELOPMENT OF RIPPOT OIL RECIPES WITH THE USE OF RAPE OILS

The oxidation resistance of refined deodorized rapeseed traditional and high-oleic and corn oils has been investigated and the formulations of rapeseed-corn blended oils with increased oxidative stability have been developed. One of the methods of obtaining oil-fat products with high oxidative stability with a given fatty

acid composition is the blending (mixing) of vegetable oils. Analyzing the fatty acid composition of the source oils, two-component mixtures of oils are predicted: blended rapeseed and corn oils with a given composition, in particular with a mono-oleic acid mass fraction of 45–50%. Samples of blended rapeseed – corn refined deodorized oils were prepared with a given mass ratio of corn refined deodorized and respectively rapeseed refined deodorized traditional or high oleic oils by weight method. Evaluation of the antioxidant properties of rapeseed-corn blended refined deodorized oils according to the developed recipes by changing peroxide numbers was carried out by the method of determining the stability of fats and oils by keeping them at room temperature under standard conditions of auto-oxidation at room temperature for 6 months. To determine the resistance to oxygen oxidation of rapeseed-corn blended refined deodorized oils according to the formulations developed in comparison with corn refined deodorized oils, the method of accelerated determination of the stability of fats and oils by heating them in a standard temperature for 6 hours and heating them at 6 for 6 hours increase in peroxide number per hour. It was found that the oxidative stability of corn-rapeseed blended oils is higher compared to corn refined deodorized oil by 30%. Compounding of rapeseed offer on results researches – corn blended of the refined deodorized oils with the set fatty acid composition in mass correlation of corn and rapeseed of the refined deodorized oils 40–55:45–60 and in mass correlation of corn and rapeseed high-olein the refined deodorized oils 55–65:35–45.

Key words: *rapeseed refined deodorized oil, high oleic rapeseed refined deodorized oil, corn refined deodorized oil, refined deodorized rapeseed – corn blended oils, oxidizing stability, peroxide.*

УДК 664.1 - 663

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/13>**Бажай-Жежерун С.А.**

Національний університет харчових технологій

Береза-Кіндзерська Л.В.

Національний університет харчових технологій

БІОЛОГІЧНЕ АКТИВУВАННЯ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ

Тритикале – порівняно нова високопродуктивна, господарсько-цінна злакова культура, штучно створена селекціонерами схрещуванням жита з пшеницею. Вирощується як продовольча й зернофуражна сировина.

Метою нашої роботи є наукове й практичне обґрунтування доцільності застосування біологічного активування зерна тритикале для поліпшення його харчової цінності, зокрема підвищення вмісту вітамінів.

Нами визначено основні органолептичні й фізико-хімічні властивості зерна тритикале сортів вітчизняної селекції: Алкід, Поліський 7 і Мольфар.

Встановлено, що всі зразки зерна мають високі значення об'ємної маси, що свідчить про якість і добротність сировини. Згідно з нормами, зерно належить до I класу якості. Вміст сирової клейковини в зерні тритикале складає 23–25% залежно від сортових особливостей.

Досліджено, що значення енергії проростання та здатності проростання для зерна тритикале зазначених сортів перевищує 95%. Життєздатність зародка й потенційна спроможність зерна до пророщування нормальні, оскільки їхні значення мають показник не нижче 90%. Найвищу здатність має зерно тритикале сорту Мольфар (100%).

Відмічено, що в процесі біологічного активування частка білків зерна тритикале, яка піддається гідролізу, складає 14–15%, вуглеводів – 16–17% від їхнього загального вмісту; кількість клітковини зростає на 4–5%, що пояснюється утворенням проростка.

Експериментальними дослідженнями доведено, що інтенсивне гідротермічне оброблення зерна тритикале за холодних режимів сприяє суттєвому збільшенню вмісту вітамінів: кількість аскорбінової кислоти збільшується у 2–4 рази, рутину – у 2–2,5 рази, токоферолів – у 3–3,5 рази. У процесі запропонованої підготовки вміст водорозчинних вітамінів у зерні тритикале також значно підвищується: кількість тіаміну зростає у 2–2,5 рази; рибофлавіну – в 1,5 рази, вміст нікотинової кислоти й холіну збільшується в 1,5–2 рази, інозиту – в 4 рази.

Тривале гідротермічне оброблення за холодних режимів сприяє поліпшенню біологічної цінності зерна тритикале, зокрема суттєвому збільшенню вмісту вітамінів, а також підвищенню біодоступності енергогенних речовин.

Ключові слова: біологічне активування, зерно, тритикале, харчова цінність, вітаміни.

Постановка проблеми. Зернові культури є сировиною для виробництва ряду продуктів, які незамінні в харчовому раціоні – хліб і хлібобулочні вироби, пластівці, крупи. З них також отримують кондитерські вироби, харчові концентрати, екструдовані зернові продукти, зернові батончики, крохмаль, солод і спирт тощо.

Порівняно новою є високопродуктивна, господарсько-цінна культура – тритикале, – штучно створена селекціонерами схрещуванням жита з пшеницею. Вирощується вона як продовольча й зернофуражна сировина, озима чи яра. Назва рослини тритикале (*Triticosecale*) походить від латинських назв пшениці (*Triticum L.*) і жита (*Secale L.*).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Тритикале – дивовижний міжвидовий гібрид, в якому вдалося поєднати кращі спадкові якості традиційно вирощуваних культур – пшениці й жита.

Вміст білка в зерні тритикале складає 12,5–14,5%, що на 1,0–2,5 % вище, ніж у пшениці, і на 3–4% ніж у жита. Перетравлюваність білків пшениці й тритикале практично однакова – 89,3% і 90,3% відповідно. Білки зерна тритикале в середньому містять 5–10% альбумінів, 6–7% глобулінів, 30–37% проламінів і 15–20% глютенінів [1, с. 18–24].

Амінокислотний склад білка тритикале збалансованіший у порівнянні з пшеницею. Незамінною

кислотою лізином, вміст якої в зерні близько 3% від загальної кількості білка, тритикале у два рази перевищує пшеницю. Доведено, що тритикале за своїми харчовими якостями переважає пшеницю, а за хлібопекарськими – жито. Протеолітична активність білків зерна тритикале вища в порівнянні з пшеницею та житом, що сприяє більшій доступності протеїну для засвоєння, поліпшує харчову цінність продуктів перероблення зерна [2, с. 17–23].

За вмістом макро- й мікроелементів тритикале не поступається пшениці. Зокрема, вміст основних мінеральних речовин у зерні складає: фосфору – 750–800 мг%, калію – 500–550 мг%, марганцю – 180–220 мг%, кальцію – 40–60 мг%, натрію – 30–40 мг%, кремнію – 30–40 мг%, сірки й хлору – близько 10 мг%; окрім того в зерні присутні цинк, мідь, кобальт [3, с. 47]. Накопичуються мінеральні речовини переважно в алейроновому шарі й оболонках зерна.

Ліпіди тритикале складають 1,5–2,5%, містять жирні кислоти – пальмітинову, стеаринову, лінолеву й ліноленову. В ярих тритикале вміст вітаміну Е вищий, ніж у пшениці, в озимих його дещо менше. Зерно тритикале відрізняється вищим рівнем тіаміну й рибофлавіну в порівнянні з пшеницею та житом [1, с. 34–38].

Тритикале культивують у 30 країнах світу, однак понад 80% виробництва зосереджено в Європі. Лідерами по вирощуванню зерна тритикале є Польща, Німеччина, Франція, Білорусь, у значних кількостях його також виробляють у Росії, Угорщині, Китаї, Литві, Сполучених Штатах Америки й в інших країнах [4, с. 11–12]. Тритикале застосовують як фуражну й харчову сировину. У провідних країнах зерно тритикале використовують у борошноsumішах чи в чистому вигляді для отримання хліба різних сортів, кондитерських виробів [5, с. 40–43].

Останнім часом посівні площі тритикале в Україні дещо збільшилися, особливо в південних областях. Враховуючи високу адаптивність, урожайність і споживчу якість цієї культури, проводяться наукові дослідження щодо можливості застосування зерна в хлібопекарській і кондитерській промисловості, виробництві спирту, кормових цілях [6, с. 72–73]. Однак вирощування тритикале в нашій країні й надалі залишається на досить низькому рівні, оскільки, не дивлячись на високу харчову цінність, у державі чітко не визначено сфери його застосування [7, с. 109].

Тривала робота селекціонерів дозволила отримати сорти тритикале, які характеризуються

виповненим зерном, вихід борошна при помелі яких не нижчий, ніж у сучасних сортів пшениці [8, с. 333–335]. Виробництво борошна із зерна тритикале оптимальне при застосуванні традиційної технології помелу жита. Вихід борошна залежить від сортових особливостей та умов вирощування. Зокрема, під час отримання обдирного борошна вихід складає 65%, вміст білка – 14,65%, клейковини – 32,22%. При сортових помелах вихід борошна I сорту – 62,2%, зольність – 0,72%, вміст білка – 16,06%, клейковини – 38,1%, тобто показники якості дуже близькі до аналогічних при переробленні пшениці [9, с. 131–132]. Досліджено, що найкращу якість борошна можна отримати за умов оптимальної тривалості зволоження зерна тритикале перед помелом – 6 годин незалежно від скловидності [12, с. 64–65].

Використання зерноsumішей пшениця: тритикале при незмінному виході сортового борошна дозволяє підвищити його харчову цінність. За умови застосування спеціальної технологічної випічки, яка передбачає низьку швидкість замісу тіста й скорочену процедуру ферментації, якість готових виробів задовільна [10, с. 206]. Доведено, що використання борошноsumішей (за вмісту тритикале 30–50%) сприяє отриманню продукції вищої якості, ніж зі 100%-ного пшеничного борошна [5, с. 39].

Борошно тритикале можна застосовувати для виробництва макаронних виробів й екструдованих продуктів оздоровчого призначення з високим вмістом клітковини [11, с. 472].

Встановлено, що солод тритикале є цінною добавкою при випіканні хліба, зокрема при застосуванні рецептур із низьким вмістом цукру [9].

Науковці зазначають, що найбільш ефективним є перероблення тритикале на крупу, однак наявні технології потребують удосконалення та адаптування до сучасних сортів цієї культури. Відмічено, що зволоження зерна тритикале до 13–14% у процесі гідротермічного оброблення сприяє збільшенню виходу ядра, скорочує тривалість перероблення та знижує енерговитрати [13, с. 18].

Розроблено технологічну схему перероблення зерна тритикале для отримання кількох видів крупи: цілої, дробленої, манної. Загальний вихід продукту складає 65–70%. Автори зазначають, що мікронізація цілої крупи значно скорочує тривалість її приготування. Доведено, що крупа із зерна тритикале за споживчими й смаковими властивостями, харчовою цінністю є конкурентоздатним продуктом здорового харчування [14, с. 39–40].

Перевагою висококаротиноїдних сортів тритикале, вміст каротиноїдів у яких досягає 450 мкг%, є те, що зазначені вітаміни зосереджені здебільшого в ендоспермі. Таке зерно перспективне для виробництва продуктів дитячого й функціонального харчування [15, с. 255–257].

У літературі відсутні дані щодо дослідження впливу біологічного активування на харчову цінність зерна тритикале, зокрема щодо зміни вмісту основних енергогенних речовин і вітамінів.

Постановка завдання. Використання інноваційних методів підготовки сировини для покращення показників її якості є важливим завданням харчової промисловості України.

Метою нашої роботи є наукове й практичне обґрунтування доцільності застосування біологічного активування зерна тритикале для поліпшення його харчової цінності, зокрема підвищення вмісту вітамінів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досліджень використовували тритикале сортів вітчизняної селекції: Алкід, Поліський 7 і Мольфар. Дослідні зразки зерна отримано в Національному науковому центрі «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України» й Всеукраїнському Науковому Інституті Селекції.

Нами визначено основні фізико-хімічні властивості зерна, які мають важливе значення в процесі його перероблення (табл. 1).

Результати досліджень показали, що зерно тритикале відповідає встановленим нормам згідно з Державними стандартами України 4762: 2007. Так, вологість сортів Алкід, Поліський 7 і Мольфар, відповідно, – на 2,0, 2,76 і 2,64% менше допустимих меж. Вміст сміттєвої та загальної зернової домішок у зерні до очищення, відповідно, – на 1,8–1,9% і 4,8–4,6% менше допустимих значень. У зразках зерна, які досліджували, не було виявлено жодних видів шкідників.

Високі значення об'ємної маси – показника, який досить повно зображає якість зерна та його добротність, – демонструють, що партії зерна тритикале сортів Алкід, Поліський 7 і Мольфар вирівняні, зерно дозріле, виповнене; згідно з нормами його можна віднести до I класу якості.

Основними показниками фізіологічної цінності зерна є енергія та здатність проростання, життєздатність зерна й водочутливість. Встановлено, що значення енергії проростання та здатності проростання для зерна тритикале сортів, які досліджувалися, перевищують 95%. Життєздатність зародка, потенційна спроможність зерна до пророщування нормальна, оскільки її значення не нижче 90%. Найвищу здатність має зерно тритикале сорту Мольфар (100%). Це відмінна якість зерна для біологічного активування. Водочутливість зерна тритикале сортів Поліський 7, Алкід і Мольфар для часу пророщування 24, 48 та

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості зерна тритикале

№	Показники	Сорт		
		Алкід	Поліський 7	Мольфар
	Запах	Властивий зерну, без стороннього запаху, не затхлий, не пліснявий		
1	Колір	Світло жовтий	Жовтуватий із відтінками світло коричневого і білого	Жовтуватий із відтінком сірого
2	Лінійні розміри, мм			
	довжина	6–8	7–9	7–9
	товщина	2,2–2,4	2–2,5	2,5–3,0
	ширина	3–4	2–3	3–3,5
3	Вологість, %	12,50	11,74	11,86
4	Об'ємна маса, г/л	731,00	712,00	740,00
5	Маса 1000 зерен, г	62	60	68
6	Вміст сирової клейковини, %	24,0	23,5	25,0
7	Сміттєва домішка до очистки, %	0,10	0,22	0,13
8	Сміттєва домішка після очистки, %	-	-	-
9	Загальна зернова домішка, %	0,21	0,34	-
10	Загальна зернова домішка після очистки, %	-	-	-
11	Зараженість шкідниками хлібних запасів	Не виявлено		
12	Металомагнітна домішка	Не виявлено		

72 годин складає, відповідно, 72, 90 й 97 штук. Отримані результати показують, що ці сорти тритикале не водочутливі. Тому біологічне активування такого зерна не слід проводити при режимах із низьким зволоженням.

У процесі гідротермічного оброблення відбуваються суттєві зміни в структурі зерна, активно виникають складні фізико-хімічні й біохімічні процеси. Нами запропоновано режим гідротермічного оброблення зерна тритикале – холодного кондиціонування за температури 12–16 °С протягом 28–30 годин. Процес передбачає три послідовних цикли інтенсивного зволоження та відволоження зерна. За цих умов вологість зерна підвищується до 30–35%, що зумовлює активізацію ферментного комплексу, ініціює процес розвитку зародку. Під дією ферментів складні речовини перетворюються в простіші: крохмаль – у цукри, білки – в амінокислоти, жири – в жирні кислоти, що сприяє підвищенню біодоступності зернової сировини. Зерно знаходиться в біологічно активному стані, починає проростати. Процеси проростання відбуваються стрімко, ферментативні процеси сприяють інтенсифікації синтезу вітамінів С, Е, групи В, фенольних сполук, підвищенню антиоксидантного потенціалу зерна.

Нами досліджено вплив біологічного активування на зміну вмісту основних нутрієнтів зерна тритикале (табл. 2).

У процесі біологічного активування зерна тритикале відмічено зменшення загальної кількості білкових речовин, що повністю узгоджується з літературними даними й пояснюється відщепленням від білкових молекул амінокислот, які беруть безпосередню участь у процесах обміну речовин, що відбуваються в рослинній тканині й клітинах. Вміст жиру в зерні під час гідротермічного оброблення дещо підвищується. Це пов'язано з взаємними перетвореннями вуглеводів білків і жирів. Відмічено зменшення кількості крохмалю, що зумовлено його гідролізом до цукрів. Вміст клітковини, яка є основною частиною рослинних клітин, у зерні після пророщування збільшується на 4–5%, що пояснюється утворенням проростка. На зміну зольності впливає зниження забрудненості зерна, яке досягається гідротермічним обробленням.

Досліджено зміну вмісту вітамінів, які проявляють антиоксидантні властивості – токоферолу, аскорбінової кислоти, вітаміну Р у зерні (табл. 3).

Встановлено, що в процесі запропонованої підготовки зерна тритикале кількість вітаміну С збільшується у 2–4 рази, рутину – у 2–2,5 рази, значно зростає вміст токоферолів.

Комплекс вітамінів групи В є цінною складовою периферійних частин зернових культур. Холодне кондиціонування зерна тритикале сприяє підвищенню вмісту цих водорозчинних вітамінів (табл. 4).

Таблиця 2

Вміст основних нутрієнтів зерна

Зразок зерна тритикале	Сорт	Основні нутрієнти, %				Зола
		Білки	Жири	Вуглеводи		
				Крохмаль	Клітковина	
Нативне	Алгід	12,85	2,14	63,03	2,81	1,25
	Поліський 7	12,27	2,50	64,51	2,44	2,01
	Мольфар	13,54	2,47	63,62	2,73	1,58
Біологічно активоване	Алгід	10,91	2,92	53,46	2,96	1,21
	Поліський 7	10,05	3,11	53,88	2,52	1,89
	Мольфар	11,48	3,21	52,91	2,85	1,46

Таблиця 3

Вміст вітамінів-антиоксидантів у зерні тритикале

Сорт	Вміст вітаміну, мг%		
	Р	Е	С
Нативне зерно			
Алгід	4,9±0,25	3,67±0,02	2,0±0,20
Поліський 7	3,4±0,25	4,06±0,02	1,5±0,20
Мольфар	4,5±0,25	4,16±0,02	0,82±0,20
Зерно після гідротермічного оброблення			
Алгід	10,3±0,25	10,82±0,02	5,5±0,20
Поліський 7	10,0±0,25	11,65±0,02	4,8±0,20
Мольфар	9,2±0,25	12,53±0,02	4,6±0,20

Вміст вітамінів групи В і ніацину в зерні тритикале

Сорт	Вміст вітаміну, мг%				
	В ₁	В ₂	РР	В ₄	В ₆
Нативне зерно					
Алкід	0,295±0,001	0,134±0,002	3,70±0,12	87,0±0,20	0,46±0,02
Поліський 7	0,287±0,001	0,125±0,002	3,80±0,12	90,0±0,20	0,52±0,02
Мольфар	0,531±0,001	0,165±0,02	4,0±0,12	96,0±0,20	0,55±0,02
Зерно після гідротермічного оброблення					
Алкід	0,682±0,01	0,163±0,02	4,33±0,12	144,0±0,2	0,64±0,02
Поліський 7	0,890±0,01	0,163±0,02	4,5±0,12	152,0±0,2	0,69±0,02
Мольфар	1,399±0,01	0,192±0,02	4,83±0,12	168,0±0,2	0,77±0,02

Встановлено, що в процесі біологічного активування вміст водорозчинних вітамінів у зерні тритикале також суттєво підвищується залежно від сортових особливостей зерна: кількість тіаміну зростає у 2–2,5 рази, рибофлавіну – в 1,5 рази, вміст нікотинової кислоти й холіну збільшується в 1,5–2 рази, інозиту – в 4 рази.

Висновки. Отримані результати мають практичну значущість, оскільки показу-

ють підвищення біологічної цінності зерна тритикале, зокрема суттєве збільшення вмісту вітамінного комплексу в процесі тривалого гідротермічного оброблення за холодних режимів. Біологічно активоване зерно тритикале є цінною сировиною для виробництва харчових продуктів оздоровчого, функціонального й лікувально-профілактичного призначення.

Список літератури:

1. Пащенко Л.П., Жаркова И.М., Любарь А.В. Тритикале: состав, свойства, рациональное использование в пищевой промышленности. Воронеж : ИПФ «Воронеж», 2005. 206 с.
2. Васюкова А.Т., Сусликов А.В., Мошкин А.В., Пучкова В.Ф. Технология и товароведная оценка многокомпонентных смесей для хлебопекарного производства : монография. Москва : МТИ, 2015. 137 с.
3. Пертина Г.І., Волощук О.П. Вміст мінеральних добрив на вміст поживних речовин в зерні і соломі тритикале та винос їх урожаєм в умовах Західного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2001. С. 46–48.
4. Mergoum H.I., Pfeiffer W.H., Peña R.J., Ammar K., Rajaram S. Triticale crop improvement: the CIMMYT programme. *Triticale improvement and production* : FAO Plant production and protection paper 179. Rome, 2004. P. 11–22.
5. Peña R.J. Food uses of triticale. *Triticale improvement and production* : FAO Plant production and protection paper 179. Rome, 2004. P. 37–48.
6. Федорович Г.Т. Формування урожайності тритикале озимого, залежно від попередника та строків сівби в умовах степу України. *Наукові праці. Серія «Екологія»*. 2014. Вип. 220. Т. 232. С. 71–74.
7. Рибалка О.І., Моргун В.В., Моргун Б.В., Починок В.М. Агрономічний потенціал і перспективи тритикале. *Физиология растений и генетика*. 2015. Т. 47. № 2. С. 95–111.
8. Naeem H.A., Darvey N.L., Grass P.W., MacRitchie F. Mixing properties, baking potential, and functionality changes in storage proteins during development of triticale-wheat flour blends. *Cer. Chem.* 2002. № 79. P. 332–339.
9. Білітюк А.П., Шередєко Л.М. Якість зерна тритикале озимого залежно від удобрення в умовах Західного регіону України. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. 2009. С. 129–140.
10. Tsvetkov M., Stoeva I. Bread making quality of winter hexaploid triticale (X Triticosecale Wittmack) in Bulgaria. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2003. № 9. P. 203–208.
11. Onwulata C.I., Konstance R.P., Strange E.D., Smith P.W., Holsinger V.H. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. *Cer. Foods World*. 2000. № 45. P. 470–473.
12. Кандроков Р.Х., Стариченков А.А., Штейнберг Т.С. Влияние ГТО на выход и качество тритикалевой муки. *Хлебопродукты*. 2015. № 1. С. 64–65.
13. Дмитрук Є.А., Новіков В.В. Удосконалення луштиння зерна тритикале під час виготовлення крупи. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2014. № 2. С. 16–18.
14. Чиркова Л.В., Панкратьєва И.А., Зверев С.В., Политуха О.В. Технология выработки крупы из тритикале. *Хранение и переработка зерна*. 2017. № 1 (209). С. 38–40.
15. Зверев С.В., Панкратьєва И.А., Политуха О.В., Грабовец А.И. Переработка зерна тритикале в крупу. *Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и продуктов их переработки* : материалы международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону : ООО «Издательство «Юг»», 2018. С. 254–261.

Bazhay-Zhezherun S.A., Bereza-Kindzerska L.V. BIOLOGICAL ACTIVATION OF GRAIN TRITICALE

Triticale is a relatively new highly productive, economically valuable cereal crop, artificially created by selectors by crossing rye with wheat. It is grown as food and grain feed raw materials, winter or spring.

The purpose of our work is scientific and practical substantiate the feasibility of using biological activation of triticale grain to improve its nutritional value, in particular increase the content of vitamins and vitamin-like compounds.

We have determined the main organoleptic and physico-chemical properties of triticale grains of domestic breeding varieties: Alkyd, Polissky 7 and Molfar.

It is established that all grain samples have high values of bulk masses, which indicates the quality and quality factor of raw materials, according to the norms it can be carried to the first class quality. The crude gluten content is 23–25%, depending on varietal features.

It was investigated that the values of germination energy and germination capacity for the triticale grains of the studied varieties exceed 95%. The viability of the embryo, the potential ability of the grain to germinate is normal, since their values are not lower than 90%. The water sensitivity of the triticale grains of the Polissky 7, Alcide and Molfar varieties for the germination time of 24, 48 and 72 h is 72, 90 and 97 pieces, respectively.

It is established that in the course of biological activation, the share of proteins of grain of triticale which is exposed to hydrolysis makes 14–15%, carbohydrates – 16–17% of their general contents; the amount of cellulose grows for 4–5% that is explained by formation of a sprout.

Experimental studies have found that intensive hydrothermal treatment of triticale grain in cold conditions contributes to a significant increase in the content of vitamins: the amount of ascorbic acid increases by 2–4 times, routine – by 2–2.5 times, tocopherols – by 3–3.5 times.

It is found that the content of water-soluble vitamins in triticale grains is also significantly increased in the course of the proposed preparation: the amount of thiamine increases by 2–2.5 times; riboflavin – 1.5 times, the content of nicotinic acid and choline increases 1.5–2 times, inositol – 4 times, depending on the varietal features of the grain.

Prolonged hydrothermal treatment under cold modes promotes improvement of the biological value of triticale grains, in particular a significant increase in the content of vitamins and also increase in the bioavailability of energogenny substances.

Key words: biological activation, grain, triticale, nutritional value, vitamins.

Бахмач В.О.

Національний університет харчових технологій

РОЗРОБКА КРЕМУ ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРСПЕКТИВНИХ ДОБАВОК

Метою роботи є вдосконалення технології косметичного крему, призначеного для шкіри обличчя з ознаками захворювання акне. Зовнішнє використання пребіотиків засноване на природних механізмах захисту. Бувши добрим субстратом для «хороших» мікроорганізмів, пребіотики сприяють їхньому росту, залишаючи менше можливостей для розмноження та процвітання патогенів. Це може не тільки стримувати шкірні інфекції та запалення, але й робити внесок у загальне здоров'я шкіри.

Обґрунтовано доцільність використання синбіотичного комплексу косметичних пребіотиків як активного рецептурного інгредієнта. Косметика з пребіотиками – це, фактично, альтернативна косметика, побудована на принципах холистичного підходу до догляду за шкірою. Замість традиційних антибактеріальних компонентів, що не вирішують проблем мікробного дисбалансу, альтернативна косметика використовує чисто біологічний підхід до нормалізації функцій шкіри, відновлення та підтримки її природного захисту. Все це робить її надзвичайно м'якою та застосовною для будь-яких типів шкіри. Наведено докладну характеристику пребіотичних добавок *Violin-P* та *Woresana*, досліджено їхню активність щодо патогенезу основного збудника захворювання шкіри акне – пропіоново-кислих бактерій *Propionibacterium shermani*. Для посилення ефективності косметичних препаратів і спрямованості їхньої дії в них вводять різні біологічно активні сполуки або комплекси, що мають певний фармакологічний і косметичний ефект. Проаналізовано компонентний склад засобів вітчизняного й імпортного виробництва із заявленим лікувально-профілактичним ефектом. Розроблено рецептуру крему для обличчя з високим вмістом пребіотиків і зволожувальних компонентів. Описано компонентний склад розробки, що дозволяє ефективно відновлювати бар'єрні функції шкіри, зміцнювати її та заспокоювати. Запропоновано технологічну схему виробництва емульсійних кремів, підібрано комплект обладнання та подано рекомендації з ведення технологічного процесу.

Ключові слова: косметичний крем, шкіра обличчя, добавка, рецептура, термостабільність.

Постановка проблеми. Проблема чутливої шкіри стає все гострішою, і натеper практично кожна друга людина стикалася з такими симптомами хоча б раз у житті. Виною тому екологія, стан здоров'я людини, стреси, погане харчування, недосипання. Усі ці чинники значно погіршують бар'єрні функції шкіри, як наслідок вона стає незахищеною та слабкою, на ній миттєво зображується будь-яка агресія навколишнього середовища або нервовий день.

Порушення нормальної мікробіоти формуються як наслідок впливу на організм фізичних, хімічних, радіаційних й інших факторів. У зв'язку із цим виникає необхідність комплексного підходу до конструювання та відновлення оптимального рівня життя [1, с. 35].

Створення засобів для догляду за шкірою на базі пребіотиків дозволяє з легкістю виконувати необхідні функції, багато в чому завдяки стабільності вуглеводів у різних середовищах, як наслідок чого ефективність препарату зберігається протягом тривалого часу. Зовнішнє використання

пребіотиків засноване на природних механізмах захисту. Бувши добрим субстратом для «хороших» мікроорганізмів, пребіотики сприяють їхньому росту, залишаючи менше можливостей для розмноження та процвітання патогенів. Це може не тільки стримувати шкірні інфекції та запалення, але й робити внесок у загальне здоров'я шкіри.

Косметика з пребіотиками – це, фактично, альтернативна косметика, побудована на принципах холистичного підходу до догляду за шкірою [2, с. 65]. Замість антибактеріальних компонентів, які не вирішують проблем мікробного дисбалансу, вона використовує чисто біологічний підхід до нормалізації функцій шкіри, відновлення та підтримки її природного захисту. Все це робить її надзвичайно м'якою та застосовною при будь-яких типах шкіри, аж до самої чутливої, в тому числі й для шкіри маленьких дітей. Завдяки таким унікальним властивостям перспективи використання пребіотиків у косметичних засобах величезні, й вони ще не раз заявлять про себе.

Аналіз досліджень і публікацій. Пробиотики – це живі мікроорганізми, використання яких у необхідній кількості нормалізують кишкову мікробіоту й мають лікувально-профілактичну дію на організм людини [3, с. 45].

Відповідно до визначення Всесвітньої організації охорони здоров'я та Продовольчої та Сільськогосподарської Організації (Food and Agriculture Organization, ФАО) Організації Об'єднаних Націй, пробиотики – живі мікроорганізми, використання яких у необхідній кількості надає лікувально-профілактичну дію на організм людини. Найчастіше використовувани пробиотики належать до видів біфідобактерій і лактобацил, хоча інші мікроорганізми теж можуть застосовуватися із цією метою [4, с. 17]. Препарати пробиотиків можуть не містити метаболічно активних, справді живих мікроорганізмів. Замість цього з практичних міркувань, пов'язаних зі зручністю застосування, смаковими якостями (під час прийому всередину) й стабільністю, використовуються неактивні, часто ліофілізовані спори. При сприятливих температурі, вологості й рН спори розмножуються, даючи початок популяції мікроорганізмів.

Пребиотики – речовини, що створюють сприятливе живильне середовище для розмноження мікрофлори [5, с. 85]. Насамперед це клітковина (якщо казати про пребиотики, одержувані з їжею) та рослинні екстракти, багаті полісахаридами й іншими корисними речовинами.

Пребиотики не є ні мікроорганізмами, ні їх «попередниками». Згідно із загальноприйнятим визначенням, це незасвоєвані речовини, які надають корисну фізіологічну дію на організм внаслідок вибіркового стимулювання сприятливого зростання або діяльності обмеженого числа місцевих бактерій. Структурно це олиго- або полісахариди, що складаються із залишків фруктози (фруктоолігосахариди – наприклад, інулін) або галактози. Пребіотичною активністю володіють також лактулоза (дисахарид із залишків галактози й фруктози) й лактітол (похідне поліола й галактози); дещо менш популярні й відомі ізомальтоолігосахариди, ксілоолігосахариди, довголанцюгові бета-глюкан і олігосахариди глюкоманнана.

Загальний підсумок впливу про- й пребіотиків схожий: зміна кількісного та якісного складу мікробного товариства, що населяє різні органи.

Пребиотики визначаються як функціональні харчові інгредієнти, які не здатні до перетравлювання, у вигляді речовини або комплексу речовин, що забезпечують під час регулярного застосу-

вання в складі харчових продуктів оптимізацію мікроекологічного статусу організму людини внаслідок вибіркової стимуляції активності корисної мікробіоти травного тракту. Як результат такої дії відзначається поліпшення самопочуття людини.

До пребіотиків пред'являються такі вимоги:

- бути безпечними для макроорганізму;
- не піддаватися гідролізу ферментами;
- бути селективним субстратом для одного або декількох родів облигатних представників мікробіоти й стимулювати їхнє зростання та метаболічну активність;
- мати здатність поліпшувати склад мікробіома;
- індукувати корисні ефекти як на рівні шлунково-кишкового тракту, так і на рівні макроорганізму.

Пребіотичні вуглеводи присутні в таких фруктах і овочах, як банани, ягоди, спаржа, часник, пшениця, вівсянка, ячмінь, лляне насіння, помідори, топінамбур, цибуля та цикорій, зелень (шпинат, селера, капуста, пагони гірчиці), бобові (сочевиця, квасоля, горох, чорні боби, соя).

Позитивні ефекти застосування пребіотиків реалізуються за допомогою вибіркової стимуляції росту індигенної мікробіоти з одночасним придушенням патогенної, умовно-патогенної мікробіоти й токсичних метаболітів. Все це сприяє стимуляції функції печінки, активізації імунної системи, зниженню рН вмісту товстої кишки. Як наслідок, підвищується осмотичний тиск, що приводить до затримки рідини в просвіті кишки й посилення її перистальтики, до збільшення бактеріальної маси, що супроводжується активною утилізацією аміаку.

Постановка завдання. У роботі наведено опрацювання рецептур косметичних кремів для обличчя з використанням особливого комплексу косметичних пребіотиків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Технології виробництва косметичних кремів не відрізняються складністю та великою різноманітністю, критерієм їхньої якості є отримання стабільних емульсій.

Вибір технології тісно пов'язаний із правильним вибором сировинної бази, зокрема емульгаторів, і наявністю в технологів виробничого обладнання, що забезпечує ефективну гомогенізацію. Крім цього, особливу увагу слід приділити факторам економії часу процесу до досягнення успішного результату й енергетичним витратам, а також відповідності способу отримання міжнародним нормам.

Як джерело лактобактерій обрано косметичну добавку WORESANA – лізат бактерій *Lactobacillus* на ферментованому житньому борошні виробництва Woresan GMBH. За даними виробника, WORESANA показала суттєву антимікробну активність проти таких збудників акне, як *Propionibacterium acne* й *Staphylococcus epidermidis* після 24 годин культивування при концентрації 3%.

Обрана добавка володіє наступними перевагами:

- 100% натуральні інгредієнти;
- для різних стандартних й органічних косметичних засобів;
- ефективна в боротьбі з акне;
- відзначається антимікробною та проти-грибковою активністю;
- стабілізує бар'єрну функцію шкіри;
- зволожує та живить шкіру;
- має плівкоутворювальні властивості;
- сертифікована згідно VDIH, Ecocert і NaTrue.

Лізати – це продукт гідролізу у вигляді суспензії з відповідних бактерій, продукт біотехнологій. Вони містять коротколанцюгові пептиди, вільні амінокислоти, полісахариди (глюкоза, кіслатоза, галактоза), деяку кількість АНА кислот, велику кількість вітамінів (групи В, вітаміни С, РР, фолієва кислота) й самі бактерії, розщеплені під дією гідролізу до дрібних фракцій цитоплазми й клітинних стінок.

Лізати біфідо-, лакто- й пропіобактерій відносять до пребіотиків. Вони створюють на поверхні шкіри оптимальне середовище для розмноження нормальної мікрофлори шкіри. Лізати діють різноспрямовано: стимулюють вироблення керамідів шкіри, нормалізують секрецію себуму, відновлюють власний зволожувальний фактор.

Для стимулювання росту пропіоновокислих бактерій використовували розчин WORESANA в кількості від 1 до 3%, у межах рекомендацій виробника. Добавку Biolin-P вносили в кількості 3%, яка оптимальна згідно з попередніми дослідженнями. Необхідне значення рН 7,0 розчину створювали за допомогою 1М NaOH. Як контроль використовували середовище без додавання з вмістом 3% пребіотику Biolin-P без добавки Woresana. Культивування культури проводили протягом 48 год при температурі 30 °С.

Встановлено, що *Propionibacterium shermanh-4* ферментують всі зазначені вище пребіотики, а накопичення мікробної біомаси відбувається поступово (рис. 1).

P. shermanh-4 найкраще ферментував із 3% Woresana в синбіозі з добавкою Biolin-P концентрацією 3% – приріст біомаси збільшувався до $8 \cdot 10^9$ КУО/см³. Порівняно нижчими показниками характеризувались зразки з вмістом 1 та 2% Woresana, які наближались до значення контролю $2 \cdot 10^9$ КУО/см³.

Перехід від лаг-фази до експоненціальної спостерігали вже після 3 години культивування, що

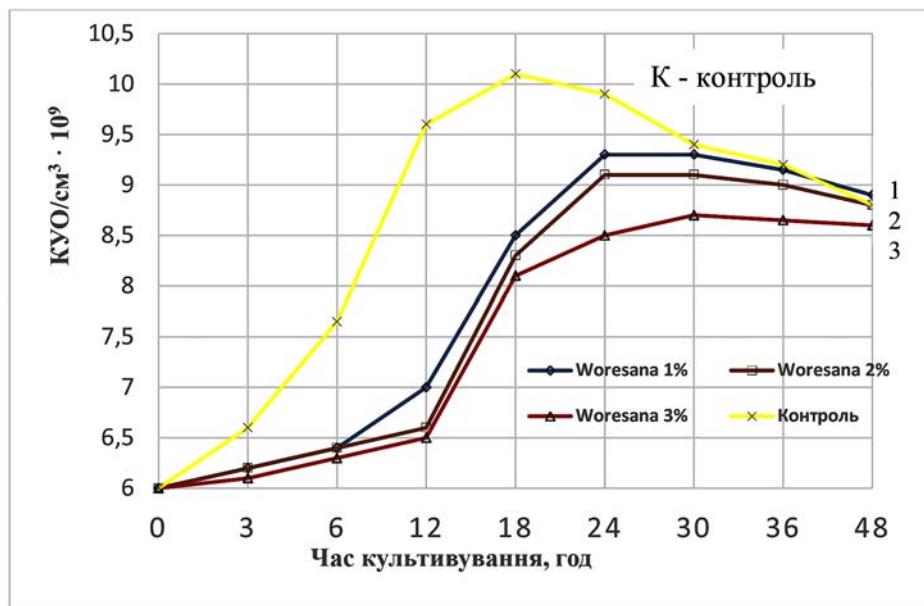


Рис. 1. Вплив пребіотиків на динаміку росту *Propionibacterium*: К – контроль (Biolin-P 3%); 1 – Biolin-P 3% + Woresana 1%; 2 – Biolin-P 3% + Woresana 2%; 3 – Biolin-P 3% + Woresana 3%

свідчить про швидке пристосування культури бактерій до середовища й умов культивування. Максимальний приріст біомаси пропіоновокислих бактерій було визначено на 18 годину культивування, він становив $10 \cdot 10^9$ КУО/см³.

Після 24 години культивування спостерігається поступове зменшення популяції мікроорганізмів. При мікроскопії пропіоновокислих бактерій у всіх зразках бактерії мали форму паличок. Одержаний результат свідчить про доцільність застосування синбіотичного комплексу пребіотиків Woresana й Biolin-P з концентрацією 3% кожного з препаратів.

Розроблена рецептура представлена в таблиці 1.

Для посилення ефективності косметичних препаратів і спрямованості їхньої дії в них уводять різні біологічно активні сполуки або комплекси, що мають певний фармакологічний і косметичний ефект. Нами проаналізовано компонентний склад засобів вітчизняного й імпортного виробництва із заявленим лікувально-профілактичним ефектом (рис. 1). Одержані результати стали основою для вдосконалення технології косметичних засобів для догляду за шкірою з вираженими проблемами епідермісу.

Таблиця 1

Рецептурний склад косметичного крему з пребіотиками

Найменування компоненту		Властивості	Вміст, %
тривіальна	номенклатурна		
Фаза А			
Віск емульсійний	аніонний емульсійний віск, Cyclonette Wax	емульгатор	6
Олія персикова	Oleum persicorum	емомент	5
Олія оливкова	Olea europaеа	емомент	5
Олія ши	масло каріте	емомент	1
Фаза В			
Вода демінералізована	оксид гідрогену, вода	розчинник	56,68
Добавка косметична Biolin-P	Inulin, Alpha-glucan oligosaccharide	пребіотик	3
Добавка косметична Woresana	Lactobacillus, Rye Flour, Ferment	пребіотик	3
Гліцерин	Гліцерол	зволожувач	2
Спирт цетилстеариловий	Ceto Stearyl Alcohol	згущувач	2
Консервант натуральний Leucidal	консервант	консервант	1
Modukine	lactokine Fluid PF	бустер	0,5
Цитрат натрія	Sodium citrate	регулятор кислотності	0,12
Фаза С			
Гіалуронат натрію (1,0 % розч.)	Sodium Hyaluronate (BP, PhEur)	Плівкоутворювач	5
Купаж екстрактів	Extractive blend	відбілювач тону	5
Гідролізат протеїнів шовку	Hydrolyzed Silk Protein	біологічно активна речовина	1,85
Вітамін С	аскорбінова кислота	антивіковий компонент	0,3
D-пантенол	R-2,4-дигідрокси-N-(3-гідрокси-пропил)-3,3-ди-метилбутанамід	метаболіт, ранозагоювач	1
Алое гель (80% розч.)	Aloe Vera Gel	багатофункціональна добавка	1
Алантаїн	5-уреидогидантоин	Пом'якшувальна добавка	0,2
Вітамін Е	Tocopheroli acetat	антиоксидант	0,2
Ефірна олія	Essential oil	антибактеріальний комплекс	0,15
Всього			100

Таблиця 2

Органолептичні й фізико-хімічні показники крему з пребіотиками

Найменування показника	Характеристика й норма	
	Розроблений косметичний крем	Косметичні креми згідно з ДСТУ 4765:2007
Зовнішній вигляд	Однорідна маса без сторонніх домішок	Однорідна кремоподібна, гелеподібна чи пастоподібна маса
Колір	Білий	Властивий кольору виробу
Запах	Властивий запаху крему й ефірним оліям, що входять до складу	Властивий запаху виробу
Масова частка води й летких речовин, %	56,7	20,0–75,0
Водневий показник рН	7,4	3,0–9,0
Колоїдна стабільність	Стабільна	Стабільна
Термостабільність	Стабільна	Стабільна

Таблиця 3

Мікробіологічні показники крему з пребіотиками

Найменування показника	Характеристика й норма	
	Розроблений крем із пребіотиками	Емульсійні косметичні креми ДСТУ 4765:2007
Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО/г (см ³)	100 ± 10	< 1000
Бактерії Enterobacteriaceae в 1г (см ³)	Відсутність	Відсутність
Staphylococcus aureus в 1г (см ³)	Відсутність	Відсутність
Pseudomonas aeruginosa в 1г (см ³)	Відсутність	Відсутність
Кількість дріжджів і пліснявих грибів, КУО/г (см ³)	5 ± 1	< 100

Під час складання багатокomпонентної рецептури до її складу включали інгредієнти, які не інактивують один одного й не відіграють ролі антагоністів під час нанесення на шкіру.

Акцент зроблено на посиленні взаємодії компонентів: обирали компоненти переважно рослинного походження з взаємним синергетичним ефектом.

Якість косметичних кремів оцінюють згідно з вимогами ДСТУ 4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови». Емульсійні косметичні креми можуть мати густу або рідку консистенцію. За органолептичними й фізико-хімічними показниками вони повинні відповідати вимогам, наведеним в табл. 2, а за мікробіологічними показниками – в табл. 3.

Досліджено показники органолептичної та фізико-хімічної оцінки розробленого крему й встановлено їхню повну відповідність чинному нормативному документу.

З наведених даних таблиці 3 видно, що за мікробіологічними показниками розроблений крем із пребіотиками відповідає вимогам ДСТУ 4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови».

Висновки. Вивчено сумісний вплив пребіотиків Violin-P і Woresana на розвиток головного збудника захворювання шкіри акне – пропіоновокислих бактерій – і встановлено їх синбіотичну дію. Застосування пребіотиків у кількості 3% вповільнює накопичення мікробної біомаси протягом 24 год культивування за температури (30 ± 1)°C.

Розроблено рецептуру крему для обличчя з високим вмістом пребіотиків і зволожувальних компонентів. Описано компонентний склад рецепту, який дозволяє ефективно відновлювати бар'єрні функції шкіри, зміцнювати її та заспокоювати. Запропоновано технологічну схему виробництва емульсійних кремів, підбрано комплект обладнання та подано рекомендації з ведення технологічного процесу.

Список літератури:

1. Тарасенко Н.А., Филиппова Е.В. Кратко о пребиотиках: история, классификация, получение, применение. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 6. С. 45–48.
2. Капрельянц Л.В. Пребиотики: химия, технология, применение. Киев : ЭнтерПринт, 2015. 252 с.

3. Hill C. et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2014. V. 11. P. 506–514.
4. Крисенко О.В., Скляр Т.В., Вінніков А.І. Мікробіологічні аспекти пробіотичних препаратів. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Біологія. Екологія»*. 2010. Т. 2, Вип. 18. С. 25–33.
5. Mielle de Vrese, J. Schrezenme A Probiotics, prebiotics and synbiotic. Food Biotechnology : Advances in Biochemical Engineering. *Biotechnology*. 2008. V. 111/ P. 1–66.
6. Hugenholtz J.I. et al. Nutraceutical production by Propionibacteria. *Lait*. 2002. Vol. 82. P. 103–112.
7. Dibon M. Bacteria and Beauty: Microbiota’s Game-changing Potential in Product Development. *GCI Magazine*. 2013. № 1. P. 13–18.
8. Suárez J. Microbiota autóctona, probióticos y prebióticos. *Nutrición Hospitalaria*. 2015. № 7 (31). Suppl. 1. P. 3–9.

Bakhmach V.O. DEVELOPING CREAM FOR FACE WITH USING PROSPECTIVE ADDITIVES

The purpose of the work is to improve the technology of cosmetic cream intended for face skin with signs of acne disease. External use of prebiotics is based on natural defense mechanisms. Being a good substrate for “good” microorganisms, prebiotics promote their growth, leaving less room for pathogens to propagate and thrive. This can not only contain skin infections and inflammation, but also contribute to the overall health of the skin.

*As an active prescription ingredient, the feasibility of using the symbiotic complex of cosmetic prebiotics is substantiated. Prebiotics cosmetics are, in fact, alternative cosmetics, based on the principles of a holistic approach to skin care. Instead of traditional antibacterial components that do not actually solve the problems of microbial imbalance, alternative cosmetics uses a purely biological approach to normalize skin functions, restore and maintain its natural protection. All this makes it extremely soft and applicable to all skin types. A detailed description of the prebiotic supplements of Biolin-P and Woresana is given, their activity in relation to the pathogenesis of the main pathogen of the acne skin disease – the propionic acid bacteria *Propionibacterium shermanh*, is investigated. To enhance the effectiveness of cosmetics and the purposefulness of their action in the latter introduce various biologically active compounds or complexes having a certain pharmacological and cosmetic effect. The component composition of domestic and imported production with the declared therapeutic and prophylactic effect is analyzed. The formulation of a face cream with a high content of prebiotics and moisturizing ingredients has been developed. The component composition of the development is described, which allows to effectively restore the barrier functions of the skin, strengthen it and soothe it. The technological scheme of production of emulsion creams is offered, the set of the equipment is selected and recommendations on conducting the technological process are given.*

Key words: *cosmetic cream, facial skin, additive, formulation, thermal stability.*

УДК 642

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/15>**Бідюк Д.О.**

Сумський національний аграрний університет

Середа О.Г.

Сумський національний аграрний університет

НОВИЙ ВИД БІОРОЗКЛАДУВАНОЇ ТАРИ

Використання пластиків у всіх сферах життя населення країн світу фактично призводить до забруднення навколишнього середовища і є потенційно небезпечним чинником для здоров'я людини. Визначене місце займає одноразовий стаканчик, який традиційно використовується в індустрії харчування насамперед для напоїв. Світовий ринок одноразових стаканчиків налічує споживання 500–600 млрд одиниць на рік, з кожним роком спостерігається його збільшення.

Паперовий стаканчик є одним із популярних видів одноразової тари, яка має ламінований тонкий шар поліетиленової плівки для гідробар'єра. Це істотно ускладнює його перероблення та робить неможливим безпечно розкладання в навколишньому середовищі. В Україні перероблення паперових стаканчиків реалізовано лише на Змієвській паперовій фабриці, однак за відсутності налагодженої системи управління відходами цей процес носить, на жаль, локальний характер.

Одним із перспективних шляхів розв'язання проблем використання та утилізації паперових одноразових стаканчиків є розроблення технологій екологічно безпечних біопластиків як основи такого виду тари.

На підставі огляду доступної інформації запропоновано класифікацію стаканів на біологічній основі, які на сучасному етапі пропонуються вітчизняними й світовими компаніями або знаходяться на стадії прототипу.

Нами розроблено технологію нового виду одноразових стаканчиків із біопластику на основі відпрацьованої кавової гущі й використання натуральних зв'язувальних харчових компонентів. Сенсорною оцінкою органолептичних показників розробленого стаканчика після його тестування шляхом витримання з дистильованою водою з початковими температурами $15\pm 1^\circ\text{C}$, $65\pm 1^\circ\text{C}$ та $90\pm 1^\circ\text{C}$ встановлено несуттєву зміну практично всіх органолептичних показників, окрім характеристики рідини після тестування. Останнє ми вважаємо слабкою стороною розробленого одноразового стаканчика, що значно ускладнює його використання для інших напоїв, окрім кави, кавових напоїв або їх замінників. На наш погляд, для розширення асортименту питної продукції, яка можуть бути реалізована в такому виді тари, доцільно використовувати натуральне бар'єрне покриття.

Ключові слова: пластикове забруднення, одноразовий стаканчик, біопластик, відпрацьована кавова гуща, ступінь набрякання.

Постановка проблеми. На сьогодні однією з глобальних проблем стану навколишнього середовища є забруднення його пластиком і мікропластиком [1; 2]. Властивості пластиків – вологостійкість, міцність, легкість, добрі бар'єрні властивості, невисока вартість – стали причиною їхньої масової розповсюдженості у всіх сферах життя людства, в тому числі під час використання як основи для тари й пакувальних матеріалів для харчової продукції. Важливо зазначити, що поряд із його унікальними властивостями пластик негативно впливає на здоров'я людини, про що свідчать численні наукові дослідження [1–5]. У табл. 1 наведений аналіз розповсюджених видів пластику, з якого нині виготовляють тару й пакувальні матеріали, а також ризики, які виникають під час використання цих виробів [2].

Одним із широко розповсюджених типів тари є одноразовий стаканчик. Це – тип одноразового пластикового або паперового посуду, який в індустрії харчування використовується для пакування, зберігання та подачі напоїв, а також деякої харчової продукції з нерідкою консистенцією. Низька вартість одноразових стаканчиків, легка вага й інші фізичні властивості зробили цей вид тари більш популярним у харчовій промисловості під час виробництва напоїв.

Згідно з даними [6], світовий ринок одноразових стаканчиків у 2018 році склав 13,77 млрд доларів, й очікується, що до 2027 року він досягне 27,75 млрд доларів. За орієнтовними даними світові обсяги виробництва одноразових стаканчиків складають 500–600 млрд одиниць на рік.

Під час виробництва одноразових стаканчиків використовують різні види нафтових пластиків (табл. 1), однак популярним у світі й, зокрема, Україні, є папір, ламінований тонким шаром поліетиленової плівки. Згідно з даними [7], в нашій державі за 2017 рік обсяг виробництва паперових

стаканчиків склав до 1,06 тис. тонн. Використовуючи методологію оцінки життєвого циклу, грецькими вченими [8] встановлено, що світовий щорічний вуглецевий слід від використання паперового стаканчика складає близько 7,5 млн тонн еквіваленту CO₂. Водночас авторами зазначено,

Таблиця 1

Види пластиків, їхнє використання в пакуванні й пов'язані з цим ризики

Вид пластику	Перелік тари й пакування, де використовується	Ризики, які виникають
Поліетилентерефталат (PET чи PETE)	Контейнери для безалкогольних напоїв, соків, води, пива, миючих засобів тощо	Виділяє триоксид сурми й (2-етилгексил) фталат, який є ендокринним порушником, імітуючи жіночий гормон естроген. Його використання було тісно пов'язане з астмою та алергією в дітей. Може викликати певні типи раку. Має негативний вплив на печінку, нирки, селезінку
Поліетилен високої щільності (HDPE)	Непрозорі контейнери для молока, йогуртів, води, соків, пляшки з миючими засобами й шампунями, мішки для сміття, вкладки для ящиків тощо	Вважаються одним із безпечних пластиків. Дослідження ризиків, пов'язаних із цим типом пластику, тривають
Поліетилен низької щільності (LDPE)	Пакети одноразові, в тому числі для свіжих і заморожених харчових продуктів, контейнери, що стискаються тощо	
Поліпропілен (PP)	Контейнери для кетчупу, йогуртів, маргарину, лікарських препаратів й інші непрозорі пластикові контейнери, включаючи дитячі пляшечки, багаторазові стакани тощо	
Полівінілхлорид (PVC)	Іграшки, прозоре харчове й нехарчове пакування, контейнери для рослинної олії, пляшки для шампуню, миючих засобів	Вважається одним із найнебезпечніших пластиків, який коли-небудь створювався. Виділяє ді (2-етилгексил) фталат (DEHP) або бутил бензил фталат (BBzP), залежно від того, що використовується як пластифікатор (зазвичай DEHP). DEHP і BBzP – це ендокринні руйнівники, що імітують жіночий гормон естроген. Вони були тісно пов'язані з астмою та алергічними симптомами в дітей, може викликати певні види раку. Має негативний вплив на печінку, нирки, селезінку, формування кісток і масу тіла
Полістирол (PS)	Контейнери зі спіненого полістиролу, одноразовий посуд, столові прилади тощо	Виділяє стирол, що є ендокринним порушником, який імітує жіночий гормон естроген, і, таким чином, може викликати проблеми з репродуктивністю та розвитком. Негативно впливає на мозок і нервову систему, а також еритроцити, печінку, нирки і шлунок. Стирол значно мігрує з полістирольних контейнерів, коли жирні місткі продукти нагріваються в них
Полікарбонат (PC)	Дитячі пляшки, прозорі пластикові стаканчики, спортивні пляшки для води, великі місткості для зберігання води, деякі контейнери для соку й кетчупу	Виділяє бісфенол А, який сприяє пошкодженню хромосом в яєчниках жінок

що вторинне перероблення дозволяє зменшити вуглецевий слід до 40%, а використання багаторазових стаканів забезпечить скорочення викидів вуглецю в 3 рази.

Отже, використання одноразових стаканчиків, які виготовлені на основі або із залученням пластиків, ставить питання про вплив їхньої утилізації на навколишнє середовище. Привабливим технологічним шляхом для скорочення накопичення пластикових відходів, у тому числі одноразових стаканчиків, вважається їхнє перероблення [9–11]. Як відомо [10], існує 4 основні категорії перероблення пластиків, у рамках яких здійснюється механічне перероблення з отриманням продукту еквівалентної якості (первинна), зі зниженням якості переробленого матеріалу (вторинна), хімічне перероблення (третинна) й спалювання для рекуперації енергії (четвертинна). Зазначені шляхи утилізації набули поширення в розвинених країнах світу; в Україні, на жаль, їм поки приділяють мало уваги.

У країнах Європи існує декілька заводів із перероблення паперових стаканчиків, також існують ряд розробок інноваційних способів їхньої утилізації [12–14]. В Україні цей процес реалізується лише на Змієвській паперовій фабриці з можливою потужністю близько 500 тонн на місяць. Водночас постає питання налагодженої системи сортування, яка в Україні, на жаль, майже відсутня.

Одним зі шляхів розв'язання зазначених проблем, поряд із переробленням виробів із пластику, в тому числі стаканчиків, є використання біопластиків, які мають здатність до безпечного розкладання в довкіллі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Швидке накопичення пластикових відходів, у тому числі тих, що утворюються після використання одноразових паперових стаканчиків, стимулює міжнародний попит на відновлювані пластики – біопластики, які володіють унікальними якостями (повне біорозкладання, придатність до компостування, задовільні механічні, бар'єрні властивості тощо) й виступають привабливою екологічною альтернативою [15–17]. Різноманіття сировини на біологічній основі відкриває можливості виробляти широкий асортимент відновлюваних пластиків [17].

На підставі аналізу доступної інформації щодо сучасних технологій і складу нового напрямку екологічної тари на біологічній основі (тобто виготовленої з відновлюваної сировини) – стаканів, нами запропоновано їхню класифікацію (рис. 1).

За харчовим призначенням стакани поділяються на неїстівні та їстівні. До неїстівних можна

віднести паперові стакани, стакани з біорозкладних полієфірів (PLA, PHA тощо), дерев'яні, усі багаторазові, до їстівних – ті, що виготовлені з харчової сировини, у тому числі вторинної (з різних видів тіста, з гелеподібною структурою, з овочевої та плодово-ягідної сировини тощо).

За кількістю використань стакани поділяються на одноразові й багаторазові. До одноразових можна віднести паперові, з біорозкладних полієфірів, усі їстівні, з харчових відходів. До багаторазових в основному відносяться ті, що виготовлені з чистих біорозкладних полієфірів або їх композицій із додаванням різної харчової та нехарчової сировини (висівок, кавових жмивів, здрібнених частин рослин, дерев'яної тирси тощо) й мають високу стійкість до дії температури, вологи й інших факторів.

За наявністю бар'єрного покриття стакани можна поділити на ті, що його мають і на ті, що не мають. Бар'єрні покриття призначені для збереження нестійкої основи стакану (папір, їстівна основа) від дії різних середовищ (води з різним рівнем рН і вмістом розчинених речовин (солей, цукрів), жиру й емульсійних продуктів, водноспиртових розчинів, якими є більшість напоїв). До них відносяться їстівні (шоколад і термостійка глазур, айсінг, білкові плівки, воскові й парафінові шари, природні смоли) й неїстівні (ламінація паперових стаканів PLA, водні дисперсії полімерних речовин). Стакани, що не покриті бар'єрними шарами, мають початково водостійку основу – це, наприклад, біорозкладні полієфіри, желейні, деякі стакани з тіста, воскові.

За призначенням стакани можна поділити на ті, що призначені для напоїв (гарячих або холодних) і для сухої харчової продукції (наприклад, снекової). Стакани, що випускаються промислово, як правило, використовуються саме для напоїв.

За поживною цінністю сировини стакани поділяються на ті, що виготовлені з нехарчової сировини (деревина, папір, біорозкладні полієфіри), харчової сировини, з харчових відходів і вторинної сировини (висівки, кавові жмихи, овочеві й плодово-ягідні відходи) й комбіновані, що поєднують в собі ознаки попередніх (наприклад, на основі біорозкладних полієфірів із додаванням неїстівних частин рослин, висівок тощо).

За видом основної сировини стакани поділяються на виготовлені з паперу, біорозкладних полієфірів, продуктів перероблення зерна (борошна, крохмалю, висівок), полісахаридів (желейні), з овочевої та плодово-ягідної сировини

(із сушеної продукції), з харчових відходів (із залишків продукції тваринного й рослинного походження), композиційні, які містять зв'язувальну натуральну або синтезовану полімерну речовину й інертний наповнювач та інші (наприклад, воскові, дерев'яні та інші).

Слід зазначити, що стакани, які розглядаються в цій класифікації, біорозкладні й не містять нафтових не біорозкладних полімерів.

Враховуючи запропоновану класифікацію, нижче наведені деякі конкретні приклади стаканів, які випускаються рядом вітчизняних і світових компаній, або існують у вигляді лабораторного прототипу (рис. 2).

Одним із перспективних видів харчових відходів для виробництва біопластиків і пакування з них є відпрацьована кавова гуща. Згідно з різними оцінками, станом на 2017 рік у світі утворюється близько 10 млн тонн відходів кавової гущі. Аналіз складу цього продукту [18] свідчить про багатий потенціал для виробництва біопластиків. Основними компонентами відпрацьованої кавової гущі є екстрактивні речовини – 54%, в тому числі ліпофільні фракції – 24% (понад 60% з яких – це вільні жирні кислоти), спирто- й водорозчинні сполуки – 5%, сполуки, розчинні в 1% NaOH – 26%. Лігнін і полісахариди складають 20–26%, загальні поліфеноли – менше ніж 6%. Розробки по

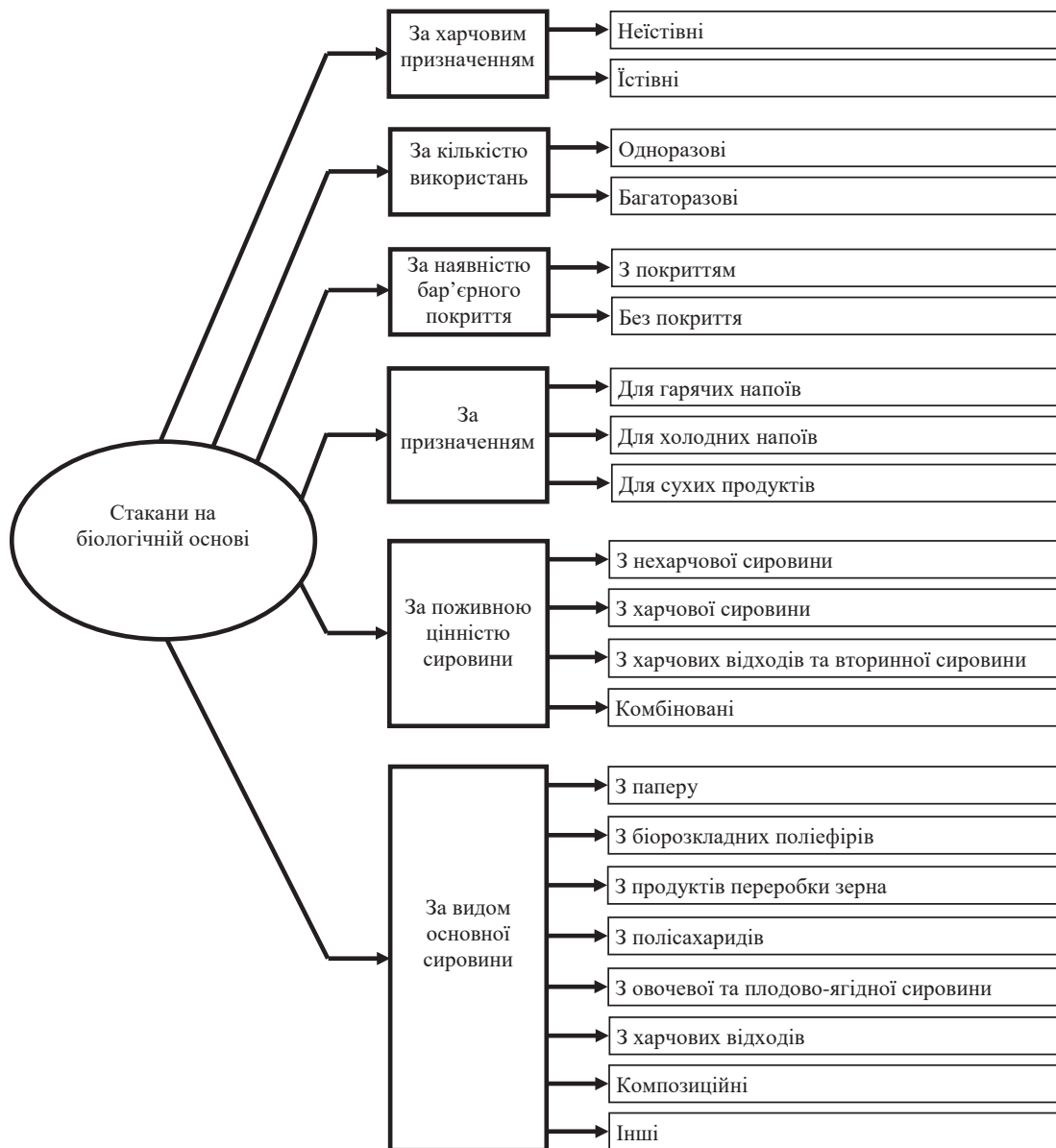


Рис. 1. Класифікація стаканів на біологічній основі

додаванню вартості відпрацьованої кавової гущі набрали обертів із початку XXI століття завдяки всесвітньому поширенню серед населення розуміння екологічних проблем, викликаних цими побічними продуктами.

Області застосування, пропоновані й реалізовані натеper у світовій практиці для рентабельного перероблення цього побічного продукту, досить різноманітні [19; 20], включаючи виробництво компосту й біогумусу [19–21], композиційних біопластиків для пакування [19; 20; 22; 23] (рис. 2, багаторазовий стакан **Weducer**), використання адсорбентів, виробництво твердого, рідкого й газо-подібного біопалива [19; 20; 24; 25], вилучення

цінних біологічно активних сполук [19; 26; 27], виробництво косметичних засобів (скрабів) та інші. В Україні, на жаль, подібні технології практично відсутні.

Постановка завдання. Метою статті є проведення органолептичної оцінки й визначення ступеня набрякання за різної температури нового виду біорозкладної тари – одноразових стаканчиків із використанням відпрацьованої кавової гущі, а також надання рекомендацій з їхнього використання для напоїв.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нами розроблено технологію нового виду тари – одноразових стаканчиків для кави, кавових напоїв



Рис. 2. Приклади стаканів на біологічній основі

1 – Стаканчик одноразовий із паперу, ламінований плівкою з PLA для гарячих напоїв (виробник – компанія Avani, Балі, Індонезія); 2 – Стаканчик одноразовий із PLA для гарячих напоїв (виробник – компанія Avani, Балі, Індонезія); 3 – Стаканчик одноразовий із дерева для сухих продуктів (виробник – Esovilka, Росія); 4 – Стаканчик одноразовий із висушеної оболонки спеціального сорту гарбуза **HyO Cup** для гарячих напоїв (виробник – дизайнерська студія Crème, Нью-Йорк, Сполучені Штати Америки); 5 – Стаканчик із вафельного тіста й покриттям із шоколадної глазури для кави **Yummy Cup 90** (виробник ТОВ «Лекорна», Україна, Богодухів); 6 – Стаканчик із вафельного тіста без покриття для гарячих напоїв **Cupffee** (виробник – компанія Cupffee, Болгарія, Пловдив); 7 – Стаканчик желевий на основі агару для холодних напоїв **Jelloware** (виробник – компанія Lolyware, Нью-Йорк, Сполучені Штати Америки); 8 – Чашка з пісочного тіста з покриттям з айсінгу для гарячих напоїв **Cookie Cup** (від дизайнера Enriqne Luis Sardi, Італія); 9 – Стаканчик одноразовий зі спіненого крохмалю з покриттям із водних дисперсій полімерних речовин для гарячих напоїв (виробник – компанія Green Olive Environmental Protection Technology Co, Ltd, Дунгуань, Китай); 10 – Стакан багаторазовий з використанням кавових жмхів і дерев'яної тирси **Weducer** (виробник – компанія Kaffeeform, Німеччина, Берлін); 11 – Стакан багаторазовий із використанням кавового лушпиння **HuskeeCup** (Виробник – Huskee, Австралія); 12 – Стакан багаторазовий із бджолиного воску ручного виготовлення для холодних напоїв (Виробник MADEheart, Лохвиця, Україна).

та їх заміників, що подаються холодними й гарячими. Базою стаканчиків є біопластик на основі відпрацьованої кавової гуші з використанням натуральних зв'язувальних харчових компонентів.

У закладах ресторанного господарства кава й кавові напої подаються холодними з температурою 10–15°C (глясе, фрапе, холодний американо, айс-кава), теплими – 60–65°C (лате, капучино, мокачино, макіато, флет уайт, раф) і гарячими – 85–90°C (американо, еспресо та їх різновиди). Враховуючи зазначене вище, для вивчення ступеня набрякання стаканчику було вибрано температури модельної рідини 15 ± 1°C, 65 ± 1°C та 90 ± 1°C.

Визначення ступеня набрякання стаканчиків проводили ваговим методом із використанням дистильованої води як модельної рідини. У приміщенні, де проводилися дослідження, встановлювали температуру 20 ± 1°C та відносну вологість повітря 52 ± 2% шляхом його кондиціонування. Перед визначенням зразки тари витримували протягом 7 діб за вказаних умов. Стаканчики зважували з точністю до 0,001 г, наповнювали водою в кількості 200 ± 1 г із заданими початковими температурами – 15 ± 1°C, 65 ± 1°C та 90 ± 1°C та витримували протягом 10 × 60 с. На кожну із зазначених температур було використано 3 стаканчики. Після цього воду зливали, стаканчики перевертали верх дном, встановлювали в похиле положення, витримували протягом 10 × 60 с та зважували з точністю до 0,001 г. Ступінь набрякання стаканчиків визначали за формулою (1) за різницею їхніх мас до й після набрякання та виражали в % поглиненої рідини за встановленою температурою.

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\%, \quad (1)$$

де m_0 – маса стаканчику до набрякання, г;
 m – маса стаканчику після набрякання, г.

Сенсорний аналіз органолептичних показників одноразових стаканчиків до й після набрякання проводили описовим методом.

На рис. 3 представлено фотографію лабораторного зразка стаканчику номінального об'єму 250 мл без напою та з кавою.



Рис. 3. Зовнішній вигляд розробленого одноразового стаканчика без напою та з кавою

На першому етапі нами було проведено сенсорну оцінку органолептичних показників одноразового стаканчика (табл. 2).

На другому етапі ми визначали ступінь набрякання стаканчиків під час їх витримання з модельною рідиною за різних температур. Набрякання – це процес поглинання високомолекулярними сполуками низькомолекулярної рідини, що приводить до збільшення маси й об'єму сухих гідроколідів. Отже, очевидно, що збільшення температури буде прискорювати процес набрякання та підвищувати його ступінь. На рис. 4 наведені результати визначення ступеня набрякання стаканчиків за початкових температур доданої води 15 ± 1°C, 65 ± 1°C та 90 ± 1°C.

Варто зазначити, що ми не ставили за мету визначити показник ступеня набрякання з підтриманням фіксованої заданої температури, а намагалися максимально наблизитися до реальних умов споживання напоїв. Отже, після наповнення стаканчика водою з початковою температурою 15 ± 1°C після витримання його протягом 10 × 60 с

Таблиця 2

Сенсорна оцінка органолептичних показників одноразового стаканчика

Назва показника	Характеристика показників
Зовнішній вигляд	Форма стаканчику у вигляді усіченого конуса зі сформованою горловиною з кільцевим бортиком, гладка, без дефектів
Колір поверхні ззовні та всередині	Темно-коричневий, однорідний за об'ємом
Запах	Незначний характерний кавовий запах, рівномірний ззовні й всередині, який відчувається на відстані 10–15 см і посилюється при наближенні, без сторонніх запахів
Стан поверхні ззовні й всередині	Поверхня стаканчику ззовні й всередині незначно шорстка, суха, однорідна, без дефектів
Тактильні відчуття	Приємний на дотик, зручно тримається, міцний, не згинається під час незначного здавлювання, більш тяжкий за традиційний паперовий, справляє враження натуральності

кінцева температура збільшувалася та складала 17–18 °С, а під час наповнення водою з початковими температурами $65 \pm 1^\circ\text{C}$ та $90 \pm 1^\circ\text{C}$ – зменшувалася та складала відповідно 40–45°С та 60–65°С.

Отримані дані (рис. 4) свідчать про тенденцію стрибкоподібного збільшення ступеня набрякання стаканчиків за температури $65 \pm 1^\circ\text{C}$ та вище. Водночас найменший ступінь набрякання характерний для стаканчика, що був залитий водою з початковою температурою $15 \pm 1^\circ\text{C}$ та складає $2,14 \pm 0,06\%$. Найбільший ступінь набрякання стаканчиків за початкових температур $65 \pm 1^\circ\text{C}$ та $90 \pm 1^\circ\text{C}$ майже не відрізнявся та склав $10,45 \pm 0,42\%$ і $10,74 \pm 0,23\%$ відповідно. Отже, можна констатувати, що збільшення маси стаканчику під час споживання холодних кави й кавових напоїв, що змодельовано шляхом витримування протягом 10×60 с, складатиме орієнтовно 2%, гарячих – 11%.

Стає зрозумілим, що зміни органолептичних показників стаканчиків будуть максимальні за максимального ступеня набрякання. Враховуючи це, на третьому етапі досліджень нами було проведено порівняльну сенсорну оцінку органолептичних показників стаканчиків до й після тестування шляхом наповнення його модельною рідиною з початковою температурою $90 \pm 1^\circ\text{C}$. Сенсорним

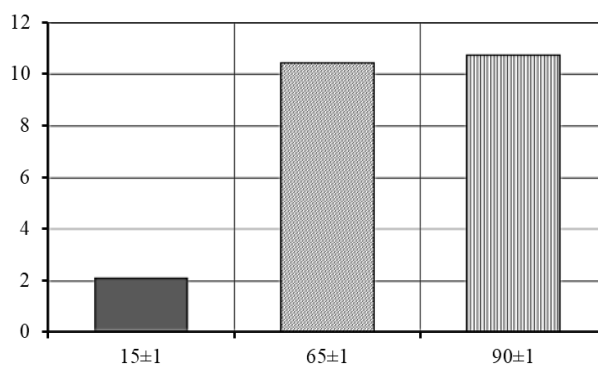


Рис. 4. Ступінь набрякання (α , %) стаканчиків за різних початкових температур (t , °C)

аналізом органолептичних показників стаканчику встановлено зміну практично всіх органолептичних показників у різній мірі (табл. 3).

Так, форма після тестування не була деформована, злами й протікання були відсутні, що є позитивним наслідком і свідчить про стійкість такого виробу до дії води з температурою $90 \pm 1^\circ\text{C}$ протягом 10×60 с. Очевидно, стаканчик може витримати й більш тривале настоювання, але це потребує додаткових досліджень.

Колір поверхні ззовні залишився без зміни, а всередині став світлішим, що, напевно, пов'язано з екстракцією водорозчинних речовин, присутніх

Таблиця 3

Порівняльний сенсорний аналіз органолептичних показників стаканчиків до й після тестування

Назва показника	Характеристика показника	
	До тестування	Після тестування
Зовнішній вигляд	Форма стаканчику у вигляді усіченого конуса зі сформованою горловиною з кільцевим бортиком, гладка, без дефектів	Форма стаканчиків не деформована, мала вигляд усіченого конуса зі сформованою горловиною з кільцевим бортиком, гладка, без зламів і протікань
Колір поверхні ззовні й всередині	Темно-коричневий	Ззовні – темно-коричневий, всередині – коричневий
Запах	Незначний характерний кавовий запах, рівномірний ззовні й всередині, який відчувається на відстані 10–15 см і посилюється під час наближення, без сторонніх запахів	Виражений характерний кавовий запах ззовні й значно виражений всередині, який відчувається на відстані 20–25 см і посилюється під час наближення, без сторонніх запахів
Стан поверхні ззовні й всередині	Поверхня стаканчику ззовні й всередині незначно шорстка, суха, однорідна, без дефектів	Поверхня стаканчику ззовні незначно шорстка, суха, однорідна, без дефектів, всередині шорстка, волога з незначним відділенням великих часток кавової гущі, що набрякли
Тактильні відчуття	Приємний на дотик, зручно тримається, міцний, не згинається під час незначного здавлювання, більш тяжкий за традиційний паперовий, справляє враження натуральності	Приємний на дотик, зручно тримається, з дещо зменшеною міцністю, слабо згинається під час незначного здавлювання, збільшення маси після використання не відчувається, справляє враження натуральності
Зовнішній вигляд, колір, запах і смак рідини після тестування	–	Прозора з поодинокими часточками кавової гущі, що осіли на дно, колір – світло-коричневий, запах і смак – кавовий, незначно виражений

у залишковому стані у відпрацьованій кавовій гущі, а також зміни стану внутрішньої поверхні, яка стала більш шорсткою внаслідок набрякання кавової гущі й натуральних біополімерних зв'язувальних частин. Варто зазначити, що за умови наливання кави зміни кольору будуть мати інший характер залежно від виду й температури напою.

Запах ззовні став більш виражений і характерний для кави, що особливо спостерігалось під час оцінки запаху середини стакану, його відчуття з'являлося вже на більшій відстані – 20–25 см у порівнянні зі стаканом до тестування – та посилювалося при наближенні. Сторонніх запахів не спостерігалось. Такі зміни також можна пов'язати з набряканням харчових біополімерів і кавової гущі, внаслідок чого запах ставав більш вираженим. Аналогічно з кольором запах буде змінюватися після наливання кави або кавових напоїв.

Зовнішня поверхня стаканчику після тестування залишалася без змін, всередині вона стала шорсткою, вологою та з незначним відділенням великих часток кавової гущі, які набрякли. Враховуючи, що це є одноразовим стаканчиком, який після використання треба викидати у відсортовану фракцію органічного сміття, можна прогнозувати, що це припустимо.

Тактильні відчуття стаканчику після тестування також незначно змінювалися: відчутна міцність ставала дещо зменшеною, стаканчик слабо згинався під час незначного здавлювання, збільшення маси після набрякання не відчувалося.

Важливим показником є характеристика модельної рідини після тестування. Так, дистильована вода після настоювання залишалася прозорою, на дні з'являлися поодинокі часточки кавової гущі, які відокремилися від внутрішньої поверхні стаканчику, колір рідини став світло-коричневий, запах і смак – кавовий, незначно виражений. Звичайно, що зазначені зміни є недоліками розробленого одноразового стаканчика, оскільки ці характеристики можуть впливати на органолептичні показники напою. Враховуючи той факт, що стаканчик витримав екстремальний температурний режим дії модельної рідини, однак в ній з'явилися ознаки екстракту кавової гущі,

одним зі шляхів розв'язання цього питання може стати, на наш погляд, використання бар'єрного покриття. Це стане предметом наших подальших досліджень.

Отже, можна зробити висновок, що такі одноразові стаканчики можуть бути використані для споживання кави, кавових напоїв або їхніх замінників, що подаються в холодному або гарячому вигляді. Водночас додаткове використання натурального бар'єрного покриття, на нашу думку, може значно розширити асортимент напоїв, які будуть зберігати власні органолептичні показники.

Висновки. Одним із перспективних шляхів розв'язання проблем негативного впливу паперових одноразових стаканчиків, які мають внутрішню ламінацію поліетиленовою плівкою, на навколишнє середовище й здоров'я людини, є розроблення технологій екологічно безпечних біопластиків як основи такого виду тари.

На підставі огляду доступної інформації запропоновано класифікацію стаканів на біологічній основі, які на сучасному етапі пропонуються вітчизняними й світовими компаніями або знаходяться на стадії прототипу.

Встановлено, що великий потенціал для виробництва біопластику має відпрацьована кавова гуща, яка натеper в Україні не використовується.

Нами розроблено технологію нового виду одноразових стаканчиків із біопластику на основі відпрацьованої кавової гущі й із використанням натуральних зв'язувальних харчових компонентів. Сенсорною оцінкою органолептичних показників розробленого стаканчика після тестування його шляхом витримання з дистильованою водою з початковими температурами $15 \pm 1^\circ\text{C}$, $65 \pm 1^\circ\text{C}$ та $90 \pm 1^\circ\text{C}$ встановлено несуттєву зміну практично всіх органолептичних показників, окрім характеристики рідини після тестування. Останнє ми вважаємо слабкою стороною розробленого одноразового стаканчика, що значно ускладнює його використання для інших напоїв, окрім кави, кавових напоїв або їхніх замінників. На наш погляд, для розширення асортименту питної продукції, які можуть бути реалізовані в такому виді тари, доцільно використовувати натуральне бар'єрне покриття.

Список літератури:

1. Letcher T.M. Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions / edited by T.M. Letcher. 1st Edition. Publisher : Academic Press, 2020. 686 p.
2. When the mermaids cry: the great plastic tide. *Coastal Care* : website. URL: <https://coastalcare.org/2020/01/plastic-pollution-when-the-mermaids-cry-the-great-plastic-tide-by-claire-le-guern/> (дата звернення: 02.04.2020).

3. Rodrigues M.O. et al. Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known? / M.O. Rodrigues, N. Abrantes, F.J.M. Gonçalves, H. Nogueira, J.C. Marques, A.M.M. Gonçalves. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2019. Vol. 72. 19 p.
4. Filho W.L. et al. Plastic debris on Pacific Islands: Ecological and health implications / W.L. Filho, P.H. Havea, A.-L. Balogun, J. Boenecke, A.A. Maharaj, M. Ha'apio, S.L. Hemstock. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 670. P. 181–187.
5. Zabihzadeh Khajavi M. et al. Strategies for controlling release of plastic compounds into foodstuffs based on application of nanoparticles and its potential health issues / M. Zabihzadeh Khajavi, R. Mohammadi, S. Ahmadi, M. Farhoodi, M. Yousefi. *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 90. P. 1–12.
6. Disposable Cups – Global Market Outlook (2018–2027). *Businesswire* : website. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20190926005495/en/Global-Disposable-Cups-Market-Reach-27.75-Billion> (дата звернення: 02.04.2020).
7. Аналіз тенденцій розвитку ринку паперових стаканів України. *Pro-consulting* : вебсайт. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/analiz-tendencij-razvitiya-rynka-bumazhnyh-stakanov-ukrainy> (дата звернення: 02.04.2020).
8. Foteinis S. How small daily choices play a huge role in climate change: The disposable paper cup environmental bane. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 255. P. 120–294.
9. Ragaert K., Delva L., Van Geem K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*. 2017. Vol. 69. P. 24–58.
10. Solis M., Silveira S. Technologies for chemical recycling of household plastics. A technical review and TRL assessment. *Waste Management*. 2020. Vol. 105. P. 128–138.
11. Niaounakis M. Recycling of Flexible Plastic Packaging. 1st Edition. Publisher : William Andrew, 2019. 466 p.
12. Mitchell J. Recycling disposable cups into paper plastic composites / J. Mitchell, L. Vandeperre, R. Dvorak, E. Kosior. K. Tarverdi, C. Cheeseman. *Waste Management*. 2014. Vol. 34. P. 2113–2119.
13. Nagarajan K., Balaji A., Thanga Kasi Rajan S., Ramanujam N. Preparation of bio-eco based cellulose nanomaterials from used disposal paper cups through citric acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 235.
14. Shaocun L., Qingping L., Chenhao Zh. Hierarchical porous carbon/selenium composites derived from abandoned paper cup as Li-Se battery cathodes. *Solid State Sciences*. 2018. Vol. 84. P. 15–22.
15. Karan H. et al. Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*. 2019. Vol. 24. P. 237–249.
16. Ramesh Kumar S., Shaiju P., O'Connor K.E., Babup R. Bio-based and biodegradable polymers. State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2020. Vol. 21. P. 75–81.
17. Shrivastava A. Introduction to Plastics Engineering. Publisher : Cambridge, MA : William Andrew, 2018. 262 p.
18. Pujol D. et al. The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 50. P. 423–429.
19. Pan Zh., Zhang R., Zicari S. Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products. 1st Edition. Publisher : Academic Press, 2019. 452 p.
20. McNutt J., (Sophia) He Q. Spent coffee grounds: A review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 71. P. 78–88.
21. Cervera-Mata A. et al. Phytotoxicity and chelating capacity of spent coffee grounds : Two contrasting faces in its use as soil organic amendment. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 717.
22. Mendeset J.F. Development and physical-chemical properties of pectin film reinforced with spent coffee grounds by continuous casting. *Carbohydrate Polymers*. 2019. Vol. 210. P. 92–99.
23. Batista M.J.P.A., Ávila A.F., Franca A.S., Oliveira L.S. Polysaccharide-rich fraction of spent coffee grounds as promising biomaterial for films fabrication. *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 233.
24. Blinová L., Bartošová A., Sirotiak M. Biodiesel Production from Spent Coffee Grounds. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*. 2017. Vol. 25. P. 113–121.
25. Spent coffee grounds to fuel company. *Bio-bean* : website. URL: <https://www.bio-bean.com> (дата звернення: 02.04.2020).
26. Ramón-Gonçalves M. et al. Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses. *Waste Management*. 2019. Vol. 96. P. 15–24.
27. Mota D.A. et al. Production of low-calorie structured lipids from spent coffee grounds or olive pomace crude oils catalyzed by immobilized lipase in magnetic nanoparticles. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 307.

Bidiuk D.O., Sereda O.H. A NEW TYPES OF BIODEGRADABLE PACKAGING

The use of plastics in all spheres of life of the world's population actually leads to environmental pollution and a potentially dangerous factor for human health. A certain place is occupied by a disposable cup, which is traditionally used in the food industry primarily for drinks. The world market of disposable cups has a consumption of 500–600 billion units per year and every year there is an increase.

A paper cup is one of the most popular types of disposable packaging; it has a laminated thin layer of plastic film for hydro barrier. This significantly complicates its recycling and makes it impossible to safely decompose in the environment. In Ukraine, the processing of paper cups was implemented only at the Zmievska Paper Factory, however, in the absence of a well-functioning waste management system, this process is, unfortunately, local in nature.

One of the promising ways to solve the problems of using and recycling of disposable paper cups is the development of environmentally friendly bioplastics technologies as the basis for this type of packaging.

Based on a review of available information, a classification of bio-based cups, which at the present stage are offered by domestic and international companies or are at the prototype stage.

We have developed a technology of a new type of disposable bioplastics cups based on spent coffee grounds and the use of natural food-grade binders. A sensory assessment of the organoleptic characteristics of the developed cup after testing it by keeping it with distilled water with initial temperatures of $15 \pm 1^\circ\text{C}$, $65 \pm 1^\circ\text{C}$ and $90 \pm 1^\circ\text{C}$ revealed an insignificant change in almost all organoleptic indicators except for the characteristics of the liquid after testing. We consider the latter a weakness of the developed disposable cup, which greatly complicates its use for other drinks except coffee, coffee drinks or their substitutes. In our opinion, to expand the range of drinking products that can be implemented in this type of packaging, it is advisable to use a natural barrier coating.

Key words: *plastic pollution, disposable cup, bioplastic, spent coffee grounds, degree of swelling.*

УДК 663.3 – 048.34

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/16>**Гайдай І.В.**

Уманський національний університет садівництва

Матенчук Л.Ю.

Уманський національний університет садівництва

Токар А.Ю.

Уманський національний університет садівництва

БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ ДЕРЕНОВИХ НАПОЇВ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Досліджено деренові виноматеріали й вина як функціональні харчові продукти. Під час виготовлення вина відбуваються складні процеси ферментації та утворюється ряд корисних речовин: азотисті сполуки, харчові органічні кислоти, алкалоїди, стероїди, фенольні сполуки, глюкоза, фруктоза, вітаміни груп В, С, РР, мікроелементи, залізо, калій, магній, поліфеноли. Визначальними у формуванні якості вина є хімічний склад сировини й технологія виготовлення виноматеріалів. Сусло з дерену виготовляли з додаванням цукру й внесенням чистої культури дріжджів в кількості 5%. Бродіння проводили періодичним способом до вмісту залишкового цукру не більше 3 г/дм³. Температура бродіння 20–25°C. Досліджено технологічні показники сухих деренових виноматеріалів після повного виброджування сусла. Об'ємна частка спирту знаходилась у межах 10,0–14,9% об., масова концентрація титрованої кислотності – 7,9–10,5 г/дм³, масова концентрація фенольних речовин – 1 290–1 835 мг/дм³, барвних речовин – 19,02–21,12 мг/100 г, залежно від температури підігрівання та терміну настоювання. Доведено, що у варіанті за підігрівання м'язги до температури 70° С та настоюванні впродовж 20 хв спостерігається найбільше накопичення спирту – 14,9% об у порівнянні з іншими варіантами. Встановлено, що титрована кислотність була істотно меншою у варіанті з підігрівання м'язги до 60°C і настоюванням впродовж 24 год і різнилася по відношенню між зразками на 78,8% і 75,2% відповідно. Найвища масова концентрація барвних і фенольних речовин спостерігалась у варіанті з нагріванням м'язги до 60°C і настоюванням 48 год. Розроблено технологію приготування плодово-ягідного сухого вина, що характеризується високими органолептичними показниками та є джерелом функціональних інгредієнтів. Досліджено вміст деяких біологічно активних сполук фенольної природи, амінокислот, аскорбінової кислоти, мінеральних речовин у дереновому сухому вині. Результати досліджень підтверджують доцільність використання дерену в плодово-ягідному виноробстві для виробництва функціональних харчових продуктів, зокрема сухих вин.

Ключові слова: дерен, сусло, виноматеріали, сухе вино, функціональні харчові продукти.

Постановка проблеми. Загальновідомо, що вина мають гігієнічну, дієтичну й терапевтичну цінність. На початку XIX століття досить широке застосування в багатьох країнах отримала еноterapia – наука про строго дозоване використання вина в лікувальних цілях. Багатьма популярними вченими визнано, що вино є кращим гігієнічним напоєм, а в деяких випадках незамінним лікарським засобом у профілактиці й лікуванні багатьох хвороб й епідемій.

Натуральне вино – продукт бродіння плодово-ягідного соку (сусла). Цей низько алкогольний напій щоденного вживання, а саме таким його вважають у всьому світі, є результатом перероблення рослинної сировини, що володіє багатим

хімічним складом, унікальність якого полягає в здатності природнім шляхом, під час першого контакту з повітрям внаслідок порушення зовнішньої оболонки, починати процес ферментації (бродіння), тобто трансформувати натуральні цукри – глюкозу й фруктозу – в етиловий спирт.

Натепер одним із перспективних напрямів розвитку плодово-ягідного виноробства є виробництво натуральних вин, які виготовлені з місцевої плодово-ягідної сировини. У зв'язку із цим актуальним новим напрямом розвитку харчової біотехнології є конструювання функціональних і спеціалізованих харчових систем, збагачених необхідними нутрієнтами з використанням місцевих сировинних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Удосконалення сучасних технологій виробництва харчових продуктів тісно пов'язане з розширенням асортименту шляхом перероблення нетрадиційної сировини, переходом від використання штучних харчових добавок до натуральних, що мають біологічну активність, розробкою спеціалізованих, функціональних продуктів. Одним з основних напрямків державної політики в області здорового харчування є створення широкого асортименту гастрономічно привабливих, збалансованих за складом, безпечних харчових продуктів, збагачених життєво важливими компонентами [1–3].

Людина сучасного урбанізованого суспільства під час традиційного харчування приречена на ті чи інші види харчових недоліків. А з ними її завжди будуть супроводжувати нездатність відповідних захисних сил організму адекватно відповідати на несприятливий вплив навколишнього середовища, що різко підвищує ризик розвитку різних захворювань [4–7].

У харчовому статусі українців натепер повсюдно виявляється цілорічний глибокий дефіцит як у дорослого, так і в дитячого населення більшості вітамінів і мінеральних речовин. Слід враховувати й те, що для нормального функціонування організму необхідні не тільки вітаміни й мінеральні речовини (точніше збалансовані вітамінно-мінеральні комплекси) й інші есенціальні речовини, а й значно ширший набір натуральних компонентів їжі, до яких організм людини генетично адаптований [8–10]. Сировиною для виробництва таких продуктів можуть і повинні стати місцеві для кожного регіону джерела фауни й флори. На жаль, їхня значущість для підтримки нормального стану здоров'я явно недооцінюється, а інформація про природу й характер її дії на організм не цілком достатня [11; 12].

Вина, будучи алкогольними продуктами, вносять у харчовий раціон людини значну кількість вітамінів, мікроелементів, антиоксидантів, органічних кислот й інших необхідних для здоров'я людини речовин. Крім того, відомо, що біологічно активні речовини рослин здатні знижувати негативну дію алкоголю на організм людини.

Сучасними функціональними продуктами можна назвати такі продукти, які допомагають зберігати й покращувати здоров'я людини, знижувати ризик виникнення хвороб і передбачені для постійного вживання всіма групами населення. Водночас такі продукти є одним із компонентів харчових раціонів, позитивний вплив цих продуктів на організм зумовлений наявністю в їхньому

складі спеціальних функціональних харчових компонентів, які здатні чинити сприятливий ефект на метаболічні й біохімічні процеси, психосоціальну поведінку людини, а також основні фізіологічні функції організму. Користь таких функціональних продуктів вища, ніж користь традиційних харчових продуктів, що доводить необхідність їхнього додавання до раціону для максимальної реалізації принципів здорового харчування.

Функціональними за своєю суттю можуть бути як харчові продукти, так і напої, в склад яких додано ті або інші речовини. Сучасне визначення може звучати так: функціональні продукти – це продукти, що мають задані біологічні властивості і які збагачені есенціальними харчовими речовинами й мікронутрієнтами.

Нині широке визнання у світі отримало виробництво напоїв, збагачених функціональними інгредієнтами. Багатим природним джерелом, що містить функціональні інгредієнти біогенної природи, оптимально збалансовані за складом, не токсичні, фізіологічно близькі організму людини, є дикоросла рослинна сировина, а саме – дерен (кизил).

Алкогольні напої з дикорослих рослин (вина й слабоалкогольні напої) відрізняються самобутністю та оригінальністю і по своїй фізіологічній цінності перевершують аналогічні напої з культурних рослин, тому що містять широкий спектр різноманітних біологічно активних речовин [13].

У зв'язку із цим стає актуальним новий напрям розвитку харчової біотехнології конструювання функціональних і спеціалізованих харчових систем, збагачених необхідними нутрієнтами, з використанням місцевих сировинних ресурсів.

Постановка завдання. Метою дослідження було наукове обґрунтування використання деревних виноматеріалів і вин для виробництва функціональних харчових продуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення досліджень як об'єкт використовували плоди дикорослого дерену середнього строку досягання, вирощені в Уманському районі Черкаської області, а також сік, сусло й виноматеріали, виготовлені з названої культури в лабораторних і виробничих умовах по розробленій нами рецептурі сусла й вина. Плоди дикорослого дерену були зібрані в період максимального накопичення в них біологічно активних речовин.

Сусло виготовляли з додаванням цукру й внесенням чистої культури дріжджів в кількості 5%. Бродіння проводили періодичним способом до вмісту залишкового цукру не більше 3 г/дм³.

Температура бродіння 20–25°C. Виноматеріали виготовляли повним виброджуванням сусла за загальними технічними умовами (Державний стандарт України «Вина плодово-ягідні». ДСТУ 6036: 2008).

Якість плодово-ягідного вина в основному залежить від хімічного складу й особливостей сировини. В таблиці 1 представлені технологічні показники деренового виноматеріалу після повного виброджування.

Підігрівання та різні терміни настоювання не однаково впливали на накопичення об'ємної частки етилового спирту. Проведені дослідження показали, що істотно більшим за накопиченням об'ємної частки спирту виявив себе варіант із підігріванням м'язги до 70° С та настоюванням впродовж 20 хв з вмістом спирту 14,9% об. Однак найменша міцність 10,0% об. достатня для виготовлення сухих вин.

Сировина й технологія визначальні у формуванні якості виноматеріалів і вин. Масова концентрація титрованої кислотності в напоях є обов'язковим показником якості. Істотно меншою вона була у варіанті з підігрівання м'язги до 60° С і настоюванням впродовж 24 год і різнилася по відношенню між зразками на 78,8% і 75,2% відповідно.

Після повного виброджування сусла у всіх досліджуваних виноматеріалах під час різної технологічної обробки м'язги масова концентрація барвних речовин складала від 19,02 мг/100 г до 21,12 мг/100 г. Так, масова концентрація барвних речовин у варіанті з нагріванням м'язги до 60°C і настоюванням 24 год перевищувала їхній вміст на 94,8% ніж у варіанті, де м'язгу підігрівали до 70°C і настоювали впродовж 20 хв, а щодо варіанту з настоюванням м'язги 48 год цей показник був дещо меншим – 90,1%. Очевидно, що під час підвищення температури в процесі бродіння барвні речовини піддаються окисленню не так активно. Крім того, вони можуть ще й утворюватися в результаті метаболічних процесів у суслі.

Виноматеріали, виготовлені за різними технологічними прийомами, містять значну кількість фенольних речовин, натомість найбільша їхня кількість виявилась у варіанті з нагріванням м'язги до 60°C і настоюванням 48 год – 1 835 мг/дм³.

Розроблена технологія виготовлення плодово-ягідного сухого вина, яке характеризувалось високими органолептичними показниками, що представлені в таблиці 2.

Колір деренового вина через шість місяців зберігання зі світло-рубінового перетворився на

Таблиця 1

Технологічні показники сухих деренових виноматеріалів

Показник	Розведення м'язги водою 1:1 та підігрівання		
	до 70°C з настоюванням 20 хв	до 60°C з настоюванням	
		24 год	48 год
Об'ємна частка спирту, % об.	14,9	10,0	13,7
Масова концентрація титрованої кислотності, г/дм ³	10,3	7,9	10,5
Масова концентрація фенольних речовин, мг/дм ³	1 490	1 290	1 835
Масова концентрація барвних речовин, мг/100 г	19,02	20,07	21,12
Дегустаційна оцінка, бали	7,77	7,85	7,95

Таблиця 2

Результати сенсорного аналізу сухих виноматеріалів з дерену

Спосіб приготування сусла	Технологічний прийом виготовлення	Характеристика
Підігрівання м'язги, змішаної з водою в співвідношенні 1:1 до 70°C і настоювання 20 хв	Повне виброджування	Колір – рубіновий з легкою розовинкою. Аромат – складний, приємний. Смак – плодовий, водянистий.
Підігрівання м'язги, змішаної з водою в співвідношенні 1:1 до 60°C і настоювання 24 год	Повне виброджування	Колір – рубіновий з опалом. Аромат – складний, чистий, з відтінком фруктів і родзинок. Смак – плодовий, з відтінками кісточки.
Підігрівання м'язги, змішаної з водою в співвідношенні 1:1 до 60°C і настоювання 48 год	Повне виброджування	Колір – темно-рубіновий з опалом. Аромат – насичений, складний з тонами сухофруктів з шоколадною віддушкою. Смак – терпкуватий, плодовий.

Таблиця 3
Масова концентрація амінокислот й аскорбінової кислоти в сухому дереновому вині, мг/дм³

Амінокислоти		Вино
		Деренове сухе
Замінні	Аспарагін	39,1
	Аспарагінова кислота	5,95
	Глутамін	3,4
	Серін	3,7
	Гліцин	–
	Цистеїн	56,90
Незамінні	Треонін	10,4
	Фенілаланін	–
	Лізін	–
Сума		122,32
Аскорбінова кислота		2,85

світло-коричневий. Це явище пояснюється утворенням продуктів полімеризації фенольних речовин, які каталізуються різними ферментними системами, серед них провідну роль відіграє ортодифенолоксидаза [14; 15].

Фенолкарбонові кислоти теж беруть активну участь у створенні забарвлення вин. Окислення фенолкарбонових кислот відбувається при участі ортодифенолоксидази через О-хінони, що сприяє утворенню темно забарвлених сполук. Найбільш активно це відбувається у винах, що містять значну кількість пігментів і фенолокислот [84]. Останніх у наших виноматеріалах досить багато.

Проведені дослідження за вмістом деяких біологічно активних сполук фенольної природи в дереновому сухому вині показали, що сухе вино містить: хлорогенову кислоту – 32,5 мг/дм³, кавову кислоту – 4,5 мг/дм³, силімарин – 6,1 мг/дм³, кверцетин – 0,45 мг/дм³, гіперозид – 24,7 мг/дм³. Крім того, відомо, що фенольні сполуки сприяють подовженню термінів зберігання харчових про-

дуктів завдяки їхній антимикробній дії. Це може бути використане при розробці харчових продуктів з пролонгованими термінами зберігання.

Як показали результати досліджень ідентифікації амінокислот у дереновому сухому вині, їх виявлено 7 (табл. 3). Особливо цінно те, що у вині зберігається цистеїн, концентрація якого переважає всі інші амінокислоти.

Натомість серед замінних амінокислот не було ідентифіковано гліцину, а серед незамінних фенілаланіну й лізину. Не дивлячись на це, сухе деренове вино можна повноцінно вважати високо біологічно активним.

Нашими дослідженнями встановлено, що мінеральні елементи сухого деренового вина представлені: калієм – 110,3 мг/100 г, кальцієм – 23,5 мг/100 г, фосфором – 11,8 мг/100 г, натрієм – 9,8 мг/100 г, магнієм – 9,3 мг/100 г і залізом – 1,8 мг/100 г. Масова концентрація мінеральних речовин у винах зменшується у зв'язку з використанням дріжджів. Під час спиртового бродіння 20–30% речовини виходять у дріжджову масу й випадають в осад. Нами встановлено, що в деренових сухих винах в осад переходить значно більша частина мінеральних елементів. Найбільші втрати відмічені по фосфору – 86%, що свідчить про активне використання фосфору дріжджами під час бродіння деренового суслу.

Таким чином, у дереновому сухому вині залишається значна частка біологічно активних речовин сировини – фенольних сполук, амінокислот, мінеральних елементів, вітамінів, що є основою їхньої користі для людини.

Висновки. На основі узагальнення та критичної оцінки літературних джерел науково обґрунтовано доцільність використання дикорослих плодів дерену у виробництві функціональних харчових продуктів. Показана можливість споживання сухого деренового вина з підвищеною біологічною цінністю для збагачення раціону вітамінами, мікроелементами, амінокислотами й фенольними речовинами.

Список літератури:

1. Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н. Теоретические и практические аспекты современной витаминологии. *Пищевая промышленность*. 2000. № 7. С.98–101.
2. Зубкова К.В., Лігоненко М.Г., Кузнецова К.Д. Функціональні напої в концепції здорового харчування. *Харчова наука і технологія*. Одеса : ОНАХТ, 2012. № 3 (20). С. 25–27.
3. Кочеткова А.А., Воробьева В.М., Смирнова Е.А. и др. Научное обоснование составов и свойств функциональных напитков. *Пиво и напитки*. 2011. № 6. С. 18–21.
4. Тутельян В.А., Суханов Б.П. Биологически активные добавки к пище: современные подходы к обеспечению качества и безопасности. *Вопросы питания*. 2008. № 4. С. 4–15.
5. Cui Y., Vogt S., Olson N., Glass A. G., Rohan T. E. Levels of zinc, selenium, calcium, and iron in benign breast tissue and risk of subsequent breast cancer. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 2007. V. 16 (8). P. 1682–1685.

6. Boosalis M.G. The Role of Selenium in Chronic Disease. *Nutrition in Clinical Practice*. 2008. V. 23. No. 2. P. 152–160.
7. Taylor P.R., Greenwald P. Nutritional interventions in cancer prevention. *J. Clin. Oncol.* 2005. Vol. 23 (2). P. 333–345.
8. Тутельян В.А., Спиричев В.Б., Суханов Б.П., Кудашева В.А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека: справочное руководство. Москва. Колос. 2002. 424 с.
9. Хасина М.А., Артюкова О.А., Беляев А.Ф., Хасина М.Ю. Витамины и минеральные вещества в жизни человека. Владивосток : Изд-во Дальне-вост. ун-та, 2001. 120 с.
10. Шабров А.В., Дадали В.А., Макаров В.Г. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи. Москва : Аввалон, 2003. 184 с.
11. Палагина М.В., Приходько Ю.В. Использование дальневосточных дикоросов и гидробионтов в продуктах функционального назначения : монография. Владивосток : Изд-во ТГЭУ, 2009. 216 с.
12. Евдокимова О.В., Саватеева Е.В. Инновационные технологии в разработке и продвижении на потребительский рынок функциональных продуктов питания : монография / под ред. проф. Т.Н. Ивановой. Орел : Орел ГТУ. 2008. 237 с.
13. Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Славская С.Л. и др. Антиоксидантные свойства вин из черноплодной рябины. *Виноделие и виноградарство*. 2006. № 1. С. 20–21.
14. Родопуло А.К. Основы биохимии виноделия. Легкая и пищевая промышленность. Москва, 1983. 229 с.
15. Мехузла Н.А., Панасюк А.Л. Плодово-ягодные вина. Легкая пищевая промышленность. Москва, 1984. 327 с.

Haidai I.V., Matenchuk L.Yu., Tokar A.Yu. BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF DOGWOOD BEVERAGES AS FUNCTIONAL NUTRITION PRODUCTS

The dogwood wine materials and wines as the functional nutrition products have been investigated. In the process of winemaking, complex fermentation processes take place and a number of nutrients are formed, such as: nitrogenous compounds, food organic acids, alkaloids, steroids, phenolic compounds, glucose, fructose, vitamins B, C, PP, trace elements, iron, potassium, magnesium, polyphenols. The chemical composition of raw materials and the wine production technology define the wine quality. The wort of dogwood was made with the addition of sugar and the introduction of pure yeast culture in the amount of 5%. The batch fermentation was carried out to a residual sugar content of not more than 3 g/dm³. Fermentation temperature was 20–25°C. The technological indices of dry dogwood wine materials after the complete fermentation of wort are investigated. The volume ratio of alcohol was in the range of 10.0–14.9% vol., the mass concentration of titrated acidity was 7.9–10.5 g dm³, the mass concentration of phenolic substances was 1 290–1 835 mg/dm³, the coloring matters were 19.02–21.12 mg/100 g, depending on the heating temperature and soaking time. It is proved that in the variant of pulp heating to a temperature of 70° C and soaking for 20 min, the highest accumulation of alcohol is observed – 14.9% vol., in comparison with other variants. The titrated acidity was found to be significantly lower under the pulp heating to 60° C and soaking during 24 h and varied by 78.8% and 75.2%, respectively, between the samples. The highest mass concentration of coloring and phenolic substances was observed in the variant with pulp heating to 60° C and soaking for 48 hours. The technology of fruit dry wine making, which is characterized by high organoleptic indices and is a source of functional ingredients, has been developed. The content of some biologically active compounds of phenolic nature, amino acids, ascorbic acid, and minerals in the dry dogwood wine has been investigated. The research results confirm the feasibility of using dogwood in fruit and berry winemaking for the production of functional nutrition products, including dry wines.

Key words: dogwood, wort, wine materials, dry wine, functional nutrition products.

Helikh A.O.

Sumy National Agrarian

Dan Gao

Sumy National Agrarian

Zhenhua Duan

Hezhou University

OPTIMIZATION OF ULTRASOUND-ASSISTED ALKALINE EXTRACTION OF PUMPKIN SEED MEAL PROTEIN ISOLATE BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY¹

As an alternative to animal proteins, pumpkin seed meal protein isolate (PSMPI) can be applied in food processing as dietary supplements and functional foods. The conventional extraction process of protein is alkaline solution and acid precipitation, which consumes a long time. Ultrasound method is an environmentally friendly technique, which can be used to improve the efficiency of protein extraction. In the present study, a method of ultrasound-assisted alkaline extraction (UAAE) of PSMPI was established.

Response surface methodology (RSM) was utilized to optimize the UAAE conditions (ultrasonic power, ultrasonic time and ratio of liquid to solid) by implementing a three-factor, three level Box – Behnken design. A quadratic polynomial equation was obtained by polynomial regression analysis of the experimental data and appropriate statistical methods. The interaction effects of the independent variables on the extraction yield of PSMPI were illustrated by response surfaces and counter plots.

Besides, by solving the regression equation and analyzing the response surface contour plots, the determined optimal PSMPI extraction conditions were obtained, which was at ultrasonic power of 456 W, ultrasonic time of 22 min, and ratio of liquid to solid of 27 mL/g. The efficiency of UAAE on PSMPI was determined. The result showed that the experimental value (80.76 g/100g) of the yield of PSMPI was reasonably close to the predicted one (81.86 g/100g). This suggested that there was a high fit degree between experimental value and the predicted value from the regression model. Thus, it suggested that the equation of the response surface can be utilized effectively to predict the extraction condition of the PSMPI.

Key words: Box-behnken, ultrasound-assisted alkaline extraction, pumpkin seed meal protein isolate, optimize model.

Introduction. Protein is not only a necessary nutrient for the development and maintenance of human health, but also plays an important role in the physicochemical properties and structural basis of food [1, p. 30]. At present, animal protein is still an important source of dietary protein to most people. According to the report, the world demand for animal-derived proteins is supposed to double by 2050 [2, p. 94]. However, the production of animal proteins gives a great pressure on the environment. Besides, the popularity of vegetarianism has increased greatly over the past few years on account of growing concerns about the environment, animal welfare, and health. Thus, the utilization of plant protein sources (like oilseeds, cereals and legumes) as replacers for

animal proteins is thought to be a good way to meet the need for food proteins.

An analysis of the latest research and publications. The most commonly used method to extract proteins from plant protein sources is alkaline solution and acid precipitation [3, p. 1843]. However, due to the long extraction process, it will lead to protein denaturation. The reason is that the stability of secondary, tertiary, or quaternary structures changes, as well as the possible adverse secondary reactions and potential toxicity, which may lead to aggregation, solidification, reduced solubility, and loss of functional properties of proteins, such as gelation and emulsification [4, p. 703].

Enzymatic extraction is another widely used technique to isolate protein. The enzyme-assisted extraction of proteins could damage the cell walls integrity due to the degradation of the major components of

¹ This work was financially supported by the authors wish to thank the financial support provided by the Special Fund for Science and Technology Base and Talent of Guangxi (GKAD17195088) for the research work.

plant cell walls and fiber, including cellulose, hemicellulose, and/or pectin caused by enzymatic action, as well as the improvement in protein solubility as a result of partial hydrolysis by different proteases. The increased degradation of cell walls could enhance the protein release into the solvent. However, this method involves high energy consumption, harmful chemicals and high labor cost [5, p. 206].

Recently, as environmentally friendly techniques, the application of microwave-assisted and ultrasound-assisted extraction attracts considerable attention. The microwave power of MAE provides more uniform heating, producing a strong pressure on the plant cell walls, as a result, the desirable components could be broken and be dissolved in the solvent. The primary advantages of microwave are easy to handle, less solvent use, less waste generation, high extraction speed [6, p. 4667]. Recent studies have shown that some functional properties (water and nitrogen solubility index and foam stability) of proteins may decrease while some functional properties (fat absorption index, water absorption index, foam activity, emulsifying activity, and in vitro protein digestibility) will also be improved after microwave treatment [7, p. 543].

Ultrasound technology makes use of acoustic cavitation to disrupt plant cells and tissues and improve mass transfer during the extraction process. The application of ultrasound to assist extraction has the advantages of easy handling and safety, because it is carried out at atmospheric pressure and ambient temperature, uses an appropriate amount of solvent, is reusable and requires relatively short processing time [8, p. 50; 9, p. 813]. It was reported that ultrasound-assisted extraction significantly increased protein yield from rice bran, soy bean, perilla seed and pumpkin seed. However, high power and long time of sonication may reduce emulsification and foaming capability [2, p. 93]. Notably, according to the previous study, both of the ultrasound treatment and microwave treatment could decreasing the allergenicity of soybean protein isolate due to the alteration of secondary structure of proteins [10, p. 410; 11, p. 604].

Pumpkin seeds are a by-product in the utilization of pumpkin, which protein content ranges from 24.5 – 36% [12, 701]. The defatted pumpkin seed meal was obtained after cold-pressing oil extraction from pumpkin seeds and is considered to be a potential source of proteins for human consumption [13, p. 470]. The main constituents of pumpkin seed proteins are: albumin (water-soluble), globulin (salt-soluble), glutenin (alkali-soluble) and proline (alcohol-soluble) [14, p. 591]. It has been demonstrated that the essential amino acids content of globulin,

glutelin and prolamin in pumpkin seed meet the minimum FAO / WHO / UNU needs for preschool children, except threonine and lysin [15, p. 7715]. The pumpkin seed meal could be transferred to additional value products such as protein concentrate or isolate and applied in food processing as dietary supplements and functional foods.

The purpose and the objectives of the study.

The main goal of the investigation is – to optimize the ultrasound-assisted alkaline extraction (UAAE) conditions of pumpkin seed meal protein isolate (PSMPI) by response surface methodology.

Tasks to be solved in the research process:

1. Obtain a quadratic model of the extraction yield of pumpkin seed meal protein isolate (PSMPI).
2. Analyze how extraction factors, such as ultrasound power, ultrasound time, and the ratio of liquid to solid, affect the extraction yield of PSMPI by analyzing the response surface contour plots.
3. Experimentally determine the optimal conditions for the extraction of PSMPI.

Methods. In this study, defatted pumpkin seed meal and water were mixed in a 250 mL beaker. The pH of the mixture was adjusted and maintained to 10.5 by using a 2 N NaOH solution. The ultrasonic experiments were performed at 25 MHz using an Ultrasonic microwave synergistic extraction apparatus (XH-300B, Beijing xianghu, Beijing, China) with an ultrasonic unit (maximal power of 1500 W). On the basis of previous experiments, the extraction process was performed at different ultrasonic power (X_1 : 400-500 W), ultrasonic time (X_2 : 15-25 min) and ratio of liquid to solid (X_3 : 20 to 30 mg/L) (Table 1).

After extraction, the product was centrifuged at $4,000\times g$ for 20 min, and the resulting supernatant was filtered to further remove the undissolved components. The filtrate was acidified to pH 4.5 with 2 N HCl, then centrifuged at $4,000\times g$ for 15 min. The pellet was recovered, washed with distilled water and centrifuged again as above. The pellet was freeze dried and used for protein determination and the yield calculation of PSMPI.

The experiment was conducted with triplicate samples. Analysis of variance was utilized to test for significant differences between independent variables ($P < 0.05$). The statistical analysis was performed with Design expert 10 software (Stat-Ease, Minneapolis, MN, USA) and Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft Corporation, USA), respectively.

Results and discussion. The independent variables X_1 (ultrasonic power), X_2 (ultrasonic time) and X_3 (ratio of liquid to solid), at three variation levels studied were showed in Table 1.

Table 1
Independent variables and levels for Box – Behnken design

Independent variables	Symbol	Level		
		-1	0	1
Ultrasonic power (W)	X ₁	400	450	500
Ultrasonic time (min)	X ₂	15	20	25
Ratio of liquid to solid (mg/L)	X ₃	20	25	30

The yield of pumpkin seed meal protein isolate (PSMPI) under the Box-Behnken experimental design was presented in Table 2. The quadratic model applied in the response surface was as follows:

$$Y = 80.93 + 1.63X_1 + 3.04X_2 + 1.27X_3 - 4.46X_1^2 - 3.38X_2^2 - 1.27X_3^2 - 0.042X_1X_2 - 1.52X_1X_3 - 0.74X_2X_3$$

According to the results of analysis of variance (ANOVA) (Table 3), the ultrasonic power, ultrasonic time, and ratio of liquid to solid all had significant positive linear effects. The coefficient of determination (R²) was 0.9681, which indicated a good model fit for 96.81% of the total variation can be explained by the model. The value of the adjusted determination coefficient (R_{Adj}²) was 0.9107, which also suggested that the model was significant. The values of coefficient variation (CV) was 1.61, indicating a very high degree of precision and a good reliability of the experimental values.

The effects of ultrasonic power (X₁) and ultrasonic time (X₂) on the extraction yield of PSMPI

were presented in Fig. 1a, b, while ratio of liquid to solid was settled at its middle level (25 mg/L). As the response surface and its corresponding counter plot shows, the extraction yield of PSMPI increased slowly as the ultrasonic time increased when ultrasonic power at a low level. With the increase in ultrasonic power, the yield of PSMPI improved from about 75 g/100g to 80 g/100g at a high level of ultrasonic time. However, the yield of PSMPI increased only from about 71 g/100g to 75 g/100g at a low level of ultrasonic time. It indicated that the increase of ultrasonic power and ultrasonic time in the test range was beneficial for the extraction of PSMPI.

The response surface and its corresponding counter plot which showed the effects of ultrasonic power (X₁) and ratio of liquid to solid (X₃) on the yield of PSMPI were presented in Fig. 1c, d, while maintaining ultrasonic time (X₂) at a middle level of 20 min. At the middle level of ultrasonic power and ratio of liquid to solid, the maximum extraction yield of PSMPI was achieved, further increasing in ultrasonic power and ratio of liquid to solid would not add into increase in the extraction yield of PSMPI.

The effects of ultrasonic time (X₂) and ratio of liquid to solid (X₃) on the yield of PSMPI were showed in Fig. 1e, f, while keeping the ultrasonic power (X₁) at a middle level (450 W). The yield of PSMPI showed a considerable increase as the increase in ratio of liquid to solid at a high level of ultrasonic time. However, when ultrasonic time is at a low level, the effect of

Table 2
Box-Behnken design arrangement, responses for protein yield of ultrasound-assisted alkaline extraction on pumpkin seed meal protein isolate (PSMPI)

Run	X ₁ : Ultrasonic power (W)	X ₂ : Ultrasonic time (min)	X ₃ : Ratio of liquid to solid (mg/L)	Yield (g/100 g)	Predicted Value (g/100 g)
1.	1	1	0	77.79	77.72
2.	1	0	-1	78.13	77.09
3.	0	0	0	80.56	80.93
4.	1	-1	0	70.59	71.72
5.	1	0	1	76.59	76.57
6.	-1	-1	0	68.31	68.38
7.	0	1	1	79.77	79.86
8.	-1	0	1	75.32	76.36
9.	-1	0	-1	70.77	70.79
10.	0	-1	-1	71.34	71.25
11.	-1	1	0	75.68	74.55
12.	0	1	-1	77.68	78.80
13.	0	-1	1	76.37	75.25
14.	0	0	0	80.95	80.93
15.	0	0	0	81.29	80.93

ratio of liquid to solid on the yield of PSMPI was not significant.

The optimum extraction conditions depended on ultrasonic power (X_1), ultrasonic time (X_2) and ratio of liquid to solid (X_3), and were obtained by response surface methodology (RSM). To validate the model, PSMPI were extracted under optimal UAAE conditions and its efficiency was determined. The result showed that the experimental value (80.76 g/100g) of the yield of PSMPI was reasonably close to the predicted one (81.86 g/100g). This suggested that there was a high fit degree between experimental value and the predicted value from the regression model. Hence, the response surface modeling can be utilized effectively to predict the extraction condition of the PSMPI.

Conclusions. In the present study, ultrasound-assisted alkaline extraction (UAAE) of pumpkin seed meal protein isolate (PSMPI) was proposed. Since many factors, like ultrasonic power, ultrasonic time and ratio of liquid to solid effect the yield of PSMPI, the response surface method was conducted to optimize the extraction conditions by three factors at three level Box-Behnken design. Response surface and contour plots suggested that the optimum condition for extracting PSMPI is at 456 W of ultrasonic power, 22 minutes of ultrasonic time and 27 mg/L for ratio of liquid to solid with a maximum protein yield of 81.86 g/100g. These results will contribute to the information of the productivity of the PSMPI by the method of UAAE.

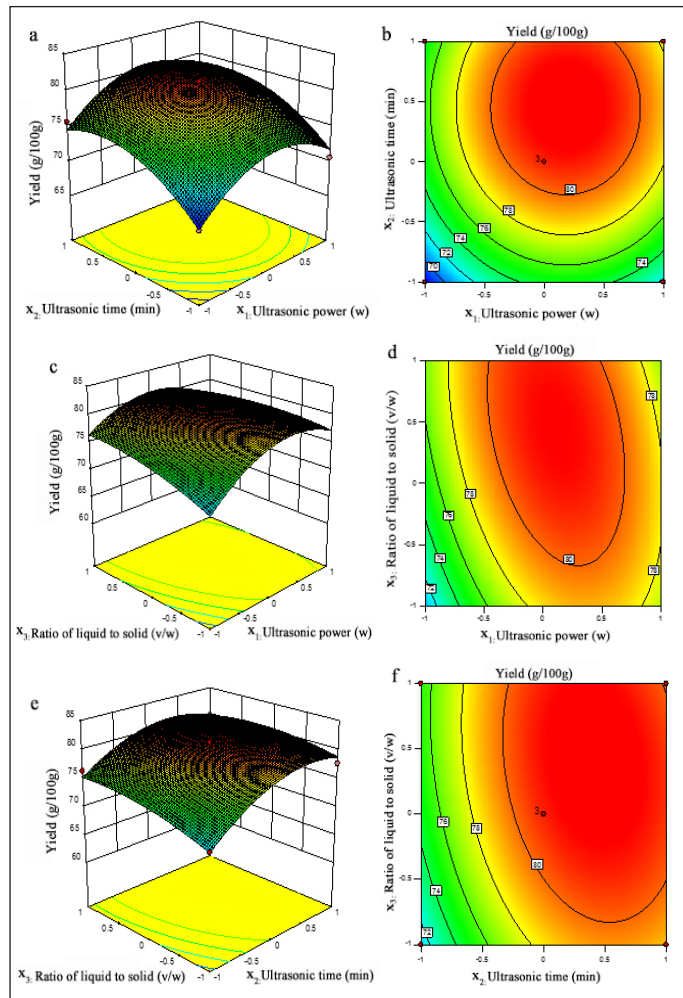


Fig. 1. Response surfaces (a, c and e) and contour plots (b, d and f) showing effects of extraction variables (X_1 , ultrasonic power; X_2 , ultrasonic time; X_3 , ratio of liquid to solid) on the ultrasound-assisted alkaline extraction (UAAE) yield of pumpkin seed meal protein isolate (PSMPI)

Table 3

Analysis of the variance (ANOVA) of the quadratic model

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	p-value Prob > F
Model	228.95	9	25.44	16.87	0.0031
A_1	21.19	1	21.19	14.05	0.0133
A_2	73.87	1	73.87	48.98	0.0009
A_3	12.83	1	12.83	8.50	0.0332
A_{12}	0.0072	1	0.0072	0.0048	0.9475
A_{13}	9.27	1	9.27	6.15	0.0559
A_{23}	2.16	1	2.16	1.43	0.2850
A_{11}	73.58	1	73.58	48.78	0.0009
A_{22}	42.10	1	42.10	27.91	0.0032
A_{33}	5.92	1	5.92	3.93	0.1043
Residual	7.54	5	1.51		
Lack of Fit	7.27	3	2.42	18.17	0.0526
Pure Error	0.27	2	0.13		
Cor Total	236.49	14			

$R^2 = 0.9681$. $R_{Adj}^2 = 0.9107$. $CV = 1.61$

References:

1. Day L. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science and Technology*. 2013. V. 32. № 1. P. 25–42.
2. Pojić M., Mišan A., Tiwari B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. *Trends in Food Science and Technology*. 2018. № 75. P. 93–104.
3. Chittapalo T., Noomhorm A. Ultrasonic assisted alkali extraction of protein from defatted rice bran and properties of the protein concentrates. *International journal of food science and technology*, 2009. V. 44. № 9. P. 1843–1849.
4. Haque M.A., Aldred P., Chen J., Barrow C.J., Adhikari B. Comparative study of denaturation of whey protein isolate (WPI) in convective air drying and isothermal heat treatment processes. *Food Chemistry*. 2013. V. 141. № 2. P. 702–711.
5. Watanabe M., Maeda I., Koyama M., Nakamura K., Sasano K. Simultaneous recovery and purification of rice protein and phosphorus compounds from full-fat and defatted rice bran with organic solvent-free process. *Journal Bioscience and Bioengineering*. 2015. V. 119. № 2. P. 206–211.
6. Kadam S.U., Tiwari B.K., O'Donnell C.P. Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. V. 61. № 20. P. 4667–4675.
7. Ochoa-Rivas A., Nava-Valdez Y., Serna-Saldívar S. O., Chuck-Hernández C. Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates. *Food and Bioprocess Technology*. 2017. № 10. P. 543–555.
8. Bendicho C., De La Calle I., Pena F., Costas M., Cabaleiro N., Lavilla I. Ultrasound-assisted pretreatment of solid samples in the context of green analytical chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*. 2012. № 31. P. 50–60.
9. Chemat F., Khan M.K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2011. V. 18. № 4. P. 813–835.
10. Yang X., Li Y., Li S., Oladejo A.O., Wang Y., Huang S. Effects of low power density multi-frequency ultrasound pretreatment on the enzymolysis and the structure characterization of defatted wheat germ protein. *Food Engineering Reviews*. 2017. № 38. P. 410–420.
11. Li H., Zhu K., Zhou H., Peng W., Guo X. Comparative study of four physical approaches about allergenicity of soybean protein isolate for infant formula. *Food and Agricultural Immunology*. 2016. V. 27. № 5. P. 604–623.
12. Quanhong L., Caili F. Application of response surface methodology for extraction optimization of germinant pumpkin seeds protein. *Food Chemistry*. 2005. V. 92. № 4. P. 701–706.
13. Popović S., Peričin D., Vaštag Ž., Popović L., Lazić V. Evaluation of edible film-forming ability of pumpkin oil cake; effect of pH and temperature. *Food Hydrocolloids*. 2011. V. 25. № 3. P. 470–476.
14. Peričin D., Radulović L., Trivić S., Dimić E. Evaluation of solubility of pumpkin seed globulins by response surface method. *Journal of Food Engineering*. 2008. V. 84. № 4. P. 591–594.
15. Rezig L., Chibani F., Chouaibi M., Dalgalarondo M., Hessini K., Gueguen J., Hamdi S. Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed proteins: sequential extraction processing and fraction characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. V. 61. № 32. P. 7715–7721.

Геліх А.О., Гао Д., Дуан З. ОПТИМІЗАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ПІДТРИМКИ ЛУЖНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ ІЗОЛЯТИВ БІЛКА БОРОШНА З ГАРБУЗОВОГО НАСІННЯ ЗА МЕТОДОЛОГІЄЮ ПОВЕРХНІ ВІДГУКУ

В якості альтернативи тваринним білкам ізолят білка борошна з насіння гарбуза (ІББНГ) може застосовуватися в харчовій промисловості в якості харчових добавок і функціональних харчових продуктів. Звичайний процес екстракції білка є лужним розчином і кислотними осадами, які перетворюють тривалий час. Ультразвуковий метод є екологічно чистим методом, який можна використовувати для підвищення ефективності екстракції білка.

В цьому дослідженні був розроблений метод ультразвукової лужної екстракції (УЛЕ) білка борошна з насіння гарбуза. Методологія поверхні відгуку (МПВ) була використана для оптимізації умов УЛЕ (потужність ультразвуку, час ультразвуку і співвідношення рідини до твердої речовини) шляхом реалізації трьохфакторної трирівневої конструкції Боксу-Бенкена. Квадратичне поліноміальне рівняння було отримано за допомогою поліноміального регресійного аналізу експериментальних даних і відповідних статистичних методів. Вплив взаємодії незалежних змінних на вихід екстракції ІББНГ було проілюстровано за допомогою поверхонь відгуку та контрольних графіків.

Крім того, шляхом вирішення рівняння регресії й аналізу контурних графіків поверхні відгуку були отримані певні оптимальні умови екстракції ІББНГ, які мали потужність ультразвуку 456 Вт, час ультразвуку 22 хв і співвідношення рідини до твердої речовини 27 мл/м. Була визначена ефективність УЛЕ по виходу ІББНГ. Результат показав, що експериментальне значення (80,76 г/100 г) виходу ІББНГ було досить близько до прогнозованого (81,86 г/100 г). Це говорить про те, що існує високий ступінь відповідності між експериментальним значенням і прогнозованим значенням із регресійної моделі. Було доведено, що рівняння поверхні відгуку може ефективно використовуватися для прогнозування умови вилучення ІББНГ.

Ключові слова: Бокс-Бенкен, ультразвукова лужна екстракція, білковий ізолят борошна з насіння гарбуза, оптимізована модель.

УДК 006.83:664.788-047.44

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/18>**Дубініна А.А.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Попова Т.М.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Ленерт С.О.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Гершун В.С.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПШОНА ІЗ ПРОСА РІЗНИХ СОРТІВ

Статтю присвячено оцінюванню якості пшона з проса різних сортів із метою виявлення найбільш цінних і безпечних. Обґрунтовано доцільність комплексного оцінювання крупи для її раціональнішого використання, зокрема в оздоровчому харчуванні. Проведено кваліметричну оцінку якості пшона з проса п'яти сортів, найбільш адоптованих для вирощування в Україні, а саме: Слобожанське, Вітрило, Королівське, Костянтинівське, Козацьке. Усі сорти є селекційними розробками Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України, відрізняються морфологічними ознаками й господарсько-біологічними характеристиками. Визначення показників якості й безпечності пшона проведено в лабораторіях Харківського державного університету харчування та торгівлі.

На основі принципів і методів кваліметрії обрано номенклатуру найбільш значущих одиничних показників якості пшона. З метою найбільш перевіреної оцінки якості розроблено ієрархічну структуру показників, яка містить органолептичні й кулінарні властивості, загальний хімічний, вітамінний і мінеральний склад продукту, його біологічну цінність і безпечність. Визначено вагомості кожного показника в загальному оцінюванні якості продукту. Встановлено оптимальні значення кожного з показників. Здійснено перехід від розмірних до безрозмірних (відносних) показників якості. Обчислено комплексні показники якості для окремих груп властивостей пшона. Розраховано комплексний показник якості пшона з різних сортів проса. Розглянуто, що всі обрані зразки пшона характеризуються майже однаковими комплексними показниками якості, значення яких знаходяться в межах 0,78–0,83, що підтверджує перспективність використання саме цих сортів проса. Проте найвищі показники якості встановлено в пшона з проса сортів Козацьке (0,83), Королівське (0,82) й Костянтинівське (0,81). Саме ці сорти рекомендується використовувати для виробництва продуктів оздоровчого призначення.

Ключові слова: просо, сорт, пшоно, «дерево властивостей», якість, комплексний показник.

Постановка проблеми. Для створення високоякісних, корисних, а головне безпечних харчових продуктів, які матимуть оздоровчий вплив на організм людини, забезпечать профілактику аліментарно-залежних станів і захворювань, необхідно використовувати якісну, високопоживну, екологічно чисту сировину [1]. Відбір такої сировини вимагає проведення низки досліджень, зокрема визначення показників якості, хімічного складу, вмісту біологічно активних речовин, ступеня накопичення токсичних речовин тощо. Кожна із цих властивостей виражається в різних натуральних показниках і певним чином впливає на якість продукції. Застосування кваліметричних методів оцінки якості продукції дозволяє здійснювати перехід від розмірних до безрозмірних показни-

ків, які згодом враховуються під час комплексної оцінки якості [2].

Розрахунок комплексного показника якості дозволяє здійснювати більш обґрунтований вибір найкращої продукції, тому цей показник останнім часом набуває все ширшого застосування [3–10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед широкого асортименту круп значний попит має пшоно – найпоширеніший продукт перероблення проса. Здавна відомо, що пшоно – корисний, поживний і дієтичний продукт, що повністю відповідає вимогам здорового харчування. Воно вважається однією з найменш алергенних круп'яних культур, легко засвоюється організмом, має загально зміцнювальну дію, сприяє

виведенню з організму антибіотиків, шкідливих речовин і токсинів [11].

Пшоно є джерелом повноцінних рослинних білків, поліненасичених жирних кислот, вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон та інших біологічно активних компонентів. Окрім поживних речовин, воно може містити у своєму складі й шкідливі, здатні проявляти токсичну дію, зокрема важкі метали, радіонукліди, мікотоксини, нітрати тощо [12].

Аналіз літературних джерел показує, що хімічний склад пшона, його здатність до накопичення токсичних речовин добре вивчені вітчизняними й зарубіжними дослідниками. Проте майже відсутні дані щодо вмісту біологічно цінних речовин і токсинів залежно від сорту проса, з якого виготовлено крупу. Саме тому доцільною є комплексна оцінка якості пшона з різних сортів проса, найбільш адаптованих для вирощування в Україні.

Постановка завдання. Метою статті є застосування методів і принципів кваліметрії для розрахунку комплексного показника якості пшона

з урахуванням сортової специфіки проса, з якого виготовлено крупу.

Виклад основного матеріалу. З метою комплексного оцінювання якості крупи об'єктами досліджень обрано пшоно із проса п'яти сортів: Слобожанське, Вітрило, Королівське, Костянтинівське, Козацьке. Усі досліджувані сорти створені в лабораторії селекції проса Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва Національної академії наук України, характеризуються підвищеною врожайністю, високими показниками якості зерна й крупи, стійкістю до хвороб і шкідників, адаптовані до вирощування в різних агрокліматичних зонах України. Сорти відрізняються морфологічними ознаками (формою, величиною, забарвленням плодів) і господарсько-біологічними характеристиками (врожайністю, вегетаційним періодом, технологічними й круп'яними властивостями зерна). Усі сорти являють собою перспективний сортовий матеріал проса широкого спектра використання [13; 14].

Комплексний показник якості K_0 (1,0)	Показники якості Ma_0	Колір	Ma_1
		Смак і запах	Ma_2
		Кулінарні властивості	Ma_3
	Загальний хімічний склад Mb_0	Вміст білка	Mb_1
		Вміст жиру	Mb_2
		Вміст клітковини	Mb_3
		Вміст золи	Mb_4
	Вітамінний і мінеральний склад Mc_0	Вміст вітамінів групи В	Mc_1
		Вміст вітаміну Е	Mc_2
		Вміст β -каротину	Mc_3
		Вміст магнію	Mc_4
		Вміст заліза	Mc_5
		Вміст мanganу	Mc_6
		Вміст кальцію	Mc_7
		Вміст фосфору	Mc_8
	Біологічна цінність Md_0	БЦ білка	Md_1
		Вміст поліненасичених жирних кислот	Md_2
		Вміст фенольних сполук	Md_3
		Вміст фітостеролів	Md_4
		Антиоксидантна активність	Md_5
	Показники безпеки Me_0	Вміст свинцю	Me_1
		Вміст кадмію	Me_2
		Вміст міді	Me_3
		Вміст цинку	Me_4
		Вміст нітратів	Me_5
		Радіологічні показники	Me_6
		Оксалатний індекс	Me_7
0 рівень	1 рівень	2 рівень	

Рис. 1. «Дерево властивостей» для пшона

Обчислення комплексного показника якості пшона починали з побудови «дерева властивостей», що є графічним зображенням ієрархічної структури (рис. 1).

Структура «дерева властивостей» складається з декількох рівнів. На нульовому знаходиться комплексний показник якості виробу (K_0). На першому рівні сукупність властивостей диференціюється за групами ($Ma_0, Mb_0, Mc_0, Md_0, Me_0$), які на другому рівні поділяються на відповідні складові (поодинокі показники):

1) показники якості (Ma_0), які включають колір (Ma_1), смак і запах (Ma_2), кулінарні властивості (Ma_3);

2) загальний хімічний склад (Mb_0), а саме вміст білка (Mb_1), жиру (Mb_2), клітковини (Mb_3), золи (Mb_4);

3) вітамінний і мінеральний склад (Mc_0), зокрема вміст вітамінів групи В (Mc_1), Е (Mc_2), β -каротину (Mc_3), магнію (Mc_4), заліза (Mc_5), мангану (Mc_6), кальцію (Mc_7), фосфору (Mc_8);

4) біологічна цінність (Md_0), що включає біологічну цінність білка (Md_1), вміст поліненасичених жирних кислот (Md_2), флавоноїдів (Md_3), стероїдного комплексу (Md_4), антиоксидантну активність (Md_5);

5) показники безпечності (Me_0), до яких належать вміст солей важких металів (Me_1), нітратів (Me_2), оксалатів (Me_3), радіологічні показники (Me_4).

Зважаючи на те, що властивості, які включено до дерева, не однакові за значущістю, експертною групою співробітників Харківського державного університету харчування та торгівлі було визначено міжгрупові й внутрішньогрупові коефіцієнти вагомості кожного показника в загальному оцінюванні якості продукту (табл. 1)

Визначення міжгрупових і внутрішньогрупових коефіцієнтів вагомості кожного показника якості проводилося за (1) до умови:

$$\sum_{i=1}^n Mi = 1, \quad (1)$$

де Mi – коефіцієнт вагомості i -го показника;
 n – кількість показників якості в окремій групі.

Для розрахунку коефіцієнтів вагомості використовували формулу:

$$\bar{a}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

де a_i – середнє арифметичне значення коефіцієнта вагомості i -го показника якості;

n – кількість показників якості продукції;

N – кількість експертів;

a_{ij} – параметри вагомості i -го показника, дані j -м експертом.

Потрібні показники якості для обраного кола властивостей розраховували через показник P_i . Для визначення відносних показників якості використовували дані абсолютних і базових значень. Отримані абсолютні значення переводили у відносні безрозмірні величини за відношенням до їхніх базових значень за такими формулами:

$$q = P_i / P_{баз} \quad (3)$$

$$q = (P_i - P_i^{sp}) / (P_i^{em} - P_i^{sp}), \quad (4)$$

де P_i – значення i -го показника;

$P_{баз}$ – значення базового показника;

P_i^{sp} – значення мінімального граничного показника;

P_i^{em} – еталонне значення.

Обчислення групового показника властивостей групи А здійснювали з використанням 50-бальної шкали оцінювання. Для властивостей груп В, С і D брали значення, виміряні за стандартними методиками з визначенням базового, у ролі якого було взято максимальний показник того чи іншого ком-

Таблиця 1

Коефіцієнти вагомості показників якості для окремих груп властивостей пшона

Для властивостей групи А $Ma_0(0,10)$	Ma_1		Ma_2		Ma_3			
	0,2		0,4		0,4			
Для властивостей групи В $Mb_0(0,15)$	Mb_1	Mb_2		Mb_3		Mb_4		
	0,3	0,2		0,3		0,2		
Для властивостей групи С $Mc_0(0,2)$	Mc_1	Mc_2	Mc_3	Mc_4	Mc_5	Mc_6	Mc_7	Mc_8
	0,15	0,15	0,10	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10
Для властивостей групи D $Md_0(0,25)$	Md_1		Md_2	Md_3		Md_4	Md_5	
	0,1		0,1	0,2		0,3	0,3	
Для властивостей групи E $Me_0(0,25)$	Me_1	Me_2	Me_3	Me_4		Me_5	Me_6	Me_7
	0,15	0,15	0,15	0,15		0,15	0,10	0,15

понента в складі крупи. Як граничний показник у групі Е для вмісту солей важких металів обрано гранично допустиму концентрацію токсичної речовини в продукті, за еталон прийнято добову норму мікроелементів, необхідну для росту й розвитку організму людини. Для нітратів за еталон взято найменшу їхню кількість, виявлену в кожному з дослідних зразків круп, за граничний показник – найбільшу їхню кількість. Базовий показник для оксалатного індексу становить 1. Для радіологічних показників (співвідношення радіонуклідів ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr): граничний – не більше 1, еталонний – найменший критерій оцінки для крупи.

Результати переведення абсолютних показників якості у відносні безрозмірні величини наведено в табл. 2.

Групові оцінки якості (K_0) пшона для кожної групи властивостей визначали за формулами:

– для властивостей групи А:

$$Ka_0 = (Ma_1 \times Ka_1) + (Ma_2 \times Ka_2) + (Ma_3 \times Ka_3), \quad (5)$$

– для властивостей групи В:

$$Kb_0 = (Mb_1 \times Kb_1) + (Mb_2 \times Kb_2) + (Mb_3 \times Kb_3) + (Mb_4 \times Kb_4), \quad (6)$$

– для властивостей групи С:

$$Kc_0 = (Mc_1 \times Kc_1) + (Mc_2 \times Kc_2) + (Mc_3 \times Kc_3) + (Mc_4 \times Kc_4) + (Mc_5 \times Kc_5) + (Mc_6 \times Kc_6) + (Mc_7 \times Kc_7) + (Mc_8 \times Kc_8), \quad (7)$$

– для властивостей групи D:

Таблиця 2

Визначення відносних показників якості пшона з різних сортів проса

Одиниці вимірювання	Код	Кі-ті показники якості					Код	Відносні показники якості				
		Слобожанське	Вітрило	Королівське	Костянтинівське	Козацьке		Слобожанське	Вітрило	Королівське	Костянтинівське	Козацьке
Бали	Ma ₁	10	10	9	9	8	Ka ₁	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
	Ma ₂	9	9	10	8	9	Ka ₂	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9
	Ma ₃	10	8	10	8	9	Ka ₃	1,0	0,8	1,0	0,8	0,9
г/100 г	Mb ₁	9,8	10,3	11,6	10,5	9,9	Kb ₁	0,84	0,89	1,0	0,91	0,85
	Mb ₂	2,4	2,4	1,9	2,1	2,0	Kb ₂	1,0	1,0	0,79	0,88	0,83
	Mb ₃	0,9	1,3	0,9	1,2	1,4	Kb ₃	0,64	0,93	0,64	0,86	1,0
	Mb ₄	1,4	1,3	1,8	0,9	1,2	Kb ₄	0,78	0,72	1,0	0,50	0,67
мг/100 г	Mc ₁	3,12	2,76	2,41	2,27	3,15	Kc ₁	0,99	0,88	0,77	0,72	1,0
	Mc ₂	0,64	0,55	0,53	0,48	0,56	Kc ₂	1,0	0,86	0,83	0,75	0,88
мкг/100г	Mc ₃	11	12	9	10	6	Kc ₃	0,92	1,0	0,75	0,83	0,50
мг/100 г	Mc ₄	83	89	97	90	85	Kc ₄	0,86	0,92	1,0	0,93	0,88
	Mc ₅	7,08	8,96	9,30	8,04	7,76	Kc ₅	0,76	0,96	1,0	0,86	0,83
	Mc ₆	1,88	1,75	1,64	1,92	1,64	Kc ₆	0,98	0,91	0,85	1,0	0,85
	Mc ₇	33,5	31,5	25,8	25,8	32,6	Kc ₇	1,0	0,94	0,77	0,77	0,97
	Mc ₈	239	269	303	264	264	Kc ₈	0,79	0,89	1,0	0,87	0,87
%	Md ₁	19,8	46,0	46,6	8,1	36,1	Kd ₁	0,42	0,99	1,0	0,17	0,77
г/100 г	Md ₂	0,66	0,68	0,47	0,50	0,47	Kd ₂	0,97	1,0	0,69	0,74	0,69
мг/100 г	Md ₃	1,83	1,07	1,45	1,58	2,21	Kd ₃	0,83	0,48	0,66	0,71	1,0
	Md ₄	37,8	76,4	83,8	77,8	41,4	Kd ₄	0,45	0,91	1,0	0,93	0,49
мкг/100г	Md ₅	50,1	41,2	42,0	46,4	53,5	Kd ₅	0,94	0,77	0,79	0,87	1,0
мг/кг	Me ₁	0,09	0,08	0,12	0,10	0,11	Ke ₁	0,83	0,85	0,77	0,81	0,79
	Me ₂	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	Ke ₂	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90
	Me ₃	4,8	5,5	6,1	4,5	4,0	Ke ₃	0,52	0,45	0,39	0,55	0,60
	Me ₄	29,2	24,3	26,8	23,0	20,8	Ke ₄	0,42	0,52	0,47	0,54	0,59
	Me ₅	4,6	5,3	4,2	4,4	4,5	Ke ₅	0,64	0	1,0	0,82	0,73
Бк/кг	Me ₆	0,94	0,78	0,86	0,67	0,69	Ke ₆	0,18	0,67	0,42	1,0	0,94
–	Me ₇	0,38	0,49	0,26	0,17	0,27	Ke ₇	0,75	0,61	0,89	1,0	0,88

$$Kd_0 = (Md_1 \times Kd_1) + (Md_2 \times Kd_2) + (Md_3 \times Kd_3) + (Md_4 \times Kd_4) + (Md_5 \times Kd_5), \quad (8)$$

– для властивостей групи E:

$$Ke_0 = (Me_1 \times Ke_1) + (Me_2 \times Ke_2) + (Me_3 \times Ke_3) + (Me_4 \times Ke_4) + (Me_5 \times Ke_5) + (Me_6 \times Ke_6) + (Me_7 \times Ke_7), \quad (9)$$

Результати розрахунку комплексних показників якості для окремих груп властивостей пшона наведено в табл. 3.

Отримані результати показують, що серед властивостей групи А найвищі оцінки отримало пшона сорту Королівське (0,98), що зумовлено його високими органолептичними й кулінарними властивостями. Слід зазначити, що всі інші дослідні зразки крупи мають також достатньо високі показники, які змінюються в межах від 0,82 до 0,96.

У групі В, властивості якої пов'язані із загальним хімічним складом, встановлено майже однакові оцінки для всіх зразків пшона (в межах 0,80–0,89). За вмістом вітамінів і мінеральних сполук (властивості групи С) всі дослідні зразки характеризуються високими груповими показниками, що знаходяться в межах 0,84–0,92, підтверджуючи значний вміст цих важливих нутрієнтів у дослідних зразках крупи.

Найнижчі групові показники в групі D має пшона сорту Слобожанське (0,72). Найкращою за біологічною цінністю виявилось пшона сорту Королівське (0,84).

Щодо властивостей групи E (показники безпечності), то найбільш здатне до накопичення токсичних речовин пшона сорту Вітрило (0,6), що пояснюється найвищим показником вмісту нітратів. Найбезпечнішим є пшона з проса сорту Костянтинівське (з показником 0,80).

Комплексну оцінку якості дослідних зразків пшона визначали за формулою:

$$K_0 = (Ma_0 \times Ka_0) + (Mb_0 \times Kb_0) + (Mc_0 \times Kc_0) + (Md_0 \times Kd_0) + (Me_0 \times Ke_0), \quad (10)$$

Результати визначення комплексної оцінки якості досліджених зразків пшона представлено на рис. 2.

За шкалою оцінювання комплексний показник розподіляється таким чином: «дуже добре» – 1,00...0,80; «добре» – 0,80...0,63; «задовільно» – 0,63...0,37; «погано» – 0,37...0,20; «дуже погано» – 0,20...0,00 [2].

Згідно з наведеною шкалою, всі зразки пшона з проса дослідних сортів мають оцінку «дуже добре» й «добре», що підтверджує їхню високу харчову й біологічну цінність і безпечність.

Висновки. Установлено, що всі досліджувані зразки пшона характеризуються майже однаковими комплексними показниками якості, значення яких знаходяться в межах 0,78–0,83, проте найвищі показники якості встановлено в пшона з проса сортів Козацьке (0,83), Королівське (0,82) і Костянтинівське (0,81). Саме ці сорти рекомендуються використовувати для виробництва продуктів оздоровчого призначення.

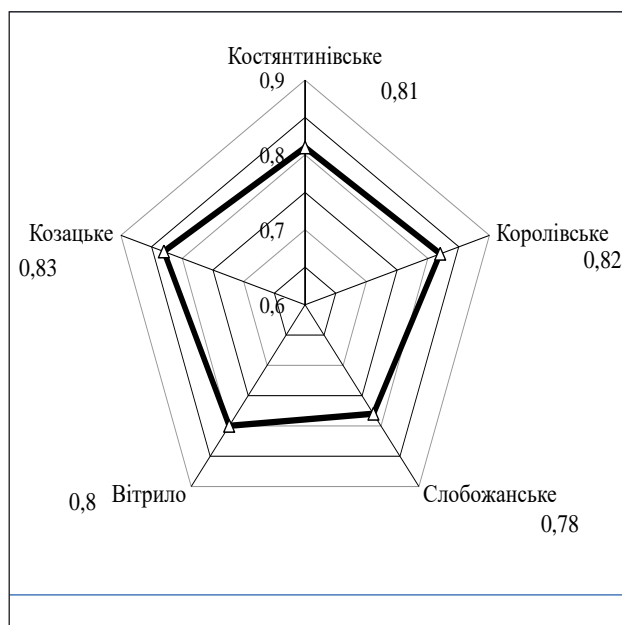


Рис. 2. Результати комплексної оцінки якості пшона з проса різних сортів

Таблиця 3

Комплексні показники якості для окремих груп властивостей пшона з проса різних сортів

Сорт проса, з якого виготовлено пшона	Комплексні показники якості окремих груп властивостей				
	Ka ₀	Kb ₀	Kc ₀	Kd ₀	Ke ₀
Слобожанське	0,96	0,80	0,91	0,72	0,61
Вітрило	0,88	0,89	0,92	0,80	0,60
Королівське	0,98	0,85	0,88	0,84	0,66
Костянтинівське	0,82	0,81	0,84	0,77	0,80
Козацьке	0,88	0,85	0,86	0,79	0,78

Список літератури:

1. Дубініна А.А., Попова Т.М., Хоменко О.О. Науково-практичні аспекти створення органічної продукції рослинного походження. *Особливості переробних технологій в органічному виробництві* : матеріали наук.-практ. семінару, м. Харків, 16 травня 2014 р. Харків : ХДУХТ, 2014. С. 23–25.
2. Управління якістю переробних та харчових виробництв / О.В. Богомолов та інші. Харків : Еспада, 2006. 296 с.
3. Шидакова-Каменюка О.Г., Головка М. П., Роговий І.С., Рогова А.Л. Застосування принципів кваліметрії для оцінювання якості печива з додаванням напівфабрикату кісткового харчового. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : збірник наукових праць. Харків : ХДУХТ, 2015. Вип. 1 (21). С. 213–221.
4. Машта Н.О. Особливості моделювання комплексного показника якості плавлених сирних продуктів функціонального спрямування. *Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча*. 2011. Вип. 12. С. 108–112.
5. Крайнюк Л.М., Крутовий Ж.А., Касілова Л.О. Застосування методики комплексної органолептичної оцінки якості кулінарної продукції. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : збірник наукових праць. Харків : ХДУХТ, 2015. Вип. 1 (11). С. 266–272.
6. Дунченко Н.И., Янковская В.С. Применение кваліметрического прогнозирования в АПК. *Известия ТСХА*. 2012. Вып. 5. С. 9–16.
7. Вершинина А.Г., Ившина А.И. Кваліметрическая модель управления качеством натуральных овощных консервов. *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2018. Т. 7 № 1 (22). С. 122–124.
8. Рензьева Т.В., Мерман А.Д., Шарфунова И.Б. Разработка обобщенного комплексного показателя качества хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*. 2010. № 3. С. 91–95.
9. Стрижевская В.М., Симакова И.В., Павленкова И.В. Разработка кваліметрической модели комбинированных снековых изделий. *Новые технологии*. 2019. Вып. 1 (47). С. 178–188.
10. Олійник С.Г., Степанькова Г.В., Шидакова-Каменюка О.Г. Кваліметрична оцінка якості хліба пшеничного з використанням шроту зародків вівса та макухи зародків кукурудзи. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Т. 25, № 1. С. 233–242.
11. Цілющі властивості проса. Користь пшоняної каші. *Селекційно-виробничий центр «Яровіт»* : вебсайт. URL: <http://grain.in.ua>.
12. Продукт из недалекого прошлого: пшеничная каша – польза и вред. *Healthport* : веб-сайт. URL: <http://healthport.ru>.
13. Беленіхіна А.В., Костромітін В.М. Просу – гідну увагу. *Агробізнес сьогодні*. 2012. № 21/22. С. 35–37.
14. Бірюкова О.В., Горбачова С.М. Характеристика сортів проса, занесених до Державного реєстру сортів рослин, при вирощуванні в умовах Східного Лісостепу України. *Селекція і насінництво*. 2012. Вип. 102. С. 195–201.

Dubinina A.A., Popova T.M., Lenert S.O., Hershun V.S. COMPLEX ASSESSMENT OF QUALITY OF FRUITS OF MILLETS OF DIFFERENT VARIETIES

The article is devoted to the evaluation of the quality of millet from millet of different varieties in order to identify the most valuable and safe. The expediency of complex evaluation of cereals for more rational use of it, in particular in health nutrition, is substantiated. A qualitative assessment of the quality of millet from the millet of the five varieties most adapted for cultivation in Ukraine, namely: Slobozhansk, Sail, Royal, Konstantinovsk, Kozatske. All varieties are breeding developments of the Plant Production Institute nd. a. V. Ya. Yuryev of NAAS of Ukraine, differ in morphological features and economic and biological characteristics. Determination of quality and safety indicators of millet was carried out in the laboratories of Kharkiv State University of Food Technology and Trade.

Based on the principles and methods of qualimetry, the nomenclature of the most significant single quality indicators of millet was selected. For the purpose of the most reliable quality assessment, a hierarchical structure of indicators has been developed, which includes organoleptic and culinary properties, general chemical, vitamin and mineral composition of the product, its biological value and safety. The weight of each indicator in the overall product quality assessment is determined. The optimum values of each metric are set. We have made the transition from dimensional to dimensionless (relative) quality indicators. Complex quality indicators for individual groups of millet properties were calculated. The complex quality index of millet from different millet varieties was calculated. It is established that all selected specimens of millet are characterized by almost identical complex quality indicators, the values of which are in the range 0,78–0,83, which confirms the prospect of using these varieties. However, the highest quality indicators were established in millet of millet varieties Kozatske (0,83), Korolevskoe (0,82) and Konstantinovske (0,81). These varieties are recommended for the production of wellness products.

Key words: millet, variety, millet, “property tree”, quality, comprehensive indicator.

УДК 664.849:519.876.5

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/19>**Дубініна А.А.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Селютіна Г.А.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Шербакова Т.В.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Хацкевич Ю.М.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Селютін В.М.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПАСТИ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Стаття присвячена проблемі й напрямам розширення асортименту продукції здорового харчування, які на тепер вирішуються шляхом оптимізації рецептурних інгредієнтів, що дає змогу отримати інноваційні харчові композиції із заданим складом споживних властивостей. Для розширення асортименту перероблених харчових продуктів все частіше використовують математичні моделі оптимізації їхнього складу, що дозволяє значно й обґрунтовано підвищити їхню якість. Аналіз умов застосування методів дозволив для розв'язання завдання оптимізації складу пасту з агрусу обрати метод Ньютона, в якому використовуються другі похідні, що вимагає великих обчислень на кожній ітерації, але оптимальне рішення знаходиться за менше число ітерацій, ніж у градієнтних методах, в яких використовуються перші похідні. З метою розробки математичної моделі оптимізації складу пасту з агрусу здійснено загальну постановку задачі підбору композиції інгредієнтів для одержання паст із заданими органолептичними показниками (кольору, смаку, консистенції). Розроблено шкалу значень органолептичних показників для пасту з агрусу залежно від різного вмісту інгредієнтів. Визначені змінні та їх обмеження відповідно до вимог за органолептичними показниками. Побудовано цільову функцію за всіма критеріями (вмістом клітковини, пектину, мінеральних речовин (натрію, калію, кальцію, магнію, фосфору, заліза) й вітамінів (каротину, В₁, В₂, РР, С)) й складено частинні фактичні цілі за кожним критерієм. За допомогою програми мовою програмування Паскаль 7.1. здійснено вибір методу розв'язання задачі нелінійної оптимізації. Шляхом математичного моделювання отримано результати оптимізованого складу пасту з агрусу з урахуванням органолептичних показників, яка максимально задовольняє вимогам за збалансованим складом мікроелементів, вітамінів, клітковини й пектину, й встановлено концентрації рецептурних компонентів оптимізованого складу: агрус – 73,6–86,8%, цукор – 10–20%, продукт, що містить крохмаль, – 2,4–4,0%, кропивний напівфабрикат – 0,8–2,4%.

Ключові слова: паста з агрусу, оптимізований склад, математичне й комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. Розвиток плодоовочевої промисловості на основі зростання виробництва сільськогосподарської продукції вимагає систематичного удосконалення організації та технології виробництва, раціонального використання сировини, впровадження нових наукових досягнень. Перспективним напрямом розвитку виробництва харчових продуктів є забезпечення високого рівня їхньої якості. Цінність рослинної їжі полягає в тому, що вона містить всі поживні

й біологічно активні речовини. До таких видів сировини відносяться агрус, який росте в Україні та є дешевою сировиною.

З причини відсутності промислових технологій, агрус практично не використовується в переробній промисловості. Тому проблема створення та впровадження в масове виробництво нових видів продуктів з агрусу актуальна. Сучасні погляди на харчові продукти можуть мати розвиток лише на базі розробки науково-теоретичних

основ створення математичних моделей складу та якості продуктів. З метою розширення асортименту перероблених харчових продуктів все частіше використовують математичні моделі оптимізації їхнього складу, що дозволяє значно й обґрунтовано підвищити їхню якість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначальним чинником, який у вирішальній мірі визначає відповідність харчових систем їхнім очікуваним властивостям, є спосіб обґрунтування їхнього рецептурного складу. До недавнього часу відомі методи проєктування рецептур спиралися на емпіричну основу. У багатьох випадках подібний підхід був виправданий, оскільки дозволяв випускати продукти досить високої харчової цінності [1; 2]. Однак, базуючись лише на інтуїції, практично неможливо створити композиції, в максимальному ступені відповідні потребам організму в енергетичних і пластичних біоматеріалах.

Можливість підвищення харчової та біологічної цінності харчових продуктів і раціонів характеризується безліччю шляхів просування до заданої мети. Загальним методологічним прийомом у цьому випадку є цільове комбінування рецептурних інгредієнтів, яке забезпечує отримання харчових композицій з комплексом бажаних позитивних властивостей [3; 4].

Аналіз сукупності методів оптимізації рецептур дозволяє виділити найважливіші критерії їхньої класифікації. Зокрема, до методів вибору за критерієм напрямку й довжини кроку відносять: методи пошуку, або методи нульового порядку, – це методи, які для визначення напрямку й розміру кроку використовують тільки значення цільової функції; градієнтні методи, або методи першого порядку, – методи, в яких для визначення напрямку й кроку використовують значення перших похідних цільової функції та визначають її градієнт; методи Ньютона, або методи другого порядку, – методи, в яких для визначення напрямку й кроку використовують значення других похідних цільової функції [5–7].

Чим вищий порядок методів, тим більше обчислень на кожній ітерації, але потрібна менша кількість ітерацій. Виходячи з критерію призначення методу рішення, можна відзначити, що немає методів кращих або гірших, тому що застосування того або іншого методу пошуку оптимального рішення залежить від типу нелінійності [8; 9].

Аналіз умов застосування методів дозволив для вирішення завдання оптимізації складу пасти з агрусу обрати метод Ньютона, в якому вико-

ристовуються другі похідні, що вимагає великих обчислень на кожній ітерації, але оптимальне рішення знаходиться за менше число ітерацій, ніж у градієнтних методах, в яких використовуються перші похідні [10; 11].

Постановка завдання. Метою проведених досліджень є обґрунтування та створення нового продукту з агрусу, який відрізняється високими органолептичними якостями й підвищеним вмістом біологічно активних речовин за допомогою математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Існує набір харчових інгредієнтів, які є основою для упорядкування харчових паст. Необхідно підібрати композицію інгредієнтів для одержання паст із заданими органолептичними показниками (колір, смак, консистенція) (табл. 1), що максимально задовольняє вимогам за збалансованим складом мікроелементів, вітамінів, клітковини й пектину. Вміст в пастах вітамінів і мікроелементів повинен прагнути до норми (табл. 2). Водночас сума мас інгредієнтів повинна відповідати необхідній масі готового продукту, тобто складати 100 грамів для такої задачі.

Таблиця 1

Необхідні значення органолептичних показників

Органолептичний показник	Паста з агрусу
Колір	Зелений
Смак	Кисло-солодкий
Запах	Властивий сировині
Консистенція	Пастоподібна

З метою коректної інтерпретації результатів математичної обробки органолептичних показників розроблена шкала їхніх значень для пасти з агрусу в залежності від різного вмісту в них інгредієнтів (табл. 3).

Оскільки в такій задачі для отримання оптимальної суміші змінюваними величинами є маси інгредієнтів, що складають пасту, саме їх ми беремо як змінні моделі.

Паста з агрусу: X_1 – кропива, X_2 – крохмаль, X_3 – цукор, X_4 – агрус.

На область визначення описаних змінних накладаються обмеження відповідно до вимог за органолептичними показниками (табл. 1) відповідно до табл. 3.

- 1) $0,8 \leq X_1 \leq 2,4$ (колір за вмістом кропиви)
- 2) $2,4 \leq X_2 \leq 4$ (консистенція за вмістом крохмалю)
- 3) $10 \leq X_3 \leq 20$ (смак за вмістом цукру)

4) $73,2 \leq X_4 \leq 86,8$ (смак, колір за вмістом агрусу)

5) $73,2 \leq (X_1C_1 + X_2C_2 + X_3C_3 + X_4C_4) / 100 \leq 86,8$ (консистенція за вмістом сухих речовин), де C_i – відсотковий вміст сухих речовин, рівний 100%-вода (табл. 2).

Обмеження в кінцевому вигляді має вигляд:

$$73,2 \leq 92,5X_1 + 80X_2 + 99,86X_3 + 15,1X_4 \leq 86,8$$

$$6) X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 100 \text{ (загальна маса суміші).}$$

Метою задачі є одержання суміші, яка максимально задовольняє вимогам за вмістом мікроелементів і вітамінів (тобто вміст й пастах вітамінів і мікроелементів повинен прагнути до норми – табл. 2) під час вищеписаних обмежень шляхом комбінування маси інгредієнтів. Іншими словами, необхідно мінімізувати різницю між значенням функції при такому опорному плані й ідеальним (нормативним) значенням. Критеріями тут є вміст

Таблиця 2

Вміст харчових речовин в інгредієнтах пасти

Харчові речовини	Інгредієнти					Норма на 1 000 ккал, мг	
	Кропива 100 г	Крохмаль 100 г	Кислота лимонна 100 г	Цукор 100 г	Агрus 100 г		
Вода, %	7,5	20	3	0,14	84,9		
Клітковина, %	18	-	-	-	1,8	3,4	
Пектини, %	-	-	-	-	0,99	5,1	
Мінеральні речовини, мг	Na	362	6	-	1	23	1785
	K	6520	15	-	3	260	1 338,5
	Ca	500	40	-	2	22	321
	Mg	301	-	-	-	9	142,5
	P	1 086	77	-	-	28	446
	Fe	40	-	-	0,3	1,6	5,3
Вітаміни, мг	B ₁	0,68	-	-	-	0,01	0,7
	B ₂	0,77	-	-	-	0,02	0,8
	PP	2	-	-	-	0,25	6
	C	250	-	-	-	35,7	20
	Каротин	75	-	-	-	0,2	1,8
Хлорофіл, мг	2	-	-	-	3,7		
Крохмаль, %		79,6					
Енергетична цінність, ккал / 100 г	274	327	-	374	41,1		

Таблиця 3

Шкала оцінок за органолептичними показниками пасти з агрусу

Органолептичний показник	Інгредієнт, що впливає на значення показника	Вміст інгредієнта в пасті, %	Значення органолептичного показника
Смак	Цукор – X ₃	0...5	Не солодкий
		5...10	Слабо солодкий
		10...20	Кисло-солодкий
		Понад 20	Солодкий
	Агрus – X ₄	73,2...86,8	Кисло-солодкий
Колір	Кропива – X ₁	0...0,5	Сірий
		0,5...0,8	Світло-зелений
		0,8...2,4	Зелений
		Понад 2,4	Дуже зелений
	Агрus – X ₄	73,2...86,8	Зелений
Консистенція	Сухі речовини	25...30	Пастоподібна
	Крохмаль – X ₂	0...1,0	Рідка
		1...2,4	Пюреподібна
		2,4...4,0	Пастоподібна
		Понад 4,0	Дуже густа

у суміші мінеральних речовин і вітамінів, клітковини й пектинів.

Загальна цільова функція по всіх критеріях (мінеральним речовинам і вітамінам) має вигляд:

$$Z_{\text{обше}} = \sum_{i=1}^m (Z^i_{\text{фактич}} - Z^i_{\text{ідеальн}})^2 \quad (1)$$

де $Z^i_{\text{фактич}}$ – вміст в пасті і-ї мінеральної речовини / вітаміну для такого вектора $\bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ (n – кількість інгредієнтів в пасті);

$Z^i_{\text{ідеальн}}$ – нормативне значення і-го критерію (табл. 2), перелічене на фактичне (для даного вектора \bar{X}) число ккал;

m – число критеріїв (мінеральних речовин і вітамінів).

Різниця фактичного й ідеального значень зведена у квадрат для того, щоб у випадку $Z_{\text{фактич}} < Z_{\text{ідеальн}}$ не одержати негативне значення цільової функції.

Складемо частинні фактичні цілі за кожним критерієм відповідно до таблиці 2.

Оскільки нормативні значення задані з розрахунку на 1 000 ккал, для упорядкування загальної мети необхідно перерахувати норму з розрахунку на фактичне число ккал.

Для даного вектора X число ккал для пасти з агрусу дорівнює:

$$0,274x_1 + 0,327x_2 + 0,374x_3 + 0,0411x_4.$$

Позначимо відношення:

$$V_i = (0,274x_1 + 0,327x_2 + 0,374x_3 + 0,0411x_4) / 1000,$$

$$\text{Тоді } Z_{\text{ідеальн}(i)} = V_i \times K_{(i)}, \quad (2)$$

де $K_{(i)}$ – нормативне значення і-го критерію (норма з табл. 2).

Таким чином, після проведених математичних операцій, відповідно до вищеописаного, загальна цільова функція приймає наступний вигляд:

$$\begin{aligned} Z_{\text{ціль}} = & (0,8 \cdot x_1 + 0,0187 \cdot x_4 - V_1 \cdot 3,4)^2 + (0,0099 \cdot x_4 - V_1 \cdot 5,1)^2 + \\ & (0,362 \cdot x_1 + 0,006 \cdot x_2 + 0,001 \cdot x_3 + 0,0023 \cdot x_4 - V_1 \cdot 1,785)^2 + \\ & (6,5 \cdot x_1 + 0,015 \cdot x_2 + 0,003 \cdot x_3 + 0,0003 \cdot x_4 - V_1 \cdot 1,3385)^2 + \\ & (0,5 \cdot x_1 + 0,0002 \cdot x_2 + 0,002 \cdot x_3 + 0,0022 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,321)^2 + \\ & (0,301 \cdot x_1 + 0,009 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,1425)^2 + \\ & (1,086 \cdot x_1 + 0,077 \cdot x_2 + 0,028 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,446)^2 + \\ & (0,0003 \cdot x_1 + 0,0003 \cdot x_3 + 0,0016 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,0053)^2 + \\ & (0,075 \cdot x_1 + 0,002 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,0018)^2 + \\ & (0,00068 \cdot x_1 + 0,00001 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,0007)^2 + \\ & (0,00077 \cdot x_1 + 0,00002 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,0008)^2 + \\ & (0,002 \cdot x_1 + 0,00025 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,006)^2 + \\ & (0,25 \cdot x_1 + 0,0357 \cdot x_4 - V_1 \cdot 0,020)^2 \end{aligned}$$

де

$$V_1 = (0,274X_1 + 0,327X_2 + 0,374X_3 + 0,0411X_4) / 1000,$$

Отримані результати оптимізованого складу пасти з агрусу за допомогою математичного моделювання наведені в таблиці 5.

У результаті розрахунків за математичною моделлю та проведених експериментальних досліджень установлені концентрації рецептурних компонентів пасти з агрусу оптимізованого складу: агрус – 73,6–86,8%, цукор – 10–20%, продукт, що містить крохмаль – 2,4–4,0%, кропивний напівфабрикат – 0,8–2,4%.

Висновки. У результаті аналізу умов застосування методів оптимізації для вирішення завдання розробки нової пасти з агрусу обрано метод Ньютона.

Таблиця 4

Частинні фактичні цілі за визначеними критеріями

Критерій	Паства з агрусу	
Клітковина	$0,18X_1 + 0,018X_4$	
Пектини	$0,0099X_4$	
Натрій	$0,362X_1 + 0,006X_2 + 0,001X_3 + 0,023X_4$	
Калій	$6,52X_1 + 0,015X_2 + 0,03X_3 + 0,26X_4$	
Кальцій	$0,5X_1 + 0,04X_2 + 0,002X_3 + 0,022X_4$	
Магній	$0,301X_1 + 0,009X_4$	
Фосфор	$1,086X_1 + 0,077X_2 + 0,028X_4$	
Залізо	$0,04X_1 + 0,0003X_3 + 0,0016X_4$	
Вітаміни	Каротин	$0,075X_1 + 0,002X_4$
	B_1	$0,00068X_1 + 0,00001X_4$
	B_2	$0,00077X_1 + 0,00002X_4$
	PP	$0,002X_1 + 0,00025X_4$
	C	$0,25X_1 + 0,0357X_4$
Загальна цільова функція $Z_{\text{фактич}}$		$9,31745x_1 + 0,138x_2 + 0,0063x_3 + 0,40768x_4$

Оптимізований склад пасти з агрусу

		Інгредієнти, г				Сума
		Кропива	Крохмаль	Цукор	Агрис	
Пасти з агрусу		2,4	4,1446	20	73,4554	99,9999
Клітковина		0,432	-	-	1,3222	1,7542
Пектини		-	-	-	0,7272	0,7272
Мінеральні речовини	Na	8,688	0,2487	0,2	16,8947	26,0314
	K	156,48	0,6217	0,6	190,9840	348,6857
	Ca	12,0	1,6579	0,4	16,1602	30,2180
	Mg	7,224	-	-	6,61098	13,8350
	P	26,064	3,1914	-	20,5675	49,8229
	Fe	0,96	-	0,06	1,1753	2,1953
Вітаміни	Каротин	1,8	-	-	0,1469	1,9469
	B ₁	0,0163	-	-	0,0073	0,02367
	B ₂	0,0185	-	-	0,0147	0,0332
	PP	0,048	-	-	0,1836	0,2316
	C	6,0	-	-	26,2236	32,2236
Енергетична цінність, ккал		6,576	13,5529	74,8	30,1902	125,1191

Здійснено загальну постановку задачі підбору композиції інгредієнтів для одержання паст із заданими органолептичними показниками (колір, смак, консистенція), побудовано цільову функцію за вмістом клітковини, пектину, мінеральних речовин і вітамінів і складено частинні фактичні цілі за кожним критерієм.

Шляхом математичного моделювання отримано результати оптимізованого складу пасти

з агрусу з урахуванням органолептичних показників, які максимально задовольняють вимогам по збалансованому складу мікроелементів, вітамінів, клітковини й пектину, й встановлено концентрації рецептурних компонентів оптимізованого складу: агрус – 73,6–86,8%, цукор – 10–20%, продукт, що містить крохмаль – 2,4–4,0%, кропивний напівфабрикат – 0,8–2,4%.

Список літератури:

1. Тележенко Л.Н. Научные основы сохранения биологически активных веществ в технологиях переработки фруктов и овощей : дисс. ... докт. техн. наук : 05.18.13. Одесса, 2004. 415 с.
2. Maeda Y. Recent Trends in Creation of New Foodstuffs. *Syokukhin-to-Naikhatsu: Up-to-date Food Process*. 1986. Vol. 21, № 7. P. 60–67.
3. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. Москва : Наука, 1976. 390 с.
4. Rambelison Z.J., Darmon N. and Ferguson E.L. Linear programming can help identify practical solutions to improve the nutritional quality of food aid. *Public Health Nutr.* 2008. № 11. P. 395–404.
5. Курицкий Б.Я. Оптимизация вокруг нас: Как математика помогает принимать решения. Выпуск 135. Изд. 2, доп. Москва : URSS., 2018. 152 с.
6. Briend A., Darmon N., Ferguson E. and Erhardt J.G. Linear programming: a mathematical tool for analyzing and optimizing children's diets during the complementary feeding period. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2003. № 36. P. 12–22.
7. Beasley J.E. OR-Notes: linear programming – sensitivity analysis – using Solver. *Brunel University London*. URL: http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/or/lpsens_solver.html.
8. Методы исследований и организация экспериментов / под ред. проф. К.П. Власова. Харьков : "Гуманитарный Центр", 2002. 256 с.
9. Валентас К.Дж., Ротштейн Э., Сингх Р.П. Пищевая инженерия : справочник с примерами расчетов / под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского ; пер. с англ. Санкт-Петербург : Профессия, 2004. 848 с.
10. Белінська С.М., Орлова Н.С., Краснощок В.Г. Моделювання рецептур багатоконпонентних овочевих напівфабрикатів. *Товари і ринки*. 2008, № 1. С. 84–92.
11. Дзюба Н.А. Композиційне проектування полікомпонентних мусів біопротекторної дії. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2019. Том 30 (69). Ч. 2. № 5. С. 86–92.

Dubinina A.A., Seliutina H.A., Shcherbakova T.V., Khatskevych Yu.M., Seliutin V.M. OPTIMIZATION OF PASTA COMPOSITION FROM VEGETABLE RAW BY MATHEMATICAL MODELING

The article is devoted to the problem and directions of expansion of the range of healthy food products, which are being solved today by optimization of prescription ingredients, which allows to obtain innovative food compositions with a given composition of consumption properties. Mathematical models of optimizing their composition are increasingly used to expand the range of processed foods, which allows them to significantly and reasonably improve their quality. The analysis of the conditions of application of the methods allowed to solve the problem of optimizing the composition of the paste of a gooseberry to choose the Newton method, which uses second derivatives, which requires large calculations at each iteration, but the optimal solution is for fewer number of iterations than in the gradient methods in which the first derivatives are used. In order to develop a mathematical model for optimizing the composition of gooseberry paste, a general statement of the problem of selecting a composition of ingredients to obtain pastes with specified organoleptic parameters (color, taste, texture) was performed. A scale of organoleptic values for gooseberry paste has been developed depending on the different content of the ingredients. Variables and their limitations according to the requirements for organoleptic parameters are determined. The objective function was constructed according to all criteria (content of fiber, pectin, minerals (sodium, potassium, calcium, magnesium, phosphorus, iron) and vitamins (carotene, B₁, B₂, PP, C)) and partial actual goals were compiled according to each criterion. Using the program in Pascal 7.1 programming language. the method of solving the problem of nonlinear optimization is made. The results of the optimized composition of gooseberry paste with the help of organoleptic parameters, which maximally satisfies the requirements for the balanced composition of trace elements, vitamins, fiber and pectin, were obtained by mathematical modeling and the concentrations of the prescription components of the optimized composition were determined: gooseberry – 73,6–86,8%, sugar – 10–20%, the product containing starch – 2,4–4,0%, nettle semi-finished product – 0,8–2,4%.

Key words: *gooseberry paste, optimized composition, mathematical and computer simulation.*

УДК 644.312.14

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/20>**Єфімова В.Г.**

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

Пилипенко Т.М.

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

РОЗРОБКА СКЛАДУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АНТИЦЕЛЮЛІТНОГО ЕМУЛЬСІЙНОГО КРЕМУ З КОФЕЇНОМ

Науково доведено, що натеper вживання кофеїну в косметичних засобах набуває широкого поширення. Зазвичай антицелюлітні засоби представлені у вигляді емульсії, що є сумішшю двох обмежено розчинних рідин, таких, як вода й масло, які стабілізовані за допомогою емульгаторів різної природи.

Косметичні лікувальні антицелюлітні засоби, в складі яких є активний інгредієнт, такий, як кофеїн, зазвичай випускають у формі емульсії. Натеper вони використовуються в основному в засобах для масажу, шляхом якого частинки кофеїну потрапляють у глибокі шари шкіри й руйнують жирові клітини.

Емульгатори й соемульгатори, як містяться в готовій емульсії, можуть підсилювати ефект проникнення активних речовин у шкіру, тим самим стимулюючи розщеплення жирових клітин і покращення зовнішнього вигляду шкіри без додаткового масажу.

Отже, у роботі розглядається розробка емульсійного антицелюлітного лікувального засобу для тіла, де активною речовиною є кофеїн, і перевірка виготовленого косметичного засобу за фізико-хімічними властивостями, такими, як органолептичні показники, колоїдна й термічна стабільність, а також розмір часток дисперсійної фази.

Усі складові частини емульсійного лікувального антицелюлітного засобу були представлені натуральними природними компонентами. Співвідношення компонентів розробленої емульсійної композиції ґрунтувалися на літературних джерелах і власному досвіді.

Результати досліджень показали, що рецептури антицелюлітних лікувальних емульсійних кремів, які були розроблені, виявляють властивості подібні або навіть кращі в порівнянні з комерційною рецептурою. Усі оригінальні лікувально-косметичні засоби для тіла були стабільними, мали в'язкість і показник рН у стандартних межах, а рівень зволоження шкіри після застосування оригінальної косметики був вищим щодо зони контролю. Крім того, було встановлено, що введення кофеїну до рецептур приводить до незначного зниження значень рН. Отже, результати фізико-хімічних досліджень довели, що кофеїн може з успіхом використовуватись в антицелюлітних лікувальних засобах для тіла.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, емульгатор, емульсійний косметичний продукт, емульсія, антицелюлітний лікувальний емульсійний крем.

Постановка проблеми. Поняття cellulite вперше з'явилося в США у 1973 р після того, як власниця крупного нью-йоркського салону краси Ніколь Ронсар опублікувала в журналі Vogue статтю під назвою «Целюліт» [1]. Целюліт (ліпогіноїдна дистрофія) – це поширена косметологічна проблема. До 90% жінок, які старше ніж 20 років страждають від цього косметичного недоліку. Це стан шкіри, за якого в структурній її будові та підшкірно-жирової клітковині відбуваються дегенеративно-дистрофічні процеси, а саме нерівномірне відкладення жирових включень, що утворює горби і ямки. При цьому целюліт це не захворювання, а стан шкіри.

Для лікування такого косметичного недоліку використовують багато методів. Один з таких методів є застосування емульсійних косметичних продуктів з натуральними компонентами та екстрактами цілющих трав.

Спроможність активних речовин з косметичних засобів чи фармацевтичних препаратів впливати на метаболізм клітин та інші процеси, що відбуваються у шкірі, в значній степені залежить від спроможності їх молекул проникати крізь шкірний бар'єр. Літературні дані свідчать [2], що проникнення кофеїну через шкірний бар'єр не залежить від товщини шкіри і становить 2,24-1,43 мг/см²/г, а максимальне поглинання досяга-

ється через 100 хв після місцевого застосування. Отже розробка складу емульсійного лікувального антицелюлітного косметичного засобу з використанням природних компонентів та кофеїну є актуальним напрямком дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна маса досліджень, що присвячені створенню лікувальних антицелюлітних емульсійних косметичних засобів, показала, що основні роботи були присвячені дослідженню впливу кофеїну на стан шкіри та зменшення проявів целюліту [3-5].

За даними наукових досліджень [6] можна зробити висновок, що використання натуральних рослинних компонентів у виробництві лікувальних антицелюлітних косметичних засобів є пріоритетним напрямком дослідження емульсійних косметичних продуктів. Вони є універсальними засобами для догляду за шкірою, оскільки спроможні проникати у глибокі шари та сприяти розщепленню жирових клітин, при цьому в їх складі не містяться штучні речовини та барвники. Дослідження [7] свідчать, що використання кофеїну у складі лікувального антицелюлітного засобу має задовільні практичні результати та перспективу створення нових косметичних продуктів для широкого кола користувачів, що сприяють усуненню прояву целюліту на основі натуральної рослинної сировини. При цьому у сучасній літературі відсутні дані щодо дослідження фізико-хімічних характеристик емульсійних продуктів, які містять кофеїн.

Постановка завдання. Метою наших досліджень було розроблення складу лікувального антицелюлітного емульсійного косметичного засобу на основі натуральних природних компонентів. Для цього нами було проведено:

- 1) аналіз та підбір складу натуральних косметичних інгредієнтів, які використовуються у виробництві емульсійних косметичних продуктів;
- 2) розробка складу та отримання лікувального антицелюлітного емульсійного засобу;
- 3) дослідження фізико-хімічних властивостей готового емульсійного продукту за стандартними методиками.

Виклад основного матеріалу досліджень. Відомо, що в емульсіях типу масло-вода вміст фази масла становить від 10 до 35%. В цій системі вода є дисперсійним середовищем, а масло – дисперсійною фазою, при цьому вони не жирні і легко всмоктуються шкірою. Отже таким емульсіям надається перевага при створенні емульсійних кремів та лосьйонів. В якості солубілізатора

та диспергатора використовуються емульгатори, які являють собою поверхнево-активні речовини. За їх допомогою можна отримати однорідну гомогенну суміш олій та восків з водою.

На світовому ринку емульгатори представлені великою кількістю речовин. При розробці складу емульсії основною метою є підбір емульгатора чи їх суміші.

Більшість емульгаторів, які використовуються у косметичній та лікувальній промисловості, характеризуються за системою гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ). В цій системі кожна поверхнево-активна речовина с визначеним числом ГЛБ використовується для емульгування фази масла, що має ГЛБ необхідне для створення стабільної емульсії. Для отримання емульсії типу масло – вода необхідно, щоб ГЛБ було у межах 8-18.

Відомо, що найбільш стабільні системи можна отримати якщо використовувати суміш емульгаторів, де одна частина має ліпофільні, а інша – гідрофільні характеристики.

Розрахунок необхідного $ГЛБ_{(емульгаторів)}$ суміші емульгаторів можна виконати за допомогою рівняння:

$$ГЛБ_{(емульгаторів)} = A \cdot x + B \cdot (1 - x), \quad (1)$$

де A – значення ГЛБ першого емульгатора; B – значення ГЛБ другого емульгатора; x – доля в суміші першого емульгатора, $(1-x)$ – доля в суміші другого емульгатора.

Для кожного компонента фази масла, що емульгується існує оптимальне значення ГЛБ емульгатора (суміші емульгаторів), так зване $ГЛБ_{(масла)}$. Його можна визначити, користуючись наступним рівнянням:

$$ГЛБ_{(масла)} = ГЛБ_1 \cdot w_1 + ГЛБ_2 \cdot w_2 + \dots + ГЛБ_n \cdot w_n, \quad (2)$$

$ГЛБ_1, ГЛБ_n$ – значення ГЛБ відповідного масла, w_1 та w_n – масова частка масла у фазі масла, доля 1.

До складу жирової фази ми обрали наступні компоненти:

1) Масло какао. В його склад входять ненасичені та насичені жирні кислоти (олеїнова, стеаринова, лауринова пальмітинова, лінолева та арахінова). Воно зволожує та живить, впливає на шкіру як ліфтинг, добре підтягує її та корегує об'єми, прискорює процес регенерації клітин, являється антиоксидантом;

2) Масло жожоба. Відрізняється високим вмістом вітаміну Е, що визначає його анти-

оксидантну, протизапальну, регенеруючу властивості і здатність до тривалого зберігання. Має у своєму складі білок, який нагадує за властивостями наш рідний колаген;

3) Масло Ши (або масло каріте). Має гарні зволожуючі властивості. В його склад входять тригліцериди, що сприяють зволоженню і захисту шкіри від несприятливих зовнішніх впливів, а також жирні кислоти необхідні для зволоження і збереження еластичності шкіри та надають регенеруючі властивості і стимулюють синтез колагену в шкірі. Останнє означає, що масло ши - незамінний засіб в боротьбі з целюлітом, оскільки саме наявність колагенових волокон і їх регулярне оновлення гарантують збереження пружності і гладкості нашої шкіри;

4) Сафлорова олія. Вміст лінолевої кислоти у цьому маслі перевершує всі відомі рослинні масла та допомагає при лікуванні ожиріння за рахунок регулювання обміну жирів. таке масло крім лінолевої кислоти містить багато інших корисних речовин. До них відносяться олеїнова, пальмітинова, стеаринова, арахідонова, миристинова кислоти, а також вітаміни К і Е та різні сполуки серотоніну;

5) Віск рози. Містить в своєму складі ефіри складних кислот та фітостероли. Стимулює процеси регенерації м'яких тканин, обумовлює неповторний аромат і свіжість, позитивно впливає на емоційний стан. Під його впливом поліпшуються кровообіг, мікроциркуляція в тканинах, трофічні, метаболічні та регенеративні процеси. Надає продукту густоту і щільність, а також екзотичний запах.

Значення ГЛБ відповідних компонентів жирової фази наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Склад масляної фази

Компоненти фази масла	ГЛБ масла	Масова частка у фазі масла, %	Масова частка в емульсії, %
Масло какао	6	9	3
Масло жожоба	6,5	20	7
Масло ши	8	28	10
Сафлорове масло	8	28	10
Віск рози	12	15	5

Для обраного складу жирової фази нами було визначено оптимальне значення ГЛБ з використанням рівняння (2), яке становить 8,12.

Отже далі для створення кремopodobної емульсії ми визначали ГЛБ суміші емульгаторів. У якості емульгаторів ми обрали наступні речовини:

1) Olivoil Avenate Emulsifier виробництва Італії. Натуральний емульгатор, що поєднує в собі всі переваги оливкового масла і пом'якшувальну властивість гідролізованого вівсяного білка. Емульсії на цьому компоненті мають ніжну текстуру, що не липне. ГЛБ = 12;

2) Emulpharma Ecotech виробництва Італії. Він отриманий з натурального кокосового масла, яке було етерифіковане полігліцеридами природного походження. Він має пом'якшувальну та зволожуючі властивості. З його використанням можна створювати широкий діапазон емульсій різної текучості. ГЛБ=8

Для отримання косметичного продукту нами був проведений розрахунок необхідного ГЛБ суміші емульгаторів для обраного складу жирової фази. Оскільки ГЛБ жирової фази становить 8,12, з використанням рівняння (1) нами було визначено співвідношення обраних емульгаторів.

Розрахунки показали, що в емульсійному косметичному продукті, який ми розробляли, вміст Olivoil Avenate Emulsifier становить 80%, а Emulpharma Ecotech – 20% відповідно.

У якості активної фази в наших дослідженнях ми обрали кофеїн. Структурна формула кофеїну наведена на рис. 1.

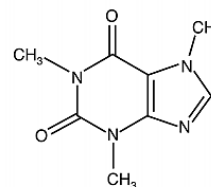


Рис. 1. Структурна формула кофеїну

Кофеїн зволожує шкіру, зменшує прошарок жиру, прискорює обіг лімфи, підвищує пружність та еластичність шкіри, сприяє виведенню надлишку рідини.

В якості водневої фази при розробці лікувального антицелюлітного емульсійного косметичного засобу ми обрали гідролат імбиру. Він нормалізує обмін речовин, підсилює кровообіг і лімфообіг в підшкірно-жирової клітковини, здатний допомагати відтоку зайвої рідини і виводити токсини, активізує розщеплення жирів і розсмоктування запалених жирових вузликів, прискорює втрату зайвої ваги.

В результаті проведених досліджень нами було розроблено рецептуру лікувального антицелюлітного емульсійного косметичного засобу, склад якого наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Склад лікувального антицелюлітного емульсійного косметичного засобу

Назва інгредієнту	Вміст інгредієнту, мас.%
Воднева фаза	
Гідролат імбиру	44
Жирова фаза	
Olivoil Avenate	8
Emulpharma Ecotech	2
Масло какао	3
Масло жожоба	7
Масло ши	10
Сафлорове масло	10
Віск рози	5
Активна фаза	
Кофеїн	10
Фенілетиловий спирт	1

Іноді комбінація емульгаторів з теоретично розрахованими значеннями ГЛБ може не утворювати оптимальну комбінацію, а тим самим не створювати стабільну рецептуру. В цьому випадку найкращий спосіб визначення співвідношення емульгаторів це експеримент.

Тому для підтвердження теоретичних розрахунків нами було виготовлено дослідний зразок лікувального антицелюлітного емульсійного косметичного засобу.

Емульсійний косметичний засіб отримували наступним чином:

- 1) зважували компоненти жирової фази;
- 2) зважували компоненти водневої фази;
- 3) нагрівали окремо двох фаз до температури 75°C;
- 4) водневу фазу додавали до масляної і диспергували на протязі 2 хвилин на гомогенізаторі за частотою обертання 4000 об/хв;

- 5) після охолодження емульсії до температури 35- 45 °С в неї вводили кофеїн та фенілетиловий спирт у якості консерванту та ароматизатору.

Далі косметичний емульсійний продукт було досліджено за органолептичними показниками (зовнішній вигляд, колір, консистенція, всмоктуваність шкірою), колоїдною стабільністю, визначено показник рН, термічну стабільність, а також проведено дисперсійний аналіз.

Зовнішній вигляд і колір емульсійного косметичного продукту визначали переглядом проби, поміщеної тонким, рівним шаром на предметне скло. Однорідність - відсутність грудок і крупинок - визначали на дотик легким розтиранням проби. Запах - органолептичним методом.

Для визначення колоїдної стабільності, емульсію, яку досліджували поміщали на 2/3 у дві пробірки та термостатували на протязі 20 хвилин за

температури 22-25°C. Далі пробірки поміщували у центрифугу на 5 хвилин при частоті обертів 6000 об/хв. Емульсія вважається стабільною, якщо після центрифугування в пробірці спостерігається виділення не більше ніж однієї краплі водної фази та не більше 0,5 см шару масляної.

Водневий показник визначали згідно з ГОСТ 29188.2. Для цього нами було приготовано розчин з 10% масовою часткою емульсійного косметичного продукту, який було розроблено. Цей розчин емульсії поміщували у стакан, додавали 90 см³ дистильованої води, нагрівали при перемішуванні до температури (80 ± 2)°С до повного руйнування емульсії (виділення масляного шару). Після цього охолоджували до (20 ± 2)°С та відокремлювали водний шар. Далі у склянку з водним шаром занурювали кінці електродів та проводили виміри. Значення рН знімали по шкалі приладу.

Для визначення термостабільності ми користувалися ГОСТ 29188.3-91. Такий метод можна застосовувати для оцінки якості що випускаються кремів, а також при створенні нових рецептур.

Для цього ми взяли 5 пробірок ємністю 25см³ та заповнили їх по 10 мл емульсійним косметичним продуктом, який розробили. Далі помістили їх у термостат з температурою 40-45° С на 7 діб. Потім ці зразки перенесли на 7 діб в холодильник з температурою 10-12°C, після чого розроблений емульсійний косметичний продукт протягом 3 діб витримували за кімнатної температури. Стабільність визначали візуально: якщо в одній з пробірок не спостерігається розшарування крему, він вважається термостабільним.

При проведенні дисперсійного аналізу ми використовували мікроскопічний метод. Для полегшення аналізу ми розвели нашу емульсію дистильованою водою у співвідношенні 1: 300. Далі в камеру Горяєва з щільно притертими покривним склом вводили зразок емульсії і поміщали під об'єктивом мікроскопа.

Дані результатів досліджень лікувального антицелюлітного емульсійного косметичного продукту представлені в таблиці 3.

Отже, дані досліджень, що наведені у Таблиці 3 свідчать, що розроблений косметичний засіб відповідає вимогам ГОСТ 29189-91 «Креми косметичні» та може бути рекомендований для впровадження його у виробництво.

Висновки. В результаті проведених теоретичних досліджень та фізико-хімічних випробувань було розроблено рецептуру лікувального антицелюлітного емульсійного косметичного з додаванням кофеїну засобу, а саме:

**Органолептичні та фізико-хімічні показники лікувального
антицелюлітного емульсійного косметичного засобу**

Найменування показника	Значення
Зовнішній вигляд	Однорідна маса, що не містить сторонніх домішок
Колір	Світло жовтий, однорідний
Запах	Приємний
Колоїдна стабільність	Стабільний
Водневий показник рН	7,2
Термічна стабільність	Стабільний
Розмір частинок дисперсійної фази	0,2-0,4 мкм

1) показано, що використання кофеїну у антицелюлітних засобах є ефективним;

2) запропоновано, що у якості емульгаторів краще використовувати речовини природного походження такі як Olivoil Avenate Emulsifier та

Emulpharma Ecotech та визначено оптимальне значення ГЛБ масляної фази та емульгаторів;

3) фізико-хімічні дослідження показали, що розроблений косметичний продукт відповідає вимогам, які пред'являються до кремів.

Список літератури:

1. Abreu E., Moraes C. Comparative analysis of anti-cellulite market products containing vegetal cosmetic assets. *Journal of Dermatology & Cosmetology*. 2019. № 3 (1). P. 26–30.
2. Ngamdokma N., Waranuch N., Chootip K. Cellulite Reduction by Modified Thai Herbal Compresses. A Randomized Double-Blind Trial. *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*. 2018. № 23 (1–10). P. 35–42.
3. Al-Bader T., Byrne A., Gillbro J., Effect of cosmetic ingredients as anticellulite agents: synergistic action of actives with in vitro and in vivo efficacy. *Journal of Dermatology & Cosmetology*. 2012. № 11. P. 17–26.
4. Trauer S., Lademann J., Knorr F., Richter H., Liebsch M., Rozycki C., Balizs G., Büttemeyer R., Linscheid M., Patzelt A. Development of an in vitro modified skin absorption test for the investigation of the follicular penetration pathway of caffeine. *Skin Pharmacol Physiol*. 2010. № 23 (6). P. 67–81.
5. David R., Paula R., Schneider A. Lipodistrofia ginóide: conceito, etiopatogenia e manejo nutricional. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 2011. № 3. P. 202–206.
6. Turati F., Pelucchi C., Marzatico F. Efficacy of cosmetic products in cellulite reduction: systematic review and meta-analysis. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2014. № 28. P. 1–15.
7. Barel André O. Handbook of Cosmetic Science and Technology. Fourth Edition. France : Taylor & Francis, 2009. 600 p.

Yefimova V.G., Pilipenko T.M. DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION AND DETERMINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF ANTI-CELLULITE EMULSION CREAM WITH CAFÉ

It has been scientifically proven that caffeine consumption is currently widespread in cosmetics. Typically, anti-cellulite agents are presented in the form of an emulsion, which is a mixture of two finely soluble liquids such as water and oil, which are stabilized by emulsifiers of different nature.

Cosmetic anti-cellulite remedies, which include an active ingredient such as caffeine, are usually emulsified. Today, they are used mainly in massages, through which the particles of caffeine enter the deep layers of the skin and destroy fat cells.

Emulsifiers and co-emulsifiers contained in the finished emulsion can enhance the effect of penetration of the active substances into the skin, thereby stimulating the breakdown of fat cells and improving the appearance of the skin without additional massage.

Therefore, this paper discusses the development of an emulsion anti-cellulite body remedy, where caffeine was the active substance, and a test of the cosmetic product made using physicochemical properties such as emulsion stability, viscosity and hydrogen pH and skin moisture level.

All components of the emulsion therapeutic anti-cellulite agent were represented by natural components. The ratio of components of the developed emulsion composition was based on literary sources and own experience.

Research results have shown that formulations of anti-cellulite therapeutic emulsion creams that have been developed show properties similar or even better than commercial formulations. All original body treatments were stable, had a viscosity and pH within standard limits, and the level of skin moisturization was higher after applying the original cosmetics control zone. It has also been found that caffeine intake to the formulations leads to a slight decrease in pH. Therefore, the results of physicochemical studies have shown that caffeine can be successfully used in anti-cellulite treatments for the body.

Key words: surfactants, emulsifier, emulsion cosmetic product, emulsion, anti-cellulite therapeutic emulsion cream.

УДК 664.68

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/21>

Ищук Т.В.

Волинський коледж
Національного університету харчових технологій

Кременець Т.В.

Волинський коледж
Національного університету харчових технологій

Сидорук Ю.В.

Волинський коледж
Національного університету харчових технологій

Устименко І.М.

Національний університет харчових технологій

Михайленко В.М.

Національний університет харчових технологій

Дмитренко М.С.

Національний університет харчових технологій

Бережна Т.О.

Національний університет харчових технологій

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ – БРАУНІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Перспективним напрямом є виробництво харчової продукції спеціального призначення, яке спрямовано на профілактику та лікування аліментарно-залежних захворювань. У статті науково обґрунтовано доцільність впровадження інноваційних борошняних кондитерських виробів – брауні спеціального призначення зі зниженою енергетичною та підвищеною харчовою цінністю. В складі інноваційних брауні спеціального призначення доведено можливість заміни традиційно використовуваного борошна пшеничного вищого сорту на аглютеніві види сировини, такі як борошно волоського горіха, кедрового та фундукового.

Доведено, що використання борошна волоського горіха, кедрового та фундукового дозволяє отримати брауні спеціального призначення з краще вираженим смаком, присмаком, запахом і поліпшеною консистенцією за рахунок збільшення його об'єму. Встановлено, що використання борошна з волоського горіха, кедрового та фундукового дозволяє збільшити вміст мінеральних речовин, знизити енергетичну цінність з одночасним підвищенням харчової цінності вироблених аглютенівих виробів порівняно з брауні, виробленим за традиційною технологією. Досліджено, що кількість легкозасвоюваних вуглеводнів у брауні спеціального призначення порівняно з традиційним виробом не збільшується, що позитивно впливатиме для осіб, які страждають на проблеми з вагою тіла.

Встановлено, що у брауні спеціального призначення покращується показник пористості за рахунок додаткового використання в його складі крохмалю тапіоки. Розроблено рецептурні композиції нових видів інноваційних борошняних виробів і визначено особливості технологічних режимів їх виробництва. Основною перевагою наукового дослідження є розробка нових видів аглютенівих виробів, що дозволить використовувати його як спеціалізовану харчову продукцію при раціоні харчування для людей, хворих на целіакію.

Ключові слова: борошняні кондитерські вироби, аглютеніві вироби, брауні, борошно з волоського горіха, борошно фундукове, борошно кедрове, борошно пшеничне, харчова цінність.

Постановка проблеми. Борошняні кондитерські вироби (далі – БКВ) користуються попитом у споживачів, особливо ті, які виготовлені із додаванням шоколаду та какао-порошку [1, с. 159]. В той же час ці вироби характеризуються зазвичай низькою харчовою цінністю та високою калорійністю, що негативно впливає на дітей та осіб похилого віку, оскільки в какао-продуктах міститься речовина теобромін, яка безпосередньо впливає на нервову та серцево-судинну системи [2, с. 4; 3, с. 363, 365].

Одним із перспективних напрямів удосконалення БКВ є заміна какао-продуктів на сировину рослинного походження, зокрема аглютонову, яка підвищить харчову цінність готових виробів [4, с. 100–102]. Одним зі складників удосконалення рецептурних композицій і технологій БКВ є те, що в усьому світі проводяться дослідження щодо впливу глютену на організм людини. Глютен може викликати захворювання – целиацію, тому натеper розробляються рецептури БКВ, в яких традиційне пшеничне борошно, що містить глютен, замінюють на аглютонову сировину [5, с. 8; 6, с. 281].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковому світі актуальна тема безглютеинових харчових продуктів активно вивчається вітчизняними та зарубіжними вченими, такими як В.В. Дорохович, Н.П. Лазоренко, Е.К. Arendt, М. DebMandal, А. Gania, А. Ganib, S. Mandal, F.A. Masoodia, F. Naqash, T. Trinidad, D.H. Valdez та інші [7–11]. Науковці висвітлюють основні проблеми та технологічні рішення щодо повної заміни глютенівмісного борошна на аглютонову сировину у складі інноваційних БКВ.

В Україні традиційні використовувані види борошна, вироблені з пшениці, жита та вівса, є джерелом глютену. Повна заміна глютенівмісної сировини дозволить отримати БКВ лікувального та профілактичного характеру для людей, хворих на целиацію, та розширить асортимент харчових продуктів для певної групи населення [11, с. 553; 12, с. 12].

Доведено вплив безглютеинового рисового та гречаного борошна на структурно-механічні властивості тіста та вироблених із нього кексів, бісквітів і мафінів. Проте в разі повної заміни пшеничного борошна на рисове немає можливості отримати безглютеинові БКВ із нормативними органолептичними та структурно-механічними показниками якості. Проведені комплекси досліджень свідчать про доцільність зменшення вмісту сухих речовин борошна рисового на 10% відносно пшеничного та збільшення в складі БКВ

вмісту пластифікаторів, таких як меланжу, маргарину тощо [12, с. 12; 13, с. 210].

Досліджено різні види БКВ із глютенем та без нього. В деяких випадках вироби, виготовлені з глютенівмісної сировини, характеризувалися вищими показниками якості порівняно з аглютеиновими виробами. Це пояснюється тим, що аглютеинові вироби, які не мають у своєму складі клейковини, мають незадовільні органолептичні показники якості за одночасною розсипчастою консистенцією [14, с. 7345, 7347]. Отже, використання аглютеинових видів сировини в технологіях БКВ є актуальною науково-технічною задачею.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження органолептичних та фізико-хімічних показників якості борошняних кондитерських виробів – брауні спеціального призначення з використанням аглютеинових видів сировини, а також визначення небезпечних точок контролю за системою НАССР і заходів щодо їх усунення.

Об'єктом дослідження є технологія борошняних кондитерських виробів.

Предметом дослідження є борошно пшеничне вищого гатунку, борошно з волоського горіха, кедрового та фундукового, крохмаль тапіоки, модельні зразки брауні спеціального призначення, їх органолептичні та фізико-хімічні показники якості.

Масову частку цукру в досліджуваних зразках було визначено рефрактометричним методом. В основу цього методу покладена залежність між показником заломлення розчину і концентрацією в ньому цукру. Для невеликих концентрацій (10-20%) встановлена лінійна залежність. Масову частку цукру визначали за формулою:

$$M = (a-b) \cdot 10000 \cdot K, \quad (1)$$

де a – показник заломлення розчину; b – показник заломлення води; K – коефіцієнт перерахунку показника заломлення на масову частку цукру в розчині, %; 10 000 – множник, який дозволяє отримати різницю $(a-b)$ у вигляді цілого числа.

Масову частку жиру в борошні з горіхів визначали екстракційно-ваговим методом. Суть методу полягає в екстракції жиру органічним розчинником у спеціальній ступці-екстракторі зі зневодненого зразка, видаленні розчинника і зважуванні отриманого жиру. Масову частку жиру визначали за формулою:

$$M = \frac{m * 50 * 10_0}{V_m} \cdot \frac{10_0}{100 - M_1}, \quad (2)$$

де m і mI – маса жиру в сухій речовині та наважки досліджуваного зразка, г; V – об’єм розчину, взятий для визначення жиру, см³; MI – масова частка вологи у зразку, %; 50 – об’єм розчинника, взятий для розчинення жиру, см³.

Виклад основного матеріалу дослідження. БКВ є улюбленими ласощами споживачів. Ці вироби належать до висококалорійних продуктів харчування, оскільки характеризуються високим вмістом жиру, вуглеводів і відносно низьким вмістом білків, харчових волокон, вітамінів і міне-

ральних речовин [9, с. 39]. Серед асортименту БКВ особливе місце належить виробам, у складі яких є шоколад або какао-порошок. Брауні – шоколадний БКВ у вигляді тістечка, торта, пирога або кексу з вологим м’якушем [15]. Рецептурний склад класичного брауні наведений у Табл. 1.

За попередніми дослідженнями встановлено можливість заміни борошна пшеничного вищого сорту на аглютеніві види борошна з волоського горіха, кедрового та фундукового, як структуроутворювач обрано крохмаль тапіоки. Обґрунту-

Таблиця 1

Рецептура брауні шоколадного

№	Сировина	Масова частка сухих речовин, %	Витрата сировини на порцію, г	
			в натурі	в сухих речовинах
1.	Масло вершкове	84,00	30,00	25,20
2.	Шоколад чорний 70%	99,80	50,00	49,90
3.	Цукор білий кристалічний	99,85	10,00	9,98
4.	Борошно пшеничне вищого сорту	85,50	15,00	12,80
5.	Какао-порошок	95,00	7,00	6,60
6.	Яйце куряче	27,00	20,00	5,40
	Всього	–	132,00	109,96

Таблиця 2

Обґрунтування вибору сировини для БКВ спеціального призначення

Сировина	Вид	Функціональний трансфер властивостей у рецептурній композиції	Технологічний трансфер властивостей у рецептурній композиції
Яйця курячі	Нативні	Структуроутворювач внаслідок денатурації, емульгуюча здатність	Формування текстури, підвищення харчової цінності
Борошно	Кедрове, з волоського горіха, фундука	Водопоглинальна здатність	Аглютенова сировина зі збалансованим жирнокислотним складом
Крохмаль і крохмалепродукти	Нативний тапіоковий	Регулювання консистенції, стабілізація структури та утворення каркасу виробу	Позитивний вплив на структурно-механічні властивості тіста та пористість виробу
Цукрозамінники	Фруктоза	Регулювання в’язкості тіста рецептурної композиції тіста і текстури виробу	Низький глікемічний індекс, рекомендована для вживання особам, хворим на цукровий діабет
Поверхнево-активні речовини	Соевий лецитин	Регулювання консистенції	Формування антиадгезійних властивостей тіста і пористості виробу
Жири харчові	Какао-масло (порошок)	Утворення білково-ліпідних комплексів системи, пластифікатор рецептурної композиції тіста	Стійкість до згіркнення, формування високодисперсних жирової і повітряної фаз
Смакові речовини	Кероб	Підвищення харчової цінності за рахунок наявності вітамінного та мінерального комплексів. Смако-ароматичні властивості та антиоксидантна активність	Органолептичні показники якості, формування та розширення асортименту БКВ

вання вибору сировини на властивості рецептурної композиції брауні спеціального призначення показано в Табл. 2.

Кількісне співвідношення запропонованих інгредієнтів було встановлено під час однофакторних досліджень, на підставі яких розроблено рецептуру брауні спеціального призначення (Табл. 3).

При дослідженні органолептичних показників якості встановлено, що контрольний зразок поступається зразку № 1 «Любчик» (з борошна волоського горіха), № 2 «Горішок» (з борошна кедрового горіха) та № 3 «Радість» (з борошна фундукового) (Рис. 1).

Отже, введення до рецептури запропонованих видів сировини дозволяє отримати вироби з поліпшеними органолептичними показниками якості, а саме з краще вираженим смаком, запахом і поліпшеною консистенцією за рахунок більшого об'єму виробу.

Харчова цінність характеризується хімічним складом харчового продукту з урахуванням вживання його у загальноприйнятій кількостях та

енергетичною цінністю. Вона визначається як ступінь задоволення потреби людини в основних харчових речовинах і енергії.

Критерієм оцінювання харчової цінності є вміст в 100 г харчового продукту білків, жирів і вуглеводів, вітамінів, макро- і мікроелементів, енергетична цінність (Табл. 4).

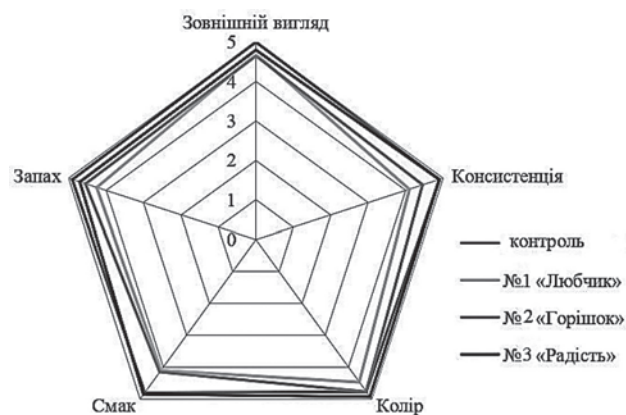


Рис. 1. Профілограми досліджуваних зразків брауні спеціального призначення

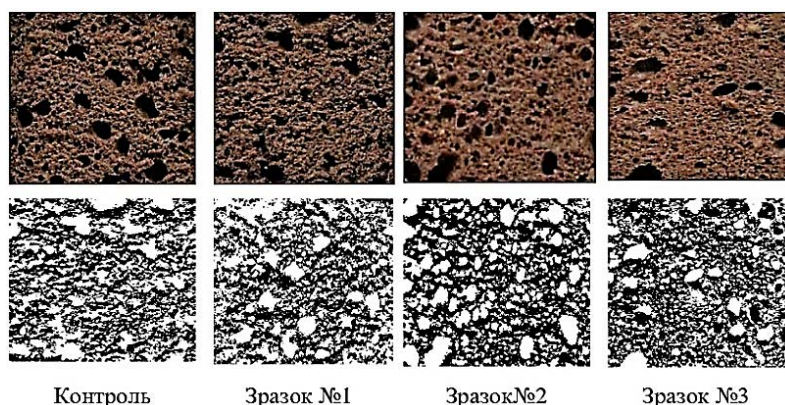


Рис. 2. Фотографії зрізу досліджуваних зразків брауні спеціального призначення

Таблиця 3

Рецептура безглютенових брауні спеціального призначення

№	Сировина	Масова частка сухих речовин, %	Витрата сировини на порцію, г	
			в натурі	в сухих речовинах
1.	Какао-масло (порошок)	98,00	13,00	12,74
2.	Кероб	99,80	20,00	19,96
3.	Лецитин	99,00	0,50	0,49
4.	Фруктоза	99,85	5,00	4,99
5.	Борошно горіхове	85,50	10,00	8,55
6.	Крохмаль тапіоки	89,10	5,00	4,45
7.	Яйце куряче	27,00	24,00	6,48
	Всього	-	77,05	57,66

З даних Табл. 4 вбачається, що енергетична цінність досліджуваних виробів зменшується порівняно з контролем. Харчова ж цінність інноваційних виробів збільшується за рахунок вмісту мінеральних речовин.

У досліджуваних зразках брауні визначено пористість методом цифрового оброблення зображення, оскільки визначення цього показника загальноприйнятим методом із використанням приладу Журавльова є цілком недоцільним через малий об'єм БКВ. Сутність методу цифрового оброблення зображення полягає в аналізі зображення зрізу м'якушки брауні шляхом сканування

з подальшим підрахунком темних областей [16]. Отримані фотографії зрізу досліджуваних зразків (Рис. 2) занесли в комп'ютерну програму "ImageJ" National Institutes of Health, яка прораховувала площі темних кіл. Результати дослідження пористості брауні спеціального призначення проілюстровано на Рис. 3.

Досліджено вміст легкозасвоюваних вуглеводів у вироблених брауні спеціального призначення (Рис. 4).

З рис. 4 вбачається, що використання борошна з горіхів у складі інноваційного виробу дозволяє знизити кількість вуглеводів. Борошно з горіхів

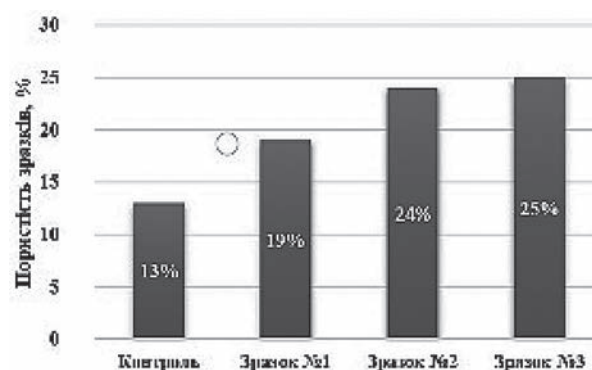


Рис. 3. Пористість брауні спеціального призначення

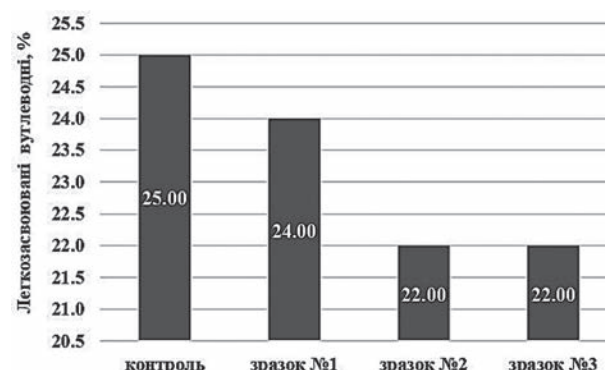


Рис. 4. Вміст легкозасвоюваних вуглеводів у брауні спеціального призначення

Таблиця 4

Харчова та енергетична цінності брауні спеціального призначення

Складник	Вміст, г/100 г БКВ, (d)			
	Контроль	Брауні «Любчик»	Брауні «Горішок»	Брауні «Радість»
Білки, в тому числі глютен	7,00 0,5	6,25 –	6,89 –	7,00 –
Жири	35	30	34	35
Вуглеводи	45	40	40	40
Мінеральні речовини, мг				
Залізо	1,17	3,61	3,06	3,10
Калій	387	400	401	400
Магній	0	56,40	55	50
Натрій	30,36	49,50	40,50	36,50
Цинк	0,60	0,75	0,75	0,75
Вітаміни, мкг				
Вітамін С	0,33	0,45	0,45	0,45
Вітамін Е	0,67	1,1	1,1	1,5
Вітамін К	0,00	1,45	1,35	1,30
Вітамін В ₂	0,36	0,50	0,50	0,50
Вітамін В ₅	0,44	0,50	0,55	0,50
Енергетична цінність, кКал	523	455	493,56	503

перевищує борошно пшеничне за вмістом жиру майже в 60 разів (Рис. 5), проте унікальність жирнокислотного складу цієї аглютенної сировини дозволяє отримати інноваційні брауні як вироби лікувально-профілактичного харчування.

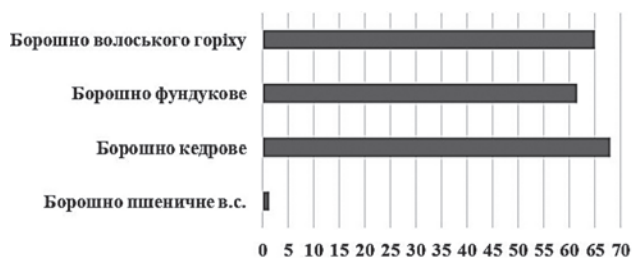


Рис. 5. Масова частка жиру в горіховому борошні

На етапі розробки технології їх виробництва враховували доброякісність і безпечність вхідної сировини, високі експлуатаційні характеристики обладнання, санітарно-гігієнічні норми та пра-

вила, професіоналізм персоналу, базуючись на мінімізації ризиків виникнення нестандартних ситуацій шляхом ідентифікації критичних точок контролю (далі – КТК). Результати наведено в Табл. 5 і 6.

Як вбачається з Табл. 5 та 6, для брауні спеціального призначення ККТ буде стадія випікання (виділено темним тлом), оскільки при недотриманні відповідного температурного режиму можливий розвиток мікроорганізмів і формування структури виробів з невідповідними показниками якості. Для зведення вказаних ризиків до мінімуму необхідно запроваджувати регламентування контролю температурних режимів на стадії випікання.

Висновки. На підставі узагальнення теоретичного матеріалу та експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність впровадження інноваційних борошняних кондитерських виробів – брауні спеціального призначення.

Таблиця 5

Ідентифікація небезпечних чинників у сировині та матеріалах, які використовуються при виробництві брауні спеціального призначення

Назва сировини чи матеріалу	Нормативний документ	Небезпечні чинники		
		Біологічні (Б)	Хімічні (Х)	Фізичні (Ф)
Сухі компоненти Какао-масло порошок Кероб Лецитин Фруктоза Борошно кедрове Крохмаль тапіоки	ДСТУ 5004:2008 ДСТУ 3924:2000 ДСТУ 2903:2005 ДСТУ 7183:2010 Сертифікат якості	БГКП; МАФМ; КУО; Дріжджі, пліснява; спори бактерій і грибів; екскременти	солі важких металів	шкідливі домішки
Яйцепродукти Яйце куряче	ДСТУ 4380:2005 ДСТУ 5028:2008	Плісені; спори бактерій і грибів, екскременти гризунів	окислені ліпіди	шкідливі домішки

Таблиця 6

Ідентифікація граничних значень КТК

Етап	Небезпечний чинник	Значимість, К	П1	П2	П3	П4	ККТ
Приймання	Б	0,6	Так	Ні	Так	Ні	
	Х	0,2	Так	Ні	Так	Ні	
	Ф	0,2	Так	Ні	Так	Ні	
Просіювання сипких компонентів	Ф	1,0	Так	Ні	Ні		
Підготовка яйцепродуктів	Б	0,8	Так	Ні	Ні	Ні	
	Х	0,2	Так	Ні	Так	Ні	
Розтоплення какао-масла, порошку	Ф	1,0	Так	Ні	Ні		
Заміс тіста	Б	0,8	Так	Ні	Ні		
	Ф	0,2	Ні	Ні	Ні		
Випікання	Ф	1,0	Так	Так			ККТ 1 Б
Реалізація	Б	0,8	Так	Ні	Ні		
	Ф	0,2	Так	Ні	Ні		

Встановлено знижену енергетичну цінність і підвищений вміст мінеральних речовин у брауні спеціального призначення; покращення пористості розроблених брауні за рахунок використання у їх складі крохмалю тапіоки. Розроблено рецеп-

туру нових видів брауні та визначено особливості технологічних схем їх виробництва.

Перспективою подальших досліджень є наукове обґрунтування та розробка технології брауні спеціального призначення з наповнювачами.

Список літератури:

1. Усик С.П. Маркетингові комунікації на ринку кондитерських виробів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2011. № 3. С. 158–165.
2. Медведєва А.О., Завадинська О.Ю., Михайлик В.С. Технологія шоколадних кексів з використанням фруктози та порошку з кербу. *Сборник научных трудов SWORD*. 2014. Том 11. С. 3–8.
3. Hoffenberg E.J. Atrial of oats in children with newly diagnosed celiac disease. *J. Pediatr*. 2000. Vol. 137. P. 361–366.
4. Naqash F., Ganib A. Gluten-free baking: Combating the challenges – A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. 66. P. 98–107.
5. Литинська Т.О. Целиакія: етіологія, патогенез, класифікація, клінічна картина, сучасні методи діагностики та лікування. *Український журнал. дерматології, венерології, косметології*. 2008. № 2. С. 7–10.
6. Мирошник Ю.А. Обґрунтування технології харчової продукції для людей, хворих на целиакію. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2012. Вип. 1. С. 279–283.
7. Дорохович В.В., Лазоренко Н.П. Безглютенові борошняні кондитерські вироби. *Обладнання та технології харчових виробництв : тем. зб. наук. пр.* 2013. № 30. С. 341–347.
8. Mandal S., DebMandal M. Coconut (Cocos nucifera L.: Arecaceae): In health promotion and disease prevention. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 2011. Vol. 4. Is. 3. P. 241–247.
9. Arendt E.K. Development of gluten-free cereal products. *Baking + biscuit*. 2009. Is. 1. P. 38–40.
10. Naqash F., Ganib A. Gluten-free baking: Combating the challenges – A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. 66. P. 98–107.
11. Valdez D.H., Trinidad T., Loyola A.S., Masa D.B. Glycaemic index of different coconut (Cocos nucifera)-flour products in normal and diabetic subjects. *British Journal Of Nutrition*. 2003. Vol. 90. P. 551–556.
12. Дорохович А.Н. Маффин – новый вид мучных кондитерских изделий на рынке Украины. *Продукты & ингредиенты*. 2009. № 10(63). С. 12–13.
13. Дітріх І.В. Розробка рецептури нового виду шоколадного брауні спеціального призначення. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24, № 1. С. 205–212.
14. Sujirtha N., Mahendran T. Use of Defatted Coconut Flour as a Source of Protein and Dietary Fibre in Wheat Biscuits. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2015. Vol. 4, Is. 8. P. 7344–7352.
15. McCarthy E. Who Invented the Brownie? *MentalFloss*. 2014 URL: <http://mentalfloss.com/article/60011/who-invented-brownie>.
16. Спосіб визначення пористості хлібобулочних виробів : пат. 112569 Україна: МПК G01N 15/08, A21D 13/00, № u201503268; заявл. 26.05.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24. 2 с.

Ishcyk T.V., Kremenets T.V., Sydoruk Y.V., Ustymenko I.M., Mykhailenko V.M., Dmytrenko M.S., Berezna T.O. QUALITY AND SAFETY INDICATORS OF FLOUR CONFECTIONERY – BROWNIE OF SPECIAL PURPOSE

The perspective direction is the production of special-purpose foodstuffs aimed at the prevention and treatment of alimentary-dependent diseases. The article substantiates the feasibility of introducing innovative flour confectionery a special purpose brownie with reduced energy and increased nutritional value. As part of innovative special-purpose brownie, the ability to replace traditionally used wheat flour of the highest grade with gluten-free raw materials such as walnut flour, cedar flour and hazelnut flour. It has been proven that the use of walnut, cedar and hazelnut flour makes it possible to obtain special-purpose brownie with a better taste, aroma and improved texture by increasing its volume.

It is established that the use of walnut, cedar and hazelnut flour can increase the mineral content, reduce energy value while increasing the nutritional value of gluten-free products compared with brownie made using traditional technology. It has been researched that the amount of easily digestible hydrocarbons in the special purpose brownie does not increase compared to the traditional product, which will have a positive effect on people suffering from bodyweight problems. It has been found that porosity is improved in the special purpose brownie by the additional use of tapioca starch in its composition.

The recipe compositions of new types of innovative flour products have been developed and the peculiarities of technological modes of their products have been determined. The main advantage of scientific research is the development of new types of gluten-free products, which will allow it to be used as specialized food in the diet for people with celiac disease.

Key words: flour confectionery, gluten-free products, brownie, walnut flour, hazelnut flour, cedar flour, wheat flour, nutritional value.

УДК 665.358

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/22>**Очеретна А.В.**

Національний університет харчових технологій

Фролова Н.Е.

Національний університет харчових технологій

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКООЛЕЇНОВИХ СОРТІВ ОЛІЇ СОНЯШНИКА У ПРОДУКТАХ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІЇ ДЛЯ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ

Досліджено жирно-кислотний склад соняшникової олії з різним вмістом олеїнової кислоти хроматографічним методом. Проведені дослідження жирно-кислотного складу показали, що зразки олії, а саме олія соняшникова нерафінована (контрольний зразок), олія соняшникова високоолеїнового типу компанії ООО «Біо Еспрі (Україна)» та високоолеїнова соняшникова олія холодного віджиму ТОВ «АВІС» містять насичені жирні кислоти, мононенасичені жирні кислоти та поліненасичені жирні кислоти. Встановлено, що однією з переваг високоолеїнової соняшникової олії холодного віджиму ТОВ «АВІС» є високий вміст олеїнової кислоти (77,91%). Зокрема, велика кількість лінолевої кислоти С18:2, яка належить до родини омега-6 поліненасичених жирних кислот, міститься в олії соняшниковій високоолеїновій першого холодного віджиму компанії ООО «Біо Еспрі (Україна)» та соняшниковій нерафінованій (контрольний зразок) і складає 67,97% і 62,59% відповідно. В олії ТОВ «АВІС» міститься 12,04% лінолевої кислоти.

Експериментально підтверджено показники якості рослинної сировини. В статті розглянуто проблеми якості харчових олій. Встановлено, що олії з високим вмістом олеїнової кислоти мають багато більшу стійкість до окиснення, ніж олії зі звичайним її вмістом. Досліджено чотири показники якості олії: кислотне, пероксидне, йодне та анізидинове числа. Встановлено, що олія соняшникова високоолеїнового типу ТОВ «АВІС» має найкращі показники кислотного та пероксидного числа порівняно з контрольним зразком, який складає 0,3 мг/КОН та 1,1 ммоль/кг відповідно. Показник йодного числа, що характеризує ненасиченість жирних кислот, які входять до складу олії, найбільший в олії соняшниковій високоолеїнового типу порівняно з контрольним зразком і складає 125% I₂.

Експериментально підтверджено, що інформативність основних фізико-хімічних показників зберігання якості олії залежала як від терміну її зберігання, так і від виду олії. У статті наведено переваги використання високоолеїнових сортів соняшникової олії у виробництві продуктів функціонального призначення. Проаналізовано роль жирних кислот у раціоні харчування людини. Описано значення поліненасичених жирних кислот для низки важливих фізіологічних функцій організму людини.

Ключові слова: високоолеїновий соняшник, олія соняшникова, хроматографія, якість, кислотне, пероксидне, анізидинове, йодне число.

Постановка проблеми. Натепер в Україні водночас із традиційним соняшником сільгоспвиробники збільшують вирощування високоолеїнового соняшнику, адже цей тип соняшнику має суттєві переваги [11, с. 1].

Високоолеїновий соняшник — це соняшник із вмістом в олії олеїнової кислоти ω-9 (мононенасичена жирна кислота) понад 82% і низьким вмістом лінолевої кислоти, ω-6 (поліненасичена жирна кислота). Такий тип соняшнику виведено традиційними методами селекції, і генетичний потенціал вмісту олеїнової кислоти в ньому є найвищим серед усіх олійних культур (до 95%). Олія, виготовлена з такого соняшнику, має безліч корисних властивостей і навіть може конкурувати з оливковою олією. До того ж у високоолеїновій олії міститься

дуже багато вітаміну Е (45 мг/100 г) і олеїнової кислоти ω-9 (понад 82%), які є необхідними для багатьох біохімічних процесів організму. Такий склад олії зумовлює її високі антиоксидантні властивості. Відомо, що значний вплив цих речовин на організм людини зміцнює імунітет, зменшує ризик виникнення ракових захворювань і хвороб серцево-судинної системи, які стали основною причиною смертності серед населення [3, с. 424].

Попит на високоолеїнову олію нині здебільшого формується країнами Євросоюзу. Не кожен українець як споживач обирає високоолеїнову олію, проте на столі в європейців вона — один із основних продуктів. Тому понад 90% високоолеїнової олії, яка виробляється в Україні, поки що відправляється на експорт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні останнім часом велика увага приділяється здоровому способу життя і правильному харчуванню. Багато досліджень вказують на те, що неправильне харчування є одним із факторів розвитку хронічних захворювань. Приблизно третю частину від загального раціону людини складають жири. За рекомендаціями американської Національної академії наук вміст жирів і олій у щоденному раціоні людини повинен складати 30% загальної калорійності [3, с. 11], при цьому кількість насичених жирів залежно від фізичної активності людини повинна складати 6-10% загальної калорійності раціону.

Жири – це основне джерело енергії для організму людини. Багато жирів можуть додаватися в продукцію під час виробництва, входити до складу харчового продукту. При цьому готова продукція має свої терміни зберігання, тому якість і безпека олій дуже важливі [6, с. 14].

В харчуванні важливого значення набуває не лише кількісний, але й якісний склад жирів, особливо вміст поліненасичених жирних кислот із визначеним розміщенням подвійних зв'язків і цис-конфігурацією. Серед продуктів харчування поліненасичені жирні кислоти містяться в рослинних оліях. Всі рослинні олії містять у своєму складі значну кількість поліненасичених жирних кислот ω -3 та ω -6, які є незамінними для людини, оскільки не синтезуються в організмі і повинні постійно надходити ззовні з продуктами харчування. ПНЖК виконують в організмі низку важливих фізіологічних функцій: забезпечують плинність біологічних мембран, впливають на їх проникність, рецепторні і міжклітинні взаємодії; беруть участь в обміні інших ліпідів, деяких вітамінів (тіаміну і піридоксину); модулюють функції імунної системи; незамінні ПНЖК необхідні для росту і правильного розвитку головного мозку, органів зору, статевих залоз, нирок, шкіри.

В науковій літературі велика увага приділяється співвідношенню омега-6 / омега-3 жирних кислот до раціону та мононенасичених жирних кислот до поліненасичених жирних кислот. Згідно з рекомендаціями дієтологів потреба організму людини в ПНЖК становить 11 г/добу, зокрема в ω -3 жирних кислотах – 1-3 г/добу, в ω -6 – не більше 10 г/добу, а в МНЖК – 30г/добу, при цьому повинно виконуватися співвідношення МНЖК:ПНЖК = 3:1 [4, с. 726]. Однак надмірне споживання будь-яких поліненасичених жирних кислот негативно впливає на окислювальні процеси в організмі, приводячи до накопичення продуктів перекисного

окислення ліпідів, тому використання в їжу поліненасичених жирних кислот вимагає адекватного збільшення надходження токоферолів, природних антиоксидантів, які захищають жирні кислоти від вільнорадикального окислення.

Однією з переваг високоолеїнової соняшникової олії холодного віджиму є високий вміст олеїнової кислоти, яка бере участь в регуляції обміну холестерину, сприяє підвищенню в крові рівня ліпопротеїдів високої щільності, які транспортують холестерин із тканин у печінку для утилізації. Високий вміст олеїнової кислоти в складі олії має позитивний вплив не тільки на обмін речовин, а й знижує рівень холестерину, запобігає серцево-судинним захворюванням.

При термічній обробці та гідролізації високоолеїнової олії утворюються переважно цис-ізмери, які зменшують вміст холестерину й канцерогенів. Вона має тривалий цикл використання в процесі смаження за високих температур, містить не більше 10% насичених жирів, що дуже важливо для харчової промисловості. Саме тому такі великі мережі індустрії швидкого харчування як McDonalds віддають перевагу високоолеїновій олії соняшнику при виробництві картоплі фрі. Експериментально встановлено, що олія соняшникова високоолеїнового типу має високий вміст олеїнової кислоти, завдяки чому вона є стійкою до процесів окиснення як при зберіганні, так і під впливом технологічних процесів [2, с. 23]. Термін зберігання високоолеїнової олії та її похідних (маргарину) в чотири рази довший, ніж у звичайної олії.

Соняшникова олія – багате джерело необхідних вітамінів, основні з них А, F і Е. Вона доступна для безпосереднього вживання в їжу, поставок у торговельну мережу та заклади ресторанного господарства, характеризується високою стійкістю до процесів окиснення під час зберігання.

Мета та завдання статті. Метою роботи було вивчити жирно-кислотний склад олії з високоолеїнових сортів соняшника та дослідити можливість її використання для виробництва продуктів функціональної дії.

Аналіз жирно-кислотного складу олії проводили методом газової хроматографії [7, с. 24] з використанням колонки HP-88 100 m*0.25 mm*0.20 μ m. Можливість використання олії для виробництва продуктів лікувально-профілактичної дії встановлювали шляхом проведення пробних лабораторних досліджень і вивчення зміни органолептичних показників у процесі зберігання. Для порівняння результатів дослідження поряд з олією високоолеїнового типу, яка була придбана на підприємстві

ТОВ «АВІС», використовували олію соняшникову за ДСТУ 4492:2005 та олію соняшникову високоолеїнового типу компанії ООО «Біо Еспрі (Україна)».

Виклад основного матеріалу дослідження. Високоолеїновий соняшник – це соняшник із вмістом в олії понад 82% олеїнової кислоти омега-9 (мононенасичена жирна кислота) і низьким вмістом лінолевої кислоти омега-6 (поліненасичена жирна кислота). Перевагою цього типу соняшнику є те, що високоолеїнові гібриди виведено традиційними методами селекції, а не зміною

генетичного коду, як у сої та ріпаку. Генетичний потенціал вмісту олеїнової кислоти в олії таких гібридів соняшнику є найвищим серед усіх олійних культур (до 95%). Зразок обраної олії досліджували на відповідність вимогам нормативних документів. Результати наведені в Таблиці 1.

Для об'єктивної оцінки перетворень, які відбуваються в оліях, автори вивчали такі фізико-хімічні показники: визначення кислотного [8], пероксидного [9], анізидінового [10] чисел і порівнювали отримані дані з нормативними показниками. Дані досліджень наведено в Таблиці 2.

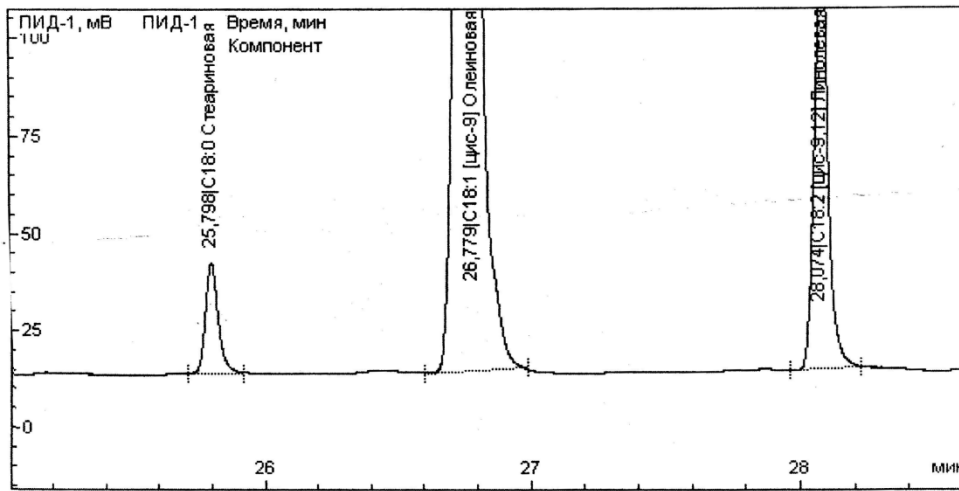


Рис. 1. Хроматограма олії соняшникової високоолеїнового типу ТОВ підприємства «АВІС»

Таблиця 1

Органолептичні показники досліджуваної олії

Показники	ДСТУ	Дослідні дані
Прозорість	допустима наявність «сітки» над осадом	прозора без осаду
Смак	притаманий олії соняшниковій без стороннього присмаку та гіркоти	притаманий олії соняшниковій без стороннього присмаку та гіркоти
Запах	приємний, притаманий олії соняшниковій	приємний, притаманий олії соняшниковій без стороннього запаху
Колір	Світло-жовтий	Світло-жовтий

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники олії

Показники	ДСТУ	Дослідні дані
Кислотне число	4,0	0,3
Пероксидне число, ½ О ммоль/кг, не більше ніж	норма до 10,0	1,1
Показники	ДСТУ	Дослідні дані
Анізидінове число, у.о.	не нормують	0,2
Йодне число, ЙЧ, % I ₂	119-144	125
Число омилення, мг КОН	183-196	184
Колірне число, мг йоду не більше ніж	25	20
Масова частка води, %	0,20	відсутня
Густина (15°C), г/с ³	0,920-0,927	0,915

Можна стверджувати, що олія торгової марки «АВІС», яка була придбана на підприємстві «АВІС», відповідає якості згідно з нормативним документом і може використовуватися в запланованих дослідженнях. Зразок олії аналізували на вміст жирних кислот методом газової хроматографії [7, с. 24] з використанням колонки HP-88 100 m*0.25 mm*0.20 µm.

На Рисунку 1 наведено хроматограму олії торгової марки «АВІС».

Ідентифікація компонентного складу олії соняшникової високоолеїнового типу ТОВ підприємства «АВІС» здійснювалася за відносним часом утримання (Таблиця 3).

У дослідному зразку олії соняшникової високоолеїнового типу ідентифіковано та кількісно проаналізовано 8 компонентів. Як видно з Таблиці 3, в олії переважають олеїнова (77,9%) та ліно-

лева кислоти (12%), порівняно незначна кількість насичених жирних кислот – пальмітинової і стеаринової.

Можна зробити висновок, що однією з переваг високоолеїнової соняшникової олії холодного віджиму ТОВ підприємства «АВІС» є високий вміст олеїнової кислоти (77,9%). Це позитивно впливає не тільки на обмін речовин, знижує рівень холестерину, але й запобігає серцево-судинним захворюванням.

Oleic acid (цис-9 октадеценова кислота) – це мононенасичена жирна кислота, яка завдяки цілющим властивостям корисна при дотриманні правил здорового харчування. Це своєрідний замітник тваринного жиру, який контролює в крові рівень корисного і шкідливого холестерину, стан судин, хімічний склад крові. Споживання продуктів, багатих омега-9, – це профілактика

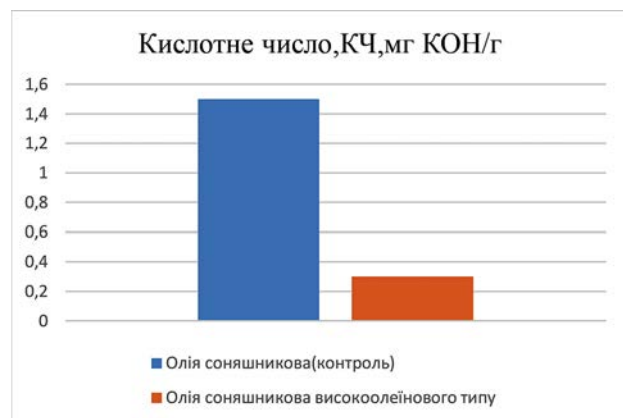


Рис. 2. Графік порівняння кислотного числа олій



Рис. 3. Графік порівняння пероксидного числа олій

Таблиця 3

Компонентний склад олії соняшникової високоолеїнового типу ТОВ підприємства «АВІС»

Час, хв	Компонент	Площа	Площа, %	Концентрація, %
22.501	C16:0 Пальмітинова	163.938	5.096	5.096
25.798	C18:0 Стеаринова	96.683	3.006	3.006
26.779	C18:1 [цис-9] Олеїнова	2506.101	77.907	77.907
Час, хв	Компонент	Площа	Площа, %	Концентрація, %
28.074	C18:2 [цис-9, 12] Лінолева	387.243	12.038	12.038
28.833	C20:0 Арахінова	7.206	0.224	0.224
29.715	C18:3 [цис-9, 12, 15] Ліноленова	8.735	0.272	0.272
31.690	C22:0 Бегенова	33.494	1.041	1.041
34.654	C24:0 Лігноцеринова	13.403	0.417	0.417

Розрахунок за групами

Група	Площа	Концентрація	Одиниця концентрації	Кількість компонентів
	3216.803	100	%	8

тромбозів, раку, діабету. Достатнє споживання корисних жирів, їх оптимальний баланс в організмі – невід’ємна умова повноцінного здоров’я.

Автори провели порівняння функціональності обраних олій із традиційною соняшниковою.

Кислотне число є одним із основних якісних показників, які характеризують ступінь свіжості жиру, та регламентується стандартами на всі види харчових жирів. В разі неправильного зберігання кількість вільних жирних кислот зростає і подальше їх окиснення призводить до появи дефектів смаку та запаху, а у разі більш глибоких процесів – до непридатності жиру для харчових цілей. Порівняння кислотного числа експериментальних олій із контрольним зразком зображено на Рисунку 2.

Отже, олія соняшникова високоолеїнова має найкращі показники кислотного числа порівняно з контрольним зразком.

Пероксидне число жиру та олій є показником вмісту первинних продуктів окиснення в жири

(пероксидів і гідрпероксидів). Більшість із цих речовин надають зіпсованим продуктам характерного смаку і запаху.

Отже, олія соняшникова високоолеїнового типу має найкращі показники ПЧ, що складає 1,1 ммоль/кг порівняно з контрольним зразком.

Анізідінове число є показником вмісту альдегідів у тваринних і рослинних жирах.

Порівнявши дані анізідінового числа, можна стверджувати, що найкращі показники має олія соняшникова високоолеїнового типу ТОВ «Авіс».

Слід зауважити, що згідно з нормативною документацією України для більшості олій і жирів анізідінове число не визначається, тому обмеження його величини не було визначено. В той же час в більшості країн Західної Європи і в Росії таке обмеження на величину анізідінового числа існує. Максимальне значення цього числа не перевищує 4 б.о., а для більшості твердих жирів з невеликим ступенем ненасиченості ця цифра не перевищує 3 б.о. [6].

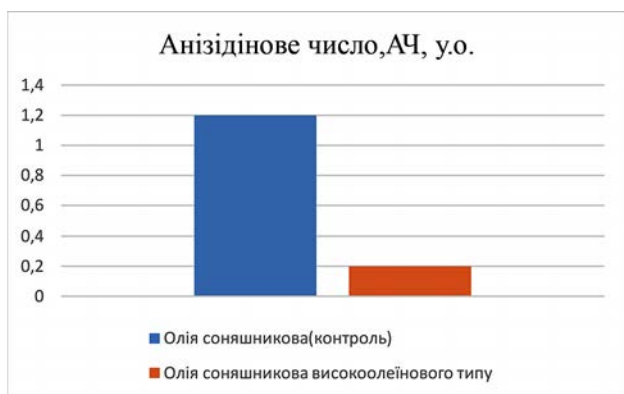


Рис. 4. Графік порівняння анізідінового числа олій

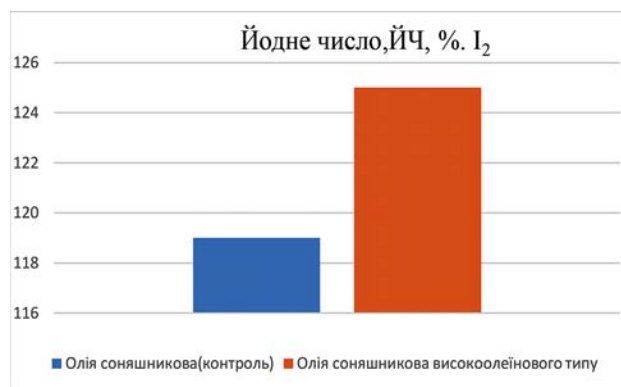


Рис. 5. Графік порівняння йодного числа олій

Таблиця 4

Жирнокислотний склад олій

Вміст жирних кислот, %	Назва олій		
	Олія соняшникова нерафінована (контроль)	Олія соняшникова високоолеїнова першого холодного віджиму ТОВ «АВІС»	Олія соняшникова високоолеїнова першого холодного віджиму компанії ООО «Біо Еспрі (Україна)»
C16:0 Пальмітинова	6,73	5,09	7,04
C18:0 Стеаринова	3,55	3,0	3,35
C18:1 Олеїнова	24,61	77,91	19,41
C18:2 Лінолева	62,59	12,04	67,97
C18:3 Ліноленова	0,10	0,41	-
C20:0 Арахінова	0,23	0,22	0,23
C20:1 Ейкозанова	0,17	0,21	0,19
C22:0 Бегенова	0,58	1,041	0,63
C22:2 Докозадієнова	-	-	0,24
C24:0 Лігноцеринова	-	0,417	-

Йодне число – це показник, який характеризує ненасиченість жирних кислот, що входять до складу олії. Чим більше в жирі міститься ненасичених жирних кислот, тим вищим є його йодне число. Рослинні олії внаслідок більшого вмісту ненасичених жирних кислот порівняно з тваринними жирами мають більш високі значення йодних чисел. Порівняльний аналіз йодного числа дослідних зразків олій зображено на Рисунку 5.

Йодне число використовують для визначення виду харчового жиру, його здатності до висихання. Зменшення йодного числа є показником псування жиру. Отже, з даних Рисунку 5 найбільший показник йодного числа спостерігався в олії соняшникової високоолеїнового типу порівняно з контрольним зразком.

Оскільки об'єктом дослідження були вибрані рослинні олії, тому доцільно провести порівняльний аналіз жирнокислотного складу рослинних олій. Порівняльний аналіз жирнокислотного складу олій наведено в Таблиці 4.

Результати дослідження жирнокислотного складу дослідних зразків олій показали, що його в основному представлено 8 жирними кислотами. Порівнявши дані Таблиці 4, а саме олії соняшникової високоолеїнового типу компанії ООО «Біо Еспрі (Україна)» та ТОВ підприємства «АВІС», можна зробити висновок, що однією з переваг високоолеїнової соняшникової олії холодного віджиму ТОВ «АВІС» є висо-

кий вміст олеїнової кислоти (77,91%). Зокрема, велика кількість лінолевої кислоти С18:2, яка належить до родини ω -6 поліненасичених жирних кислот, міститься в олії соняшниковій високоолеїнової першого холодного віджиму компанії ООО «Біо Еспрі (Україна)» та соняшниковій нерафінованій олії (контрольний зразок).

Висновки. Проведені дослідження жирнокислотного складу показали, що ці зразки олій містять НЖК, МНЖК і ПНЖК. В олії з нового гібриду соняшника ТОВ підприємства «АВІС» суттєво збільшений вміст олеїнової кислоти. Проведені дослідження фізико-хімічних показників свідчать про ступінь окиснення олії. Вони показали, що кращу стійкість до окиснення під час зберігання має олія з високим вмістом олеїнової кислоти ТОВ «АВІС».

Перевага високоолеїнової соняшникової полягає в тому, що в жодній із країн світу при його селекції не використовується ГМО, на відміну від сої та кукурудзи. Селекція високоолеїнової соняшникової (без ГМО) широко застосовується в Європі для виробництва здорових продуктів харчування.

Високоолеїнова соняшникової олія є стійкішою до впливу високих температур, витримує більшу кількість етапів смаження, що робить її оптимальною для використання у фритюрі. В харчовій промисловості високоолеїнову олію доцільно використовувати при виробництві харчових продуктів функціонального призначення.

Список літератури:

1. Барабай В.А. Перекисное окисление и стресс / В.А. Барабай, И.И. Брехман, В.Г. Голотин, Ю.В. Кудряшев. Наука, 1992. С. 148.
2. Діхтярь А.М. Технологія продукції із заварного тіста з використанням олії соняшникової високоолеїнової типу / А.М. Діхтярь. Харків, 2017. С. 23.
3. Зайцева Л.В. Роль жирних кислот в питанні человека и при производстве пищевых продуктов / Л.В. Зайцева // Масложировая промышленность, 2010. № 5. С. 11.
4. Martin-Moreno J.M. The role of olive oil in lowering cancer risk: Is this real gold or simply pinchbeck / J.M. Martin-Moreno // Epidemiologic and Community Health, 2000. Vol. 54. № 10. P. 726–727.
5. Подпрятков Г.І. Зберігання і переробка продукції рослинництва / Г.І. Подпрятков, Л.Ф. Скалецька, А.М. Сеньков, В.С. Хилевич. К. : Мета, 2002. 495 с.
6. Петік П.Ф. Теоретичні та експериментальні дослідження кінетики окиснення олій і жирів, розробка системи показників оцінки і методів визначення зі створення уніфікованої системи одиниць вимірювання / Науково-дослідна робота Українського науково-дослідного інституту олій та жирів (УкрНДІОЖ НААН) Національної Академії Аграрних Наук. Харків. 2019.
7. Фролова Н.Е. Застосування препаративної хроматографії для виділення монофракцій складних сумішей природного походження / Н.Е. Фролова, А.І. Українець, І.М. Силка // Технологічний аудит та резерви виробництва, 2016. № 2/4. С. 21–26.
8. ДСТУ 4350:2004 «Олії. Методи визначення кислотного числа».
9. ДСТУ 4570:2006 «Жири рослинні та олії. Метод визначення пероксидного числа».
10. ДСТУ ISO 6885-2002 «Жири та олії тваринні і рослинні. Визначення анізидинового числа».
11. Високоолеїновий соняшник. <https://www.syngenta.ua/news/sonyashnik/visokooleyinovy-sonyashnik>.

Ocheretna A.V., Frolova N.E. PROSPECTS OF USE OF HIGH-OLEIC SUNFLOWER OILS IN FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS

The fatty acid composition of sunflower oil with different oleic acid content was investigated by chromatographic method. Conducted studies of fatty acid composition showed that these samples of oils, namely: unrefined sunflower oil (control sample), oil of high-oleic type of LLC Bio, Ukraine and high-oleic sunflower oil of LLC AVIS contain saturated, monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids. It is established that one of the advantages of high-oleic cold-pressed sunflower oil of AVIS LLC is the high oleic acid content of 77.91%. In particular, a large amount of C18:2 linoleic acid, which belongs to the family of omega-6 polyunsaturated fatty acids, is contained in the oil of the high-oleic first cold pressed by Bio Espri, Ukraine and unrefined (control) sunflower oil, which is 67, 97% and 62.59% respectively. AVIS LLC oil contains 12.04% of linoleic acid.

Quality indicators of plant raw materials have been experimentally confirmed. The article deals with the problems of quality of edible oils. It is found that oils with a high content of oleic acid have a much greater resistance to oxidation than oils with its usual content. Four indicators of oil quality were investigated: acid, peroxide, iodine and anisidine numbers. It was established that the high-oleic-type sunflower oil of AVIS LLC has the best acid and peroxide values compared to the control sample of 0.3 mg/KOH and 1.1 mmol/kg, respectively. The iodine index characterizing the unsaturation of the fatty acids that are a part of the oil is the highest in the sunflower oil of high oleic type compared to the control sample and is 125% I₂.

It was experimentally confirmed that the informative content of the main physicochemical indicators of oil quality storage depended on both the shelf life and the type of oil. The article describes the advantages of using high-oleic sunflower oil varieties in the production of functional products. The role of fatty acids in the human diet is analyzed. The value of polyunsaturated fatty acids for a number of important physiological functions of the human body is described.

Key words: *high-oleic sunflower, sunflower oil, chromatography, quality, acid, peroxide, anisidine, iodine number.*

Паска М.З.

Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського

Маслійчук О.Б.

Львівський коледж м'ясної та молочної промисловості
Національного університету харчових технологій

ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЛЮПИНОВОГО БОРОШНА ТА ДИВОСИЛУ В КОНТЕКСТІ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

Функціонально-технологічні показники визначають «поведінку» сировини при переробці та характеризують її здатність зв'язувати й утримувати вологу та жир, утворювати стійкі емульсії, що забезпечує досягнення заданої структури, технологічних і споживчих властивостей готових виробів. З результатів досліджень рН встановлено, що рН люпинового борошна становить 5,6 одиниць, що на 0,8 менше, ніж для борошна обдирного пшеничного, рН дивосилу становить 5,8. Відповідно введення цих рослинних інгредієнтів не повинно змінити показник рН м'ясних фаршів.

Встановлено, що кращим показником ВЗЗ люпинового борошна є борошно, запарене за гідромодулем 1:2. Це зумовлено вищим вмістом білкових речовин у люпиновому борошні, які здатні зв'язувати більшу кількість води. При гідратації за гідромодуля 1:1 люпинове борошно зв'язувало всю додану воду, утворюючи в'язку суміш із грудочками сухого борошна. Дивосил має кращі показники за гідромодуля 1:1 і становить 99% при холодній гідратації та запарюванні.

Найвищу пластичність має люпинове борошно при холодній гідратації за гідромодуля 1:1 і становить 16,8 см²/г, що на 97% більше, ніж борошно обдирного пшеничного. Кращі показники пластичності дивосилу представлені в холодній гідратації за гідромодулем 1:2 (11,2 см²/г), що на 10% більше, ніж у запареному.

Враховуючи дані досліджень, встановлено, що люпинове борошно та дивосил мають кращі функціонально-технологічні показники, ніж обдирне пшеничне борошно. Загалом дослідження функціонально-технологічних властивостей рослинної сировини показують, що вони характеризуються високою вологозв'язувальною та вологоутримувальною здатністю та пластичністю.

Автори встановили, що чим менший розмір частинок борошна, тим більша їх питома поверхня і водопоглинальна здатність. Для пояснення цього факту було досліджено дисперсність дослідних зразків дивосилу, люпинового борошна й обдирного пшеничного борошна. При порівнянні цих розсівів було встановлено, що результати перебувають практично в одному діапазоні, що підтверджує їх високі функціонально-технологічні показники, доцільність і перспективність використання цієї рослинної сировини в технології м'ясних посічених напівфабрикатів.

Ключові слова: люпинове борошно, дивосил (оман високий), технологія, фарши, м'ясні посічені напівфабрикати, рослинна сировина.

Постановка проблеми. Інноваційний розвиток охоплює щоразу нові види економічної діяльності, а сутність інновацій розширюється від технологічних нововведень до нових ідей та пропозицій, які мають на меті кардинальне покращення якості життя населення [1, 3]. Підвищення якості товарів і послуг на сучасному етапі неодмінно означає гарантування їх максимальної безпечності для споживача. Зрозуміло, що у випадку нових для певного ринку товарів і послуг питання безпеки постає особливо гостро.

Одним із найважливіших питань, які потребують вирішення в галузі м'ясної промисловості,

є покращення якості продукції в умовах використання сировини, яка надходить на переробку із постійними змінами свого складу та властивостей. Застосування нових і використання вже відомих видів сировини, раціональне використання регіональної сировини в рецептурах м'ясних продуктів є важливим завданням у досягненні високої якості, харчової та біологічної цінності продукції [2]. Вирішення цього завдання можливе за рахунок науково-обґрунтованого комбінування м'ясної та рослинної сировини з високим вмістом білка, природних антиоксидантів і пребіотиків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Натепер для виробництва м'ясних фаршів із підвищеною біологічною активністю, дієтичного харчування, функціонального та лікувально-профілактичного призначення використовують різноманітні добавки як синтетичного, так і рослинного походження. Використання рослинної сировини має більший сенс, оскільки склад і властивості багатьох рослин відомі здавна. Рослини та їх частини використовували як наповнювачі при виготовленні чималої кількості як м'ясних страв, так і інших. Збалансовані продукти на м'ясній основі і напівфабрикати є перспективним джерелом збагачення раціонів споживачів необхідними білковими речовинами, макро- та мікроелементами [4].

Останнім часом у м'ясній промисловості спостерігається тенденція до створення і виробництва продуктів, в яких м'ясу сировину комбінують із білками рослинного і тваринного походження. Найчастіше використовують соєві білкові препарати. Вже розроблені модельні рецептури м'ясних посічених напівфабрикатів функціонального призначення виготовляють із використанням м'яса курчат бройлерів, білкової емульсії на основі білків свинячої шкурки та сухої молочної сироватки, клітковини пшеничної гідратованої, концентрату зеленої маси подорожника та двох видів модифікованих жирів рослинного походження [5].

Доцільним є внесення білково-жирових емульсій на основі купажованих жирів і тваринних білків як заміни частини основної м'ясної сировини. Використання купажованих жирів у технології м'ясних посічених напівфабрикатів дозволяє збагатити вироби лімітуючими жирними кислотами. Також м'ясні функціональні продукти представлені комбінаціями сировини з додаванням у рецептуру гідробіонтів і пшеничних зародків,

препаратів на основі топінамбура, кісточок винограду, колагену, овочевих мас, зернових і бобових культур. Вдосконалено технології м'ясних посічених напівфабрикатів гарбузовим насінням в якості рослинного наповнювача [6, 7, 11].

Правильне харчування забезпечує нормальний ріст і розвиток організму, визначає розумовий і фізичний розвиток, оптимальне функціонування всіх органів і систем, формування імунітету та адаптаційних резервів організму [8].

Проведений аналіз робіт показує сучасний стан розвитку додавання рослинної сировини до м'ясних фаршів. При цьому відсутні розробки щодо використання люпинового борошна та дивосилу, отже цей напрям є новим та актуальним у розробці сучасних технологій м'ясних посічених напівфабрикатів.

Постановка завдання. Мета роботи – вивчення функціонально-технологічних показників люпинового борошна та дивосилу в контексті виробництва м'ясних напівфабрикатів.

Для досягнення мети було передбачено вирішення таких завдань:

- 1) обґрунтувати доцільність використання люпинового борошна (ЛБ) та дивосилу в технології м'ясних посічених напівфабрикатів;
- 2) дослідити функціонально-технологічні показники люпину та дивосилу й уточнити технологічні режими їх виробництва;
- 3) встановити раціональні умови гідратації люпинового борошна та його вплив на зміни білкового складу.

Виклад основного матеріалу дослідження. У вирішенні проблеми дефіциту білка велику роль в якості сировини для його виробництва відіграють зернобобові культури, до яких належить горох, квасоля, люпин, кормові боби, сочевиця, нут, чина та інші. За хімічним складом і харчовою

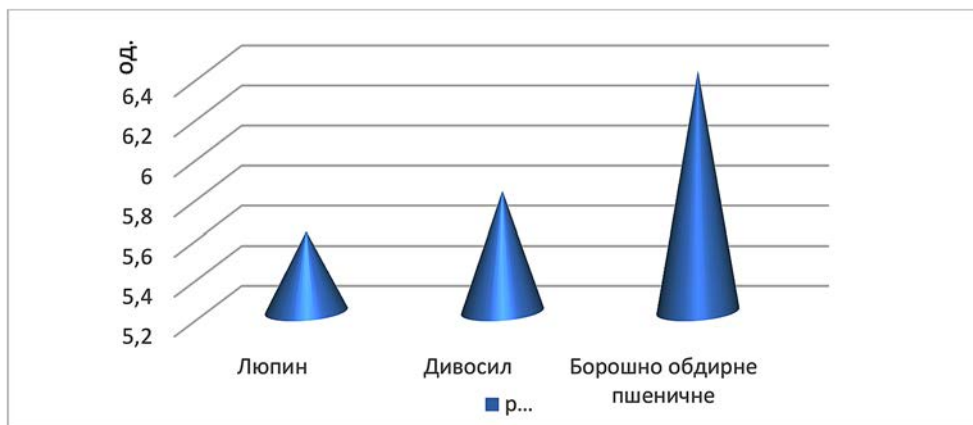


Рис. 1. Показник рН рослинної сировини

цінністю білки цих культур найбільш близькі до тваринних білків, м'яса, риби, а також молока. Серед значної кількості сировини рослинного походження, яка містить білок, особливе місце належить люпину.

Функціонально-технологічні показники визначають «поведінку» сировини при переробці та характеризують її здатність зв'язувати й утримувати вологу та жир, утворювати стійкі емульсії, що забезпечує досягнення заданої структури, технологічних і споживчих властивостей готових виробів. Автори вперше дослідили функціонально-технологічні властивості рослинної сировини, а саме рН (Рис. 1), ВЗЗ (Рис. 2), пластичність (Рис. 3), ВУЗ (Рис. 4) та характеристика масових співвідношень дисперсних часток дивосилу та люпину, їх порівняння з борошном обдирним пшеничним.

З результатів досліджень рН встановлено, що рН люпинового борошна становить 5,6 одиниць, що на 0,8 менше, ніж для борошна обдирного пшеничного, рН дивосилу становить 5,8. Відповідно введення цих рослинних інгредієнтів не повинно змінити показник рН м'ясних фаршів.

У процесі досліджень автори вивчали вологозв'язувальну здатність борошна при холодній гідратації і при запарюванні за гідромодулів води 1:1 та 1:2.

Досліджено, що ВЗЗ люпинового борошна запареного за гідромодулів 1:1 та 1:2 має вищі показники порівняно з борошном обдирним пшеничним на 1% та 6,5%; ЛБ холодного за гідромодулів 1:1 та 1:2 – 1% та 3%. Встановлено, що кращим показником ВЗЗ люпинового борошна

є борошно, запарене за гідромодулем 1:2. Це зумовлено вищим вмістом білкових речовин у люпиновому борошні, які здатні зв'язувати більшу кількість води. При гідратації за гідромодуля 1:1 люпинове борошно зв'язувало всю додану воду, утворюючи в'язку суміш із грудочками сухого борошна. Дивосил має кращі показники за гідромодуля 1:1 і становить 99% при холодній гідратації та запарюванні.

Показник пластичності обернено залежить від дисперсності сировини: чим менша крупність частинок сировини, тим вища ВЗЗ і міцність структури, знижується пластичність. Результати досліджень представлені на Рис. 3.6.

Пластичність люпинового борошна має вищі показники відносно борошна обдирного пшеничного. При запарюванні за гідромодуля 1:2 пластичність люпинового борошна зменшується, проте залишається вищою за борошно обдирне пшеничне на 14%. Майже на 1% менша пластичність ЛБ при холодній гідратації за гідромодуля 1:2. При запарюванні за гідромодуля 1:2 пластичність ЛБ зростає на 41%.

Найвищу пластичність має люпинове борошно при холодній гідратації за гідромодуля 1:1 і становить 16,8 см²/г, що на 97% більше, ніж борошна обдирного пшеничного. Кращі показники пластичності дивосилу представлені в холодній гідратації за гідромодуля 1:2 (11,2 см²/г), що на 10% більше, ніж у запареному. Якщо проаналізувати гідромодулі 1:1 та 1:2, то показник пластичності при холодній гідратації за гідромодуля 1:2 вищий на 17%, ніж за гідромодуля 1:1 та запареного щодо цих же гідромодулів – на 5%.

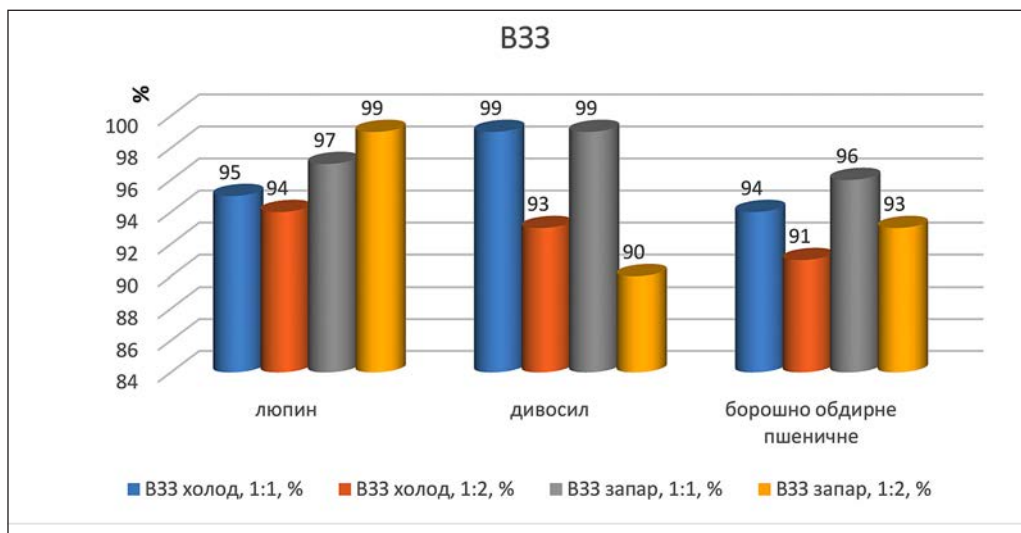


Рис. 2. Показники вологозв'язувальної здатності зразків

За наведеними на Рис. 3.6 і 3.7 даними видно, що люпинове борошно характеризується досить високою вологоутримувальною здатністю.

Найнижчу вологоутримувальну здатність має борошно обдирне пшеничне при запарюванні за гідромодуля 1:2. Люпинове борошно має найнижчу ВУЗ при холодній гідратації за гідромодуля 1:2, що на 9,5% менше, ніж у борошна обдирного пшеничного. При запарюванні за гідромодуля 1:2 ВУЗ люпинового борошна на 19% вища, ніж у борошна обдирного пшеничного, що пояснюється наявністю в його складі білкових речовин. За гідромодуля 1:1 холодній гідратації та запарювання всі борошна мають високий показник ВУЗ, що становить 95%. Найнижчу ВУЗ дивосил має при холодній гідратації за гідромодуля 1:2, проте його показник залишається досить високим – 91%.

Враховуючи дані досліджень, встановлено, що люпинове борошно та дивосил мають кращі

функціонально-технологічні показники, ніж обдирне пшеничне борошно. Дослідження функціонально-технологічних властивостей рослинної сировини показують, що вони характеризується високою вологозв'язувальною та вологоутримувальною здатністю та пластичністю.

Ці дані досліджень узгоджуються з результатами досліджень Л. Рукшан і Д. Кудик [9], О. Павлюченко і Н. Бондар[10], які досліджували технологію виробництва вермішелі та млинців із додаванням люпинового борошна. Вказаними авторами було встановлено, що чим менший розмір частинок борошна, тим більша їх питома поверхня і водопоглинальна здатність. Для пояснення цього факту було досліджено дисперсність дослідних зразків дивосилу, люпинового борошна й обдирного пшеничного борошна (Рис. 5–7), які провели на Mastersizer 3000, аналізуючи розміри частинок лазерної дифракції.

Після розсівів дивосилу встановлено, що результати знаходяться в діапазоні: 10 од. – 49 мкм; 50 од. – 346 мкм; 90 од. – 873 мкм.

Даними розсівів борошна з люпину встановлено, що результати знаходяться в діапазоні: 10 од. – 24,1 мкм; 50 од. – 360 мкм; 90 од. – 1030 мкм.

При порівнянні даних розсівів було встановлено, що результати перебувають практично в одному діапазоні. Це підтверджує їх високі функціонально-технологічні показники, доцільність і перспективність використання цієї рослинної сировини в технології м'ясних посічених напівфабрикатів.

Харчовий люпин належить до екологічно чистих культур, оскільки його вирощують без внесення мінеральних добрив. На відміну від інших бобових культур, в насінні білого харчового люпину міститься 10-12% жирів, комплекс вітамінів, макро- і

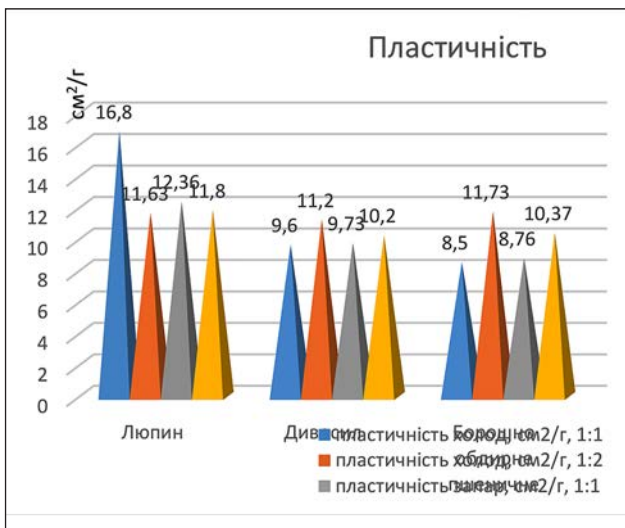


Рис. 3. Показники пластичності зразків

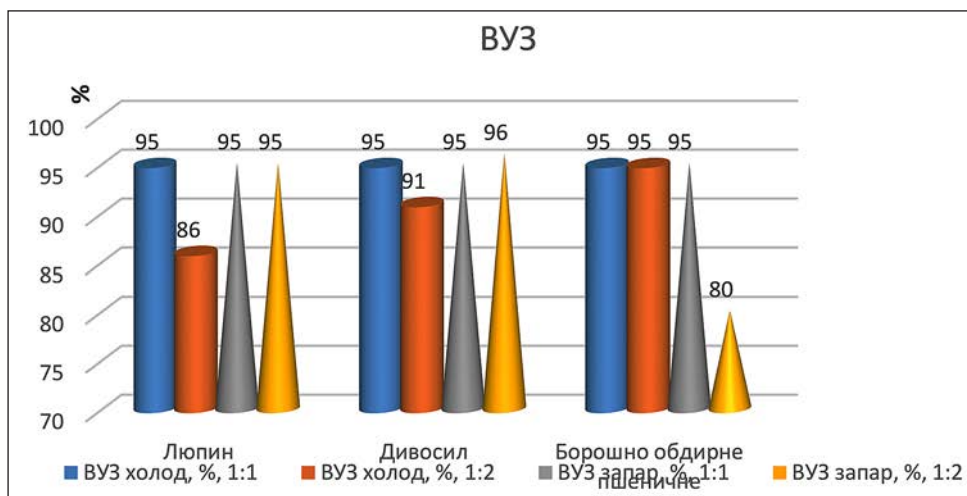


Рис. 4. Показники вологоутримувальної здатності зразків

мікроелементи та інші біологічно активні речовини. Вони захищають організм від радіонуклідів і важких металів, а також прискорюють процес їхнього видалення. Харчові волокна сортів люпину, які здебільшого містяться в оболонці (80-88%), решта – в ядрі насіння (15-18%). Вони є досить добрими ентросорбентами радіонуклідів, стронцію, цезію та інших важких металів; ефект ентросорбції виявляють також по відношенню до холестерину, жовчі та інших продуктів обміну. Тому зерно харчових сортів білого люпину доцільно використовувати у виробництві високобілкових продуктів дитячого, дієтичного та лікувально-профілактичного призначення.

В корінні дивосилу виявлено інулін (до 44%), інуленін, псевдоінулін, оцтову і бензойну кислоти. Відомо, що інулін має здатність виводити з організму радіонукліди і важкі метали, стимулює зростання кісткової тканини, засвоєння кальцію в організмі людини. З огляду на зазначене проведення комплексу аналітичних та експериментальних досліджень з виробництва м'ясних посічених напівфабрикатів із використанням люпинового борошна та дивосилу є актуальним, а їх впровадження дозволить підвищити харчову цінність, функціональну збалансованість.

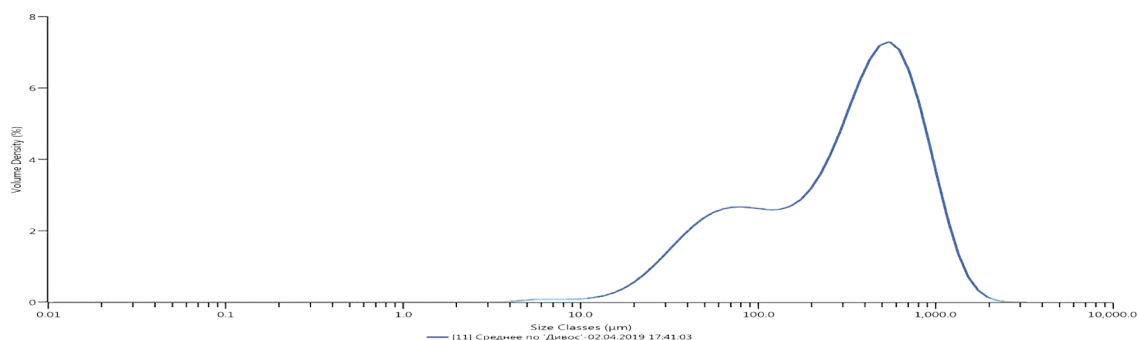


Рис. 5. Розподіл за розміром при розсіві дисперсних часток дивосилу

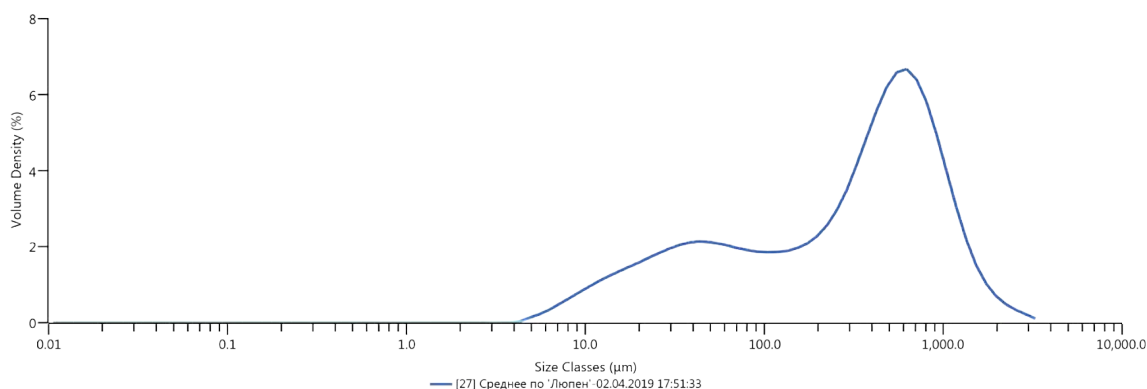


Рис. 6. Розподіл за розміром при розсіві дисперсних часток люпинового борошна

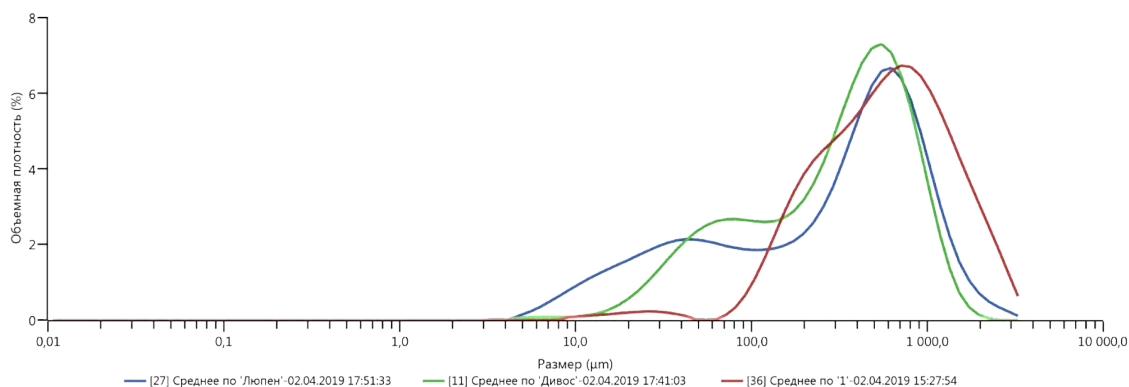


Рис. 7. Середні значення розподілу дисперсних часток при розсіві дослідних зразків борошна люпину, дивосилу і пшеничного борошна

Висновки. Встановлено, що люпинове борошно та дивосил мають кращі функціонально-технологічні показники, ніж обдирне пшеничне борошно. Дослідження функціонально-технологічних властивостей рослинної сировини показали, що вони характеризуються високою вологозв'язувальною та вологоутримувальною

здатністю та пластичністю. При порівнянні даних розсівів було встановлено, що результати перебувають практично в одному діапазоні, що підтверджує їх високі функціонально-технологічні показники, доцільність і перспективність використання цієї рослинної сировини в технології м'ясних посічених напівфабрикатів.

Список літератури:

1. Пасічний В.М. Функціонально-технологічні властивості фаршевих систем із використанням білковмісних композицій на основі тваринного білка «Білкозин» / Пасічний В.М.; Плумбрик М.М.; Хоменко Щ.Ю.; Желуденко Ю.В. // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: «Технічні науки»; Вінниця, 2015, № 2(90). С. 72–76.
2. Nechepurenko K.V. Technological aspects of obtaining structured emulsion in composition of meat products / Nechepurenko K.V.; Pivovarov P.P. // Eastern-european Journal of enterprise technologies; Kharkov, 2014, № 12(68). С. 79–84.
3. Паска М.З. Використання інноваційного обладнання Fryma Koruma MaxxD у виробництві майонезу / М.З. Паска, О.І. Жук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. № 2(10). С. 58–64. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_2\(10\)_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_2(10)_12).
4. Паска М.З. Порівняльна оцінка якості яловичини NOR, PSE та DFD / М.З. Паска // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015, № 3(10). С. 59–60. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44496. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_3\(10\)_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_3(10)_12).
5. Shah M.A. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. Meat Sci, 2014, № 98(1). P. 21–33.
6. Мандро Н.М. Разработка технологии обогащенных мясных продуктов функциональной направленности. Мандро Н.М.; Борозда А.В.; Денисович Ю.Ю. Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2012. № 6(92). С. 83–87.
7. Петий И.А. Исследование антиоксидантных свойств мясного кулинарного полуфабриката высокой степени готовности. Петий И.А.; Чернова А.В.; Притыкина Н.А. // Вестник Мах, 2016. С. 30–34.
8. Гуліч М.П. Рациональне харчування та здоровий спосіб життя – основні чинники збереження здоров'я населення. Проблемы старения и долголетия, 2011, № 20(2). С. 128–132.
9. Рукшан Л.В.; Кудин Д.А. Использование люпиновой муки в производстве вермишели. Наукові праці ОНАХТ, 2010, № 38(1). С. 267–273.
10. Куцик Т.П. Розробка технології функціонального кисломолочного продукту «Дивосил»: дис. канд. тех. наук: 03.00.20 / Інститут продовольчих ресурсів НААН України. Київ, 2019. 159 с.
11. Паска М.З. Розробка рецептур та удосконалення технології функціональних м'ясних посічених напівфабрикатів і котлет з використанням білкового збагачувача / М.З. Паска, О.Б. Маслійчук // Продовольчі ресурси. 2018. № 11. С. 132–138. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pr_2018_11_17.

Paska M.Z., Masliichuk O.B. FUNCTIONAL-TECHNOLOGICAL INDICATORS OF LUPINO FLOUR AND DIVASIL IN THE CONTEXT OF THE MEAT SEMI-FOOD PRODUCTION

Functional and technological indicators determine the “behavior” of raw materials during processing and characterize its ability to bind and retain moisture and fat, to produce stable emulsions, which ensures the achievement of the desired structure, technological and consuming characteristics of finished products. The simulation results of pH show that the pH of the lupine flour is 5.6 units, which is 0.8 less than that of the wheat flour, the pH of the dyvosyl is 5.8. Accordingly, the introduction of these herbal ingredients should not change the pH of minced meat.

It is established that the best indicator of WZZ of lupine flour is steamed flour with hydro-module 1:2. This is due to the higher protein content of lupine flour, which is able to bind a larger amount of water. When hydrated with a 1:1 hydromodule, lupine flour bound all the added water, forming a binder mix with lumps of dry flour. Dyvosyl has better indicators than the 1:1 hydromodule and is 99% with cold hydration and steaming. The highest ductility has lupine flour at cold hydration with the hydromodule 1:1 and is 16.8 cm²/g, which is 97% more than the wheat flour. The best indicators of the plasticity of the dyvosyl are represented by cold hydration with the hydromodule 1:2 (11.2 cm²/g), which is 10% more than by the steamed one.

Taking into account the research data, it was found that lupine flour and Inula have better functional and technological parameters than pea flour. Thus, studies of the functional and technological characteristics of vegetable raw materials show that they are characterized by high moisture-binding and moisture-holding

capacity and also ductility. It was found that the smaller the size of the flour particles, the greater their specific surface area and water absorption capacity.

In order to explain this fact, the dispersion of Inula prototypes, lupine flour and flaky wheat flour was investigated. When comparing these seedings, it was found that the results are almost in the same range, which confirms their high functional and technological indicators, their expediency and the prospect of using this raw plant material in the technology of chopped meat semi-food products.

Key words: *Lupine flour, Inula, technology, plant raw material, minced meat, meat minced half products.*

УДК 637.055:637.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/24>**Скирда О.Є.**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Гавриш А.В.

Національний університет харчових технологій

Хацкевич Ю.М.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Віннікова В.О.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Гапонцева О.В.

Харківський державний університет харчування та торгівлі

ТОВАРОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ЯКОСТІ М'ЯКИХ ТА РОЗСІЛЬНИХ СИРІВ

Проблема харчування є однією з найважливіших соціальних проблем. Життя людини, її здоров'я і праця неможливі без повноцінної їжі. Відповідно до теорії збалансованого харчування в раціоні людини повинні міститися не тільки білки, жири і вуглеводи в необхідній кількості, але і такі речовини, як незамінні амінокислоти, вітаміни, мінерали у певних, вигідних для людини пропорціях. В організації правильного харчування першорядна роль відводиться молочним продуктам. Це повною мірою стосується і сиру, поживна цінність якого зумовлена високою концентрацією в ньому молочного білка і жиру, наявністю незамінних амінокислот, солей кальцію і фосфору, так необхідних для нормального розвитку організму людини.

З роками український сирний ринок поступово починає поповнюватися німецькою, французькою, датською, естонською і голландською продукцією. Найширший асортимент представлений у супермаркетах. Там покупець може знайти до 30–40 найменувань сирів як вітчизняного, так і імпортного виробництва. Звичайний магазин або лоток, що стали вже традиційними місцями продажу продуктів харчування на українському ринку, можуть запропонувати якнайбільше сім найменувань, однак найбільш популярних сирів.

Про поживність розсільних сирів написані цілі наукові праці, але саме сьогодні, коли за ринки збуту йде тверда конкурентна боротьба, його починають продавати як живильний продукт. І нарешті, саме на прикладі розсільних сирів наш Покупець уперше почав розуміти, що вітчизняна продукція може бути набагато краща за імпортну, а Виробник – відчув користь маркетингового аналізу й планування бізнесу.

В умовах переходу економіки України до ринкових відносин у міжнародних зовнішньоекономічних відносинах України сталися відчутні зміни. В період формування ринку, приватизації торговельних та промислових структур різко зростає можливість виробництва та реалізації фальсифікованої продукції. Саме тому нами було прийнято рішення провести аналіз українського та світового ринку м'яких та розсільних сирів, провести оцінку маркування та пакування м'яких та розсільних сирів, визначити товарознавчу оцінку органолептичних показників якості зразків м'яких та розсільних сирів (зовнішній вигляд, смак та запах, консистенція, колір тіста, рисунок, якість заливки (розсолу), форма), дослідити фізико-хімічні показники обраних дослідних зразків (масова частка кухонної солі, кислотність, масова частка вологи) та порівняти з вимогами нормативних документів.

Ключові слова: м'які сири, розсільні сири, експертиза, маркування сирів, конкурентоздатність товару, купівельна поведінка.

Постановка проблеми. Проблема харчування є однією з найважливіших соціальних проблем. Життя людини, її здоров'я і праця неможливі без повноцінної їжі. Відповідно до теорії зба-

лансованого харчування в раціоні людини повинні міститися не тільки білки, жири і вуглеводи в необхідній кількості, але і такі речовини, як незамінні амінокислоти, вітаміни, мінерали у певних,

вигідних для людини пропорціях. В організації правильного харчування першорядна роль відводиться молочним продуктам. Це повною мірою стосується і сиру, поживна цінність якого зумовлена високою концентрацією в ньому молочного білка і жиру, наявністю незамінних амінокислот, солей кальцію і фосфору, так необхідних для нормального розвитку організму людини [1].

З роками український сирний ринок поступово починає поповнюватися німецькою, французькою, датською, естонською і голландською продукцією. Найширший асортимент представлений у супермаркетах. Там покупець може знайти до 30–40 найменувань сирів як вітчизняного, так і імпортного виробництва. Звичайний магазин або лоток, що стали вже традиційними місцями продажу продуктів харчування на українському ринку, можуть запропонувати якнайбільше сім найменувань, але найбільш популярних сирів.

Про поживність розсільних сирів написані цілі наукові праці, але саме сьогодні, коли за ринки збуту йде тверда конкурентна боротьба, його починають продавати як живильний продукт. І нарешті, саме на прикладі розсільних сирів наш Покупець уперше почав розуміти, що вітчизняна продукція може бути набагато краща за імпорту, а Виробник – відчув користь маркетингового аналізу й планування бізнесу.

В умовах переходу економіки України до ринкових відносин у міжнародних зовнішньоекономічних відносинах України сталися відчутні зміни. В період формування ринку, приватизації торговельних та промислових структур різко зростає можливість виробництва та реалізації фальсифікованої продукції [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Грунтовні дослідження структурно-механічних властивостей харчових продуктів проведено вченими А.Н. Даурским і С.А. Мачихиним, А.В. Горбатовим, С.А. Матц. Щодо м'яких розсільних сирів, а саме визначення такого показника структурно-механічних властивостей, як зусилля різання (що має практичне значення) [3].

Науковцями Сумського національного аграрного університету Н.В. Болговою, М.О. Байдак, В.П. Приходько розроблено рецептуру функціонального м'якого сиру без дозрівання з додаванням екстракту ламінарії виробництва ТОВ «НБК Віларус». Проведені дослідження свідчать, що використання екстракту ламінарії у кількості 3% дозволяє отримати продукт функціонального призначення, який збагачений йодом та може

бути рекомендований для виробництва підприємствами молочної промисловості [4].

Такі вчені Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, як В.О. Наговська, Ю.Р. Гачак, О.Р. Михайлицька, Н.Б. Сливка, О.Я. Білик, встановили стадію внесення житніх висівок під час виготовлення м'якого сиру, а саме: в нормалізовану суміш перед заквашуванням. Оптимальна кількість житніх висівок у м'якому сирі становить 2% в нормалізованій суміші. Залежність активної кислотності сирних згустків є прямопропорційною кількості внесених житніх висівок. За органолептичними показниками сир м'який з дозою висівок 2% є найбільш наближеним до вихідного сиру «Фета» [5].

Постановка завдання. Метою роботи є товарознавча характеристика м'яких та розсільних сирів та формування попиту на них. Для досягнення поставленої мети висунуто низку завдань:

- проаналізувати ринок м'яких та розсільних сирів України та особливості їх споживання;
- дослідити якість упаковки та маркування зразків м'яких та розсільних сирів, що реалізується у супермаркеті ТОВ «Восторг» та маркеті «Ділайт»;
- визначити органолептичні показники якості обраних зразків м'яких та розсільних сирів;
- дослідити фізико-хімічні показники обраних зразків м'яких та розсільних сирів та порівняти з вимогами нормативних документів;
- порівняти якість обраних зразків м'яких та розсільних сирів різних виробників.

Виклад основного матеріалу дослідження. В Україні сир почали створювати в ХХ столітті. Тепер виробництво здійснює понад 150 підприємств, 2/3 з них виробляють тверді сичужні сири, решта – м'які і плавлені. У 2018 році молока виробили 10,1 млн тонн у промислових і приватних господарствах. Це на 2,9% менше, ніж у 2017 році. Для виробництва сиру використовували 6%, близько 606 тисяч. За січень-жовтень 2018 року випустили 2,3 млн тонн промислового молока, ціна 1,8% більше, ніж за аналогічний період 2017 року. При цьому поголів'я корів скоротилося на 1,9% і склало 2,1 млн. У сільськогосподарських підприємствах утримується 474 тис. корів, решта 1,636 млн. – у населення. Поголів'я скоротилося на 3,2% і 1,5% відповідно. Виробництво сиру з 2017 скоротилося на 38%. З липня 2019 молокопереробні підприємства зможуть купувати сировину тільки в спеціалізованих фермерських господарствах. Такий стан відповідає європейській директиві про якість молока. За підсумками 2018 року

найбільші гравці ринку наступні: «ТЕРРА ФУД»; ТОВ «Торговий дім «Західна молочна група»; «Молочний альянс»; «Мілкіленд»; «Клуб Сиру»; «Бель Шостка Україна». [7]

За перші півроку 2018 імпорт виріс на 41% порівняно з аналогічним періодом минулого року. Традиційні постачальники не змінюються вже впродовж декількох років. Лідируючі 30% від загальної кількості продукції, що ввозиться, залишаються за Польщею. Німеччина і Франція ввозять менше – 24% і 14% відповідно. Решту (32%) ввозять з Італії, Естонії, Латвії, Іспанії, Греції, Литви, Нідерландів, Швейцарії.

Для збільшення імпорту з країн ЄС уряд скоротив ввізні мита на сир до 6,7%. Сири українського виробництва переважно високої якості і відповідають багатьом світовим стандартам. Але через складну економічну ситуацію і низьку купівельну можливість споживачів деякі виробники змінили рецептуру виробництва сиру і стали випускати сирні продукти.

З огляду на останні новини ринку сиру є ймовірність, що продукти сироваріння від українських виробників завоюють іноземні ринки, а в споживчому кошику середньостатистичного українця сир стане більше, ніж 3,5 кг [8].

Предметом дослідження була якість м'яких та розсільних сирів у товарознавчому аспекті якості продукції. Об'єктами дослідження були 8 зразків м'яких та розсільних сирів, придбаних у торговельних мережах міста Харкова, а саме супермаркеті ТОВ «Восторг» та маркеті «Ділайт»:

1. Сир м'який Фета, ТОВ «Маклер Комерс»;
2. Сир м'який Моцарелла, ТОВ «ФУД ДЕВЕЛОПМЕНТ»;
3. Сир м'який «Сулугуні» круг, ТОВ «Молочний світ»;
4. Сир м'який Бринза, ПрАТ «Комбінат» Придніпровський»;
5. Сир м'який, компанія “Bislev Mejeri”;
6. Сир м'який Бринза, ТОВ «Молочний світ»;
7. Сир м'який Бринза, ТДВ «Золотоніський маслоробний комбінат»;
8. Сир м'який солоний, “Favita”.

Такі показники, як назва підприємства, його адреса, назва продукту, склад, дата виготовлення, маса нетто, г, термін придатності, енергетична цінність на 100 г продукту, позначення НД, штрих-код, умови зберігання, були зазначені на всіх зразках та відповідали чинному законодавству України. Штрих-код на кожній з досліджуваних упаковок був зазначений правильно. Це є одним із найважливіших показників того, що продукція не є фальсифікатом.

З органолептичних показників у заморожених продуктах було визначено: зовнішній вигляд, смак і запах, консистенцію, колір тіста, рисунок, якість заливки (розсолу) та форму. Результати подано в табл. 1. Органолептичні дослідження зовнішнього вигляду вказують на те, що майже всі досліджувані зразки м'яких та розсільних сирів відповідають нормам НД.

За результатами органолептичних досліджень можемо зробити висновок, що усі зразки, окрім зразків 5 – Сир м'який “Bislev Mejeri” та 8 – Сир м'який солоний “Favita”, відповідають вимогам органолептичних досліджень за ГОСТ 33959-2016. Зразки сиру 2 та 3 не відповідають показникам смаку і запаху, а саме в них виражений кислий смак, який не притаманний розсільним сирам.

За результатами органолептичних досліджень можемо зробити висновок, що усі зразки відповідають вимогам органолептичних досліджень за ДСТУ 4395-2005, тому можуть допускатися виробниками для реалізації.

Важливий фактор визначення якості у м'яких та розсільних сирах – це їх визначення масової частки кухонної солі. Отримані результати наведені у таблиці 2.

Отже, за отриманими результатами дослідження масової частки кухонної солі було виявлено, що усі зразки м'яких сирів не відповідають вимогам ДСТУ 4395-2005 «Сири м'які. Загальні технічні умови». Масова частка кухонної солі свідчить про дотримання виробником технології виготовлення, а також впливає на смакові властивості сиру, а в досліджених зразках вміст хлористого натрію перевищує норму 2,5%. Тому данні зразки сиру не допускаються у реалізацію. Розглядаючи вміст солі у розсільних сирах, можна зробити висновок, що тільки сир під зразком 1 – Сир м'який Фета «Маклер Комерс», відповідає ГОСТ 33959-2016, усі інші переважають норму 4,0%, такі зразки сиру у реалізацію не допускаються.

Результати дослідження кислотності у м'яких та розсільних сирах наведені у таблиці 3.

Високі показники кислотності у зразках 1 – Сир м'який Фета «Маклер Комерс», 5 – Сир м'який “Bislev Mejeri” та 8 – Сир м'який солоний “Favita” зумовили їх виражений кислий смак та крихку консистенцію, хоча у зразку 3 – Сир м'який «Сулугуні» круг «Молочний світ», також високий показник кислотності, але через відмінності у технології виробництва консистенція була в міру щільна і смак притаманний цьому виду сиру. Результати дослідження наведено у таблиці 4.

Органолептична характеристика розсільних сирів

Показники	Зовнішній вигляд	Смак і запах	Консистенція	Колір тіста	Рисунок	Якість заливки (розсолу)
Вимоги НД	сир упакований у полімерні матеріали, сир кірки не має, зовнішній шар ущільнений, поверхня рівна, зі слідами серпанки або перфора	помірно виражений сирний, в міру солоний, кислуватий	однорідна, помірно щільна, злегка ніжна	від білого до світло-жовтого	малюнок відсутній	напівпрозора рідина, з наявністю сирної крихти
1. Сир м'який Фета «Маклер Комерс»	сир упакований у полімерну упаковку, відсутня кірка	кислуватий	однорідна, злегка ніжна	білий	малюнок відсутній	каламутна рідина з сирною крихтою
2. Сир м'який Моцарелла «ФУД ДЕВЕЛОПМЕНТ»	поверхня чиста без механічних ушкоджень, пружна	кисломолочний присмак, без сторонніх запахів	крихка	білий з кремовим відтінком	без вічок	прямокутний брусок
3. Сир м'який «Сулугуні» круг «Молочний світ»	поверхня чиста без механічних ушкоджень, пружна	кисломолочний присмак, без сторонніх запахів	в міру щільна	світло-жовтий	без вічок	циліндрична
4. Сир м'який Бринза «Комбінат» Придніпровський»	сир упакований в полімерну упаковку, відсутня кірка, зі слідами серпанки	помірно виражений сирний, кислуватий	однорідна, помірно щільна	білий з кремовим відтінком	невеликі вічки круглої форми	каламутна рідина з сирною крихтою
5. Сир м'який «Bislev Mejeri»	упакований у картонну упаковку, кірка відсутня	виражений кислий смак	однорідна, крихка	білий	малюнок відсутній	каламутна рідина з сирною крихтою
6. Сир м'який Бринза «Молочний світ»	сир упакований у полімерну упаковку, відсутня кірка, зі слідами серпанки	виражений сирний присмак, в міру солоний	однорідна, помірно щільна	білий	невеликі вічки круглої форми	каламутна рідина з сирною крихтою
7. Сир м'який Бринза «Золотоніський маслороб. комбінат»	сир упакований в полімерну упаковку, відсутня кірка, зі слідами серпанки	виражений сирний присмак, в міру солоний	однорідна, помірно щільна	білий	невеликі вічки круглої форми	каламутна рідина з сирною крихтою
8. Сир м'який солоний «Favita»	упакований у картонну упаковку, кірка відсутня	виражений кислий смак	однорідна, крихка	білий	малюнок відсутній	каламутна рідина з сирною крихтою

З вищенаведеної таблиці можна зробити висновки, що розсільні сири, а саме зразки 4 – Сир м'який Бринза «Комбінат» Придніпровський, 5 – Сир м'який “Bislev Mejeri”, 8 – Сир м'який солоний “Favita” не відповідають вимогам ГОСТ 33959-2016, оскільки в них міститься більше вологи, що не допускається стандартом. А зразки розсільних сирів 1 – Сир м'який Фета «Маклер Комерс», 6 – Сир м'який Бринза «Молочний світ» та 7 – Сир м'який Бринза «Золотоніський маслоробний комбінат», відповідають вмісту вологи, тому є допустимими до реалізації. Щодо м'яких сирів, то усі зразки не перевищують норму вологи – 62%, та до реалізації допустимі.

Висновки. У процесі написання статті було зазначено, що збалансоване й оздоровче харчування передбачає збільшення в раціоні людини частки продуктів, що містять корисні речовини,

незамінні амінокислоти, вітаміни, мінеральні речовини, харчові волокна тощо.

Для вивчення споживчих переваг та споживчого попиту було здійснено аналіз українського та світового ринків м'якого та розсільного сирів, який показав, що тепер виробництво сирів здійснює понад 150 підприємств, 2/3 з них виробляють тверді сичужні сири, решта – м'які і плавлені. У 2017 році молока виробили 10,1 млн тонн у промислових і приватних господарствах. За декілька останніх років спостерігається тенденція збільшення об'ємів виробництва та споживання сирів.

Дослідження якості м'яких та розсільних сирів показало, що не всі зразки відповідають вимогам нормативних документів. Отже, для того щоб залишитися на ринку і витримувати конкуренцію, сучасні виробники м'яких та розсільних сирів

Таблиця 2

Аналіз дослідження масової частки кухонної солі у м'яких та розсільних сирах

Найменування зразку	Вимоги НД	Результати досліджень, %	
1. Сир м'який Фета «Маклер Комерс»	ГОСТ 33959-2016 в межах 2,0-4,0%	3,6	
4. Сир м'який Бринза «Комбінат» Придніпровський»		8,24	
5. Сир м'який “Bislev Mejeri”		7,6	
6. Сир м'який Бринза «Молочний світ»		8,8	
7. Сир м'який Бринза «Золотоніський маслоробний комбінат»		5,92	
8. Сир м'який солоний “Favita”		8,2	
2. Сир м'який Моцарелла «ФУД ДЕВЕЛОПМЕНТ»		ДСТУ 4395-2005 не більше ніж 2,5%	2,8
3. Сир м'який «Сулугуні» круг «Молочний світ»			4

Таблиця 3

Результати визначення кислотності у м'яких та розсільних сирах

Найменування зразка	Кислотність, °Т
1. Сир м'який Фета «Маклер Комерс»	176
2. Сир м'який Моцарелла «ФУД ДЕВЕЛОПМЕНТ»	94
3. Сир м'який «Сулугуні» круг «Молочний світ»	188
4. Сир м'який Бринза «Комбінат» Придніпровський»	88
5. Сир м'який “Bislev Mejeri”	178
6. Сир м'який Бринза «Молочний світ»	140
7. Сир м'який Бринза «Золотоніський маслоробний комбінат»	100
8. Сир м'який солоний “Favita”	240

Таблиця 4

Результати визначення масової частки вологи у м'яких та розсільних сирах

Найменування зразку	Вимоги НД	Результати досліджень, %	
1. Сир м'який Фета «Маклер Комерс»	ГОСТ 33959-2016 не більше ніж 55%	52	
4. Сир м'який Бринза «Комбінат» Придніпровський»		58	
5. Сир м'який “Bislev Mejeri”		62	
6. Сир м'який Бринза «Молочний світ»		52	
7. Сир м'який Бринза «Золотоніський маслоробний комбінат»		54	
8. Сир м'який солоний “Favita”		64	
2. Сир м'який Моцарелла «ФУД ДЕВЕЛОПМЕНТ»		ДСТУ 4395-2005 не більше ніж 62%	52
3. Сир м'який «Сулугуні» круг «Молочний світ»			54

повинні впроваджувати нові технології виробництва, забезпечувати високу якість продукції та слідкувати за рівнем розвитку продукції.

Ураховуючи те, що Україна є аграрною державою, а попит на м'які та розсільні сири невпинно

зростає, доцільно було б збільшити обсяг виробництва молочної продукції спочатку на українському ринку, а впродовж трьох років підвищити якість продукції та виходити на міжнародний ринок.

Список літератури:

1. Одарченко А.М. Товарознавство молочних виробів. Харків : ХДУХТ, 2010. 391 с.
2. Сыры рассольные. Технические условия: ГОСТ 33959 2016. [Действующий от 2017-09-01]. Москва : Стандартинформ 2016. 15 с. (Межгосударственный стандарт).
3. Структурно-механічні властивості як складова якості м'яких розсільних сирів. URL: <http://tr.knteu.kiev.ua/files/2009/08/20.pdf>.
4. Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ сирів. URL: http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/5_2018/part_3/5-3_2018.pdf серія KB № 22895-12795P від 11.08.2017 року).
5. Сири м'які. Загальні технічні умови: ДСТУ 4395:2005. [Чинний від 2006-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 7 с. (Національний стандарт України).
6. Власенко В.В. Технологія виробництва і переробки молока та молочних продуктів / Власенко В.В., Машкін М.І., Бігун П.П. Вінниця : Гіпаніс, 2000 306 с.
7. Яловега Л.В. Основні тенденції та перспективи розвитку ринку сиру в Україні. Київ : Економічний форум, 2012. 46 с.
8. Koloro. Аналіз ринку сиру в Україні. URL: koloro.ua.

Skyrda O.Ye., Havrysh A.V., Khatskevych Yu.M., Vinnikova V.O., Napontseva O.V.

COMMODITY ASPECTS OF QUALITY OF SOFT AND BRINED CHEESES

The problem of food is one of the major social problems. Human life, his health and work are impossible without a full meal. According to the theory of balanced nutrition in the human diet should contain not only proteins, fats and carbohydrates in the required quantity, but also substances such as essential amino acids, vitamins, minerals in certain beneficial for human proportions. The organization nutrition paramount role for dairy products. This fully applies to cheese, nutritional value is due to the high concentration of it milk protein and fat, the presence of essential amino acids, calcium and phosphorus, so necessary for normal development of the human body.

Over the years, Ukrainian cheese market is beginning to grow German, French, Danish, Estonian and Dutch products. The widest assortment in supermarkets. There customers can find items 30–40 cheeses both domestic and imported. Regular store or the tray, which have become traditional places selling food on the Ukrainian market, they offer the most seven items, but the most popular cheeses.

Nutrition brine cheese scientific papers written goals, but today, when the markets go hard competition, you begin to sell as nutritious product. Finally, it is the example of brine cheeses Our customer first began to understand that domestic products can be imported much better, and producers – experienced marketing benefit analysis and business planning.

In the transition of Ukraine's economy to a market economy in the international foreign relations Ukraine there were notable changes. During the formation of the market, privatization, trade and industrial structures dramatically increases the possibility of production and sale of counterfeit products. That is why we have decided to analyze the Ukrainian and world market of soft brine cheese and to assess the labeling and packaging of soft cheeses and brine, identify commodity assessment organoleptic quality samples of soft cheese and brine (appearance, taste and smell, texture, color dough picture quality of fill (brine) form), to investigate the physical and chemical indicators selected prototypes (mass fraction of salt, acidity, moisture content) and compared with the requirements of regulations s documents.

Key words: *soft cheeses, brine cheeses, expertise, cheeses labeling, product competitiveness, buying behavior.*

УДК 621.384.2:621.791:615.462-036
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/25>

Таланюк В.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Шадрін А.О.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Юрженко М.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Кораб М.Г.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЗРАЗКІВ З БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРІВ ТИПУ ПОЛІГІДРОКСИБУТИРАТ/ПОЛІЛАКТИД (ПГБ/ПЛА)

Сьогодні ми стикаємося з проблемою відштовхування екологічного тиску синтетично- або нафтохімічно отриманими продуктами. Економічний фактор виходить з екологічно безпечних досліджень матеріалів і виробів, властивості яких виконують екологічні та економічні вимоги. Багато переваг для спільноти створила нафтохімічна промисловість на основі полімерної технології. Одна з цих переваг – використання пластику лише в упаковці. Зручність, безпека, низька ціна і хороші естетичні якості є найбільш важливими факторами, що визначають швидке зростання у використанні пластмас у пакувальній промисловості. Спалювання таких відходів продукує велику кількість діоксиду вуглецю, що сприятиме глобальному потеплінню. Ці екологічні проблеми створили гостру необхідність розвитку еко-полімерних матеріалів, які не пов'язані з використанням токсичних і шкідливих компонентів у їх виробництві і можуть розкладатися в природі. З цих причин сьогодні в світі предметом великої науково-дослідницької задачі для вчених та інженерів є розробка біорозкладних матеріалів з регульованими властивостями. За допомогою інноваційних технологій поновлювані ресурси можуть бути замінені на нафтові полімери на біополімери. Також зростає актуальність розробки нових продуктів на основі біо- та інших інноваційних технологій, які можуть зменшити широко поширену залежність від викопного палива і в той же час сприяти підвищенню національної безпеки, охорони навколишнього середовища та економіки.

Експериментально досліджували зварюваність плівок із біорозкладних полімерів. Біорозкладну плівку із суміші полімерів ПЛА/ПГБ зварювали ультразвуковим методом на стандартній установці пресового типу фірми Branson.

Напускні шви біорозкладної плівки, зварені профільованим сонотородом, формувались з утворенням рівномірного проплавлення по усій площі з'єднання. На зовнішній поверхні шва спостерігаються невеликі фрагменти деструктованого полімерного матеріалу, що утворюються через концентрацію механічних напружень та підвищення температури на пікових виступах профільованої поверхні сонотроду. Усі напускні зварні з'єднання біорозкладних плівок, виконані ультразвуковим способом, при випробуваннях на розтяг руйнувались по основному матеріалу.

Структура зварних з'єднань біорозкладних полімерів біла досліджена рентгенівським методом ширококутового розсіювання променів. Приведені дифракційні графіки для основного матеріалу зразків, що використовувались в експериментах по зварюванню.

Ключові слова: біополімери, зварні з'єднання, ширококутові рентгенівські дифрактограми.

Постановка проблеми. Сьогодні ми стикаємося з проблемою відштовхування екологічного тиску синтетично- або нафтохімічно отриманими продуктами. Економічний фактор виходить з екологічно безпечних досліджень матеріалів і виробів, властивості яких виконують екологічні та економічні вимоги [1].

Дослідження біополімерів не обмежується продуктами, а вказує на те, що ці полімери можуть зіграти важливу роль в інших сферах досліджень. Ми ж очікуємо побачити використання біополімерів на рівні з синтетичними пластмасами, що використовуються сьогодні у сферах упаковки, медицини, будівництва, майже в кожній частині життя [2].

Одним із найперспективніших біопластиків для застосування в упаковці вважається полілактид – продукт конденсації молочної кислоти. Його отримують як синтетичним способом, так і ферментативним бродінням декстрози цукру або мальтози суслу зерна і картоплі, які є поновлюваною сировиною біологічного походження [3].

Полілактид (ПЛА) – прозорий безбарвний термопластичний полімер. Його основна перевага – це можливість переробки всіма способами, призначеними для переробки термопластів [4].

З аркушів полілактиду можна сформувати тарілки, підноси, отримати плівку, волокно, упаковку для харчових продуктів, імплантати для медицини. Але його широке застосування стримується низькою продуктивністю технологічних ліній і високою вартістю одержуваного продукту [5].

Інший біополімер, що займає значне місце у промисловому виробництві – полігідроксибутират (ПГБ) – біополімер, що подібний полістиролу за своїми фізичними властивостями. Він був виявлений у бактерії *Alcaligenes eutropus*. ПГБ швидко руйнується ґрунтовими мікроорганізмами. Полімер отримують при вирощуванні *Azotobacter* на глюкозі з лімітацією кисню, також *Alcaligenes* – при дефіциті азоту в біологічно активному середовищі [6].

Пластичні маси на основі відтворюваних природних компонентів – це пластмаси, до складу яких можуть входити крохмаль, целюлоза, хітозан, протеїн. З композицій на їх основі створюють одноразовий посуд, плівки для пакування та сільськогосподарства тощо. Початковою сировиною для біохімічного процесу служить крохмаль (маїсовий, кукурудзяний, картопляний, злаковий) або м'яса, що отримали при виробництві цукру з цукрового буряка або цукрового очерету, а також деяких інших рослинних продуктів, що містять гексозани [7].

Важливе місце в дослідженнях займає проблема надання властивостей біорозкладання добре освоєним малотоннажним промисловим полімерам (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол, поліетилентерефталат).

Постановка завдання. Метою статті є дослідження та розробка технології формування зварних з'єднань зразків з біодеградабельних полімерів типу полігідроксибутират/полілактид (пгб/пла).

Виклад основного матеріалу дослідження. Матеріали і методи. Експериментально досліджували зварюваність плівок із біорозкладних полімерів. Використовували плівку, призначену для пакування харчових продуктів та виготовлену

в лабораторних умовах із суміші полімерів ПЛА та ПГБ. У суміші використовували таку полімерну сировину:

ПЛА – комерційний полілактид типу 2002D виробництва компанії NatureWorks®, США. Основні характеристики ПЛА: показник текучості розплаву (ПТР) 5–7 г/10 хв, густина – 1,24 г/см³, вміст D-мерів нижче 3,5%, молекулярна маса $M_w = 208000$.

ПГБ був отриманий у лабораторних умовах оригінальним методом, розробленим у Центрі Полімерних і Вуглецевих Матеріалів Польської Академії наук. ПГБ синтезували шляхом полімеризації розчину аніонного кільця (РАК), рацемічного (R, S) -β-бутиролактону в присутності ацетату тетрабутиламонію як ініціатора. РАК проводили навалом при кімнатній температурі. Отриманий полімер розчиняли у хлороформі та протонірували. Потім отриману сировину α-ПГБ осаджували в гексані та сушили у вакуумі при температурі 40°C. [7; 8].

Результати. Біорозкладну плівку із суміші полімерів ПЛА/ПГБ зварювали ультразвуковим методом на стандартній установці пресового типу фірми Branson (рис. 1). Використовували сонотрод із пласкою горизонтальною поверхнею двох типів – рівна шліфувана поверхня та профільована поверхня із регулярними пірамідальними виступами типу «накатка».

Біорозкладна плівка легко плавилась та починала деструктувати при інтенсивному нагріванні, тому зварювання проводили на режимах мінімальної потужності. Робочий тиск становив 0,3 МПа, тривалість прогріву при зварюванні – 2–3 секунди, амплітуда механічних коливань – 40–50 мкм.

Напускні шви біорозкладної плівки, зварені сонотродом із рівною поверхнею, добре формувались, але прогрівання матеріалу було дещо нерівномірним по площі з'єднання. На деяких швах спостерігались невеликі виплески розплавленого матеріалу із зони зварювання (рис. 2).

Напускні шви біорозкладної плівки, зварені профільованим сонотродом, формувались з утворенням рівномірного проплавлення по усій площі з'єднання (рис. 3). На зовнішній поверхні шва спостерігаються невеликі фрагменти деструктованого полімерного матеріалу, що утворюється через концентрацію механічних напружень та підвищення температури на пікових виступах профільованої поверхні сонотроду. Усі напускні зварні з'єднання біорозкладних плівок, виконані ультразвуковим способом, при випробуваннях на розтяг руйнувались по основному матеріалу.



Рис. 1. Установка для пресового ультразвукового зварювання Branson із плоским сонотродом

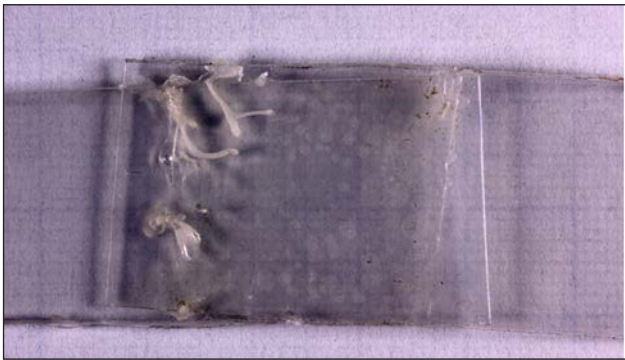


Рис. 2. Ультразвуковий напускний зварний шов біорозкладної плівки, виконаний сонотродом із рівною поверхнею



Рис. 3. Ультразвуковий напускний зварний шов біорозкладної плівки, виконаний сонотродом із профільованою поверхнею



Рис. 4. Руїнування ультразвукового напускного зварного шва під час випробувань на розтяг

Структура зварних з'єднань біорозкладних полімерів біла досліджена рентгенівським методом ширококутового розсіювання променів. На рис. 5 приведені дифракційні графіки для основного матеріалу зразків, що використовувались в експериментах по зварюванню.

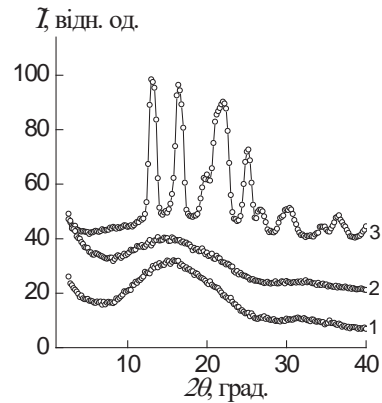


Рис. 5. Ширококутові рентгенівські дифрактограми основного матеріалу зразків біорозкладного пластику: 1- ПЛА, 2 - суміш ПГБ/ПЛА, 3 - ПГБ

Дифракційні криві 1 та 2 не мають явно виражених максимумів, отже, полілактид та суміш ПЛА/ПГБ – це аморфні полімери із низьким ступенем кристалічності. Дифракційна крива 3 має декілька максимумів різної інтенсивності, отже, ПГБ це висококристалічний полімер в надмолекулярній структурі, в якому присутні кристалічні утворення різних форм та розмірів.

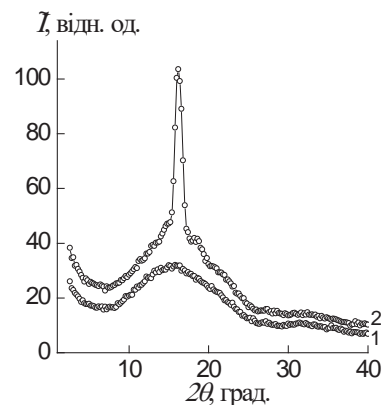


Рис. 6. Ширококутові рентгенівські дифрактограми основного матеріалу ПЛА і з'єднання зразків з ПЛА, звареного нагрітим інструментом встик

Під час порівняння ширококутових рентгенівських дифрактограм основного матеріалу ПЛА і зварного з'єднання, отриманого тепловим зварюванням встик, видно, що після зварювання в структурі полімеру формуються упорядковані

структури. Про це свідчить потужний одиночний максимум на кривій 2, рис. 6. За геометричними параметрами кривої ступінь кристалічності зварного з'єднання зразків з ПЛА можна оцінити у 20%. Вочевидь, під час формування матеріалу зварного шва в умовах великих температурних градієнтів в полімерному матеріалі формуються невеликі складчасті або пачкові структури макромолекулярних ланцюгів.

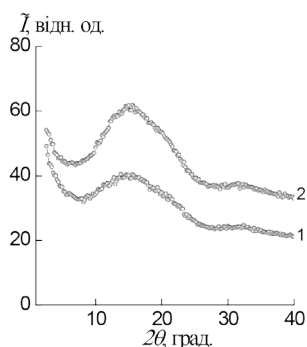


Рис. 7. Ширококутові рентгенівські дифрактограми, основного матеріалу полімерної суміші ПГБ/ПЛА (крива 1) і ультразвукового зварного з'єднання плівок з суміші ПГБ/ПЛА (крива 2)

Дифрактограма № 2, приведена на рис. 7, показує, що структура ультразвукового зварного з'єднання плівок із суміші ПГБ/ПЛА має певний невеликий кристалічний складник. На це вказують слабо виражений дифракційний максимум при кутах розсіювання $2\theta_m = 12,8^\circ, 15,4^\circ, 19,4^\circ$. Дифрактограма № 1 має рівний характер, без жодного максимуму, отже, як структура основного матеріалу біорозкладних плівок із суміші ПГБ/ПЛА має повністю аморфний характер.

Висновки. Отже, під час порівняння ширококутових рентгенівських дифрактограм основного матеріалу ПЛА і зварного з'єднання, отриманого тепловим зварюванням встик, видно, що після зварювання в структурі полімеру формуються упорядковані структури. Про це свідчить потужний одиночний максимум на кривій 2. За геометричними параметрами кривої ступінь кристалічності зварного з'єднання зразків з ПЛА можна оцінити у 20%. Вочевидь, під час формування матеріалу зварного шва в умовах великих температурних градієнтів, в полімерному матеріалі формуються невеликі складчасті або пачкові структури макромолекулярних ланцюгів.

Список літератури:

1. Ramsay J. A., Berger E., Voyer R., Chavarie C., Ramsay B. A.: Extraction of poly-3-hydroxybutyrate using chlorinated solvents. *Biotechnology Techniques*, 8, 589–594 (1994) DOI: 10.1007/BF00152152
2. Jacquel, N., Lo, C.-W. (2008) Isolation and purification of bacterial poly (3-hydroxy alkanates) *Biochemical Engineering Journal*. 39 (1),15-27. DOI: 10.1016/j.bej.2007.11.029
3. Al-Majed, A.A.; Abd-Allah, A.R.; Al-Rikabi, A.C.; Al-Shabanah, O.A. & Mostafa, A.M. (2013). Effect of oral administration of Arabic gum on cisplatin-induced nephrotoxicity in rats. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, Vol.17, No.3, (January 2013), pp. 146–153, ISSN: 1099-0461.
4. Jiang X., Ramsay J. A., Ramsay B. A.: Acetone extraction of mcl-PHA from *Pseudomonas putida* KT2440. *Journal of Microbiological Methods*, 67, 212–219 (2006). DOI: 10.1016/j.mimet.2006.03.015
5. Yu J., Chen L. X. L.: Cost-effective recovery and purification of polyhydroxyalkanoates by selective dissolution of cell mass. *Biotechnology Progress*, 22, 547–553 (2006). DOI: 10.1021/bp050362g
6. Amanat N. Welding methods for joining thermoplastic polymers for the hermetic enclosure of medical devices [Text]/ N. Amanat, N.L. James, D.R. McKenzie. *Medical Engineering and physics*, 2010. Vol 32, p.p. 600–699. DOI: 10.1021/ie9707432
7. Sudesh K., Maehara A., Gan Z., Iwata T., Doi Y.: Direct observation of polyhydroxyalkanoate granule-associated-proteins on native granules and on poly(3-hydroxybutyrate) single crystals by atomic force microscopy. *Polymer Degradation and Stability*, 83, 281–287 (2004). DOI: 10.1016/S0141-3910(03)00273-8
8. Effect of Geometry of Filler Particles on the Effective Thermal Conductivity of Two-Phase Systems Department of Physics, Heat Transfer Laboratory, University of Rajasthan, Jaipur, India 2018, Vol. 23, p.p. 605–617.

Talanyuk V.V., Shadrin A.O., Iurzhenko M.V., Korab M.G. RESEARCH OF TECHNOLOGY FOR FORMATION OF WELDED COMPOUNDS OF PHB / PLA TYPE BIOPOLYMERS

Today, we face the problem of environmental pressure that repels synthetic or petro-chemical products, while economic factors pull them back.

We expect the use of biopolymers just like synthetic plastics are used at the moment. For example in packaging, medicine, construction, in almost every part of life. The polymer is based on petrochemical industry and has been created many benefits for the community. One of these advantages is the use of plastics

only in packaging. The most important factors determining the rapid growth of the use of plastics in the packaging industry are convenience, safety, low cost and good aesthetic qualities. The incineration of such waste produces a large amount of carbon dioxide, which promotes global warming. These environmental problems have created an urgent need for the development of green polymeric materials that are unrelated to the use of toxic and harmful components in their production and may decompose in nature. For these reasons the development of biodegradable materials with controlled properties is the subject of big research challenge for scientists and engineers. Renewable resources can replace petroleum polymers with biopolymers through innovative technologies. There is increasing relevance for the development of new products based on bio and other innovative technologies that can reduce the widespread dependence on fossil fuels and at the same time contribute to the enhancement of national security, the environment and the economy.

The weldability of films of biodegradable polymers was experimentally been researched. A film intended for the packaging of foodstuffs was used and produced in the laboratory from a mixture of PLA and PHB polymers. The biodegradable film of the PLA/PHB polymer mixture was ultrasonic welded on a standard Branson press type installation. We used a sonotrode with a flat horizontal surface of two types – a flat polished surface and a profiled surface with regular pyramidal projections of the “knurling” type.

Biodegradable film seams welded by a profiled sonotrode were formed to form a uniform penetration over the entire joint area. On the outer surface of the seam, there are small fragments of degraded polymer material formed due to the concentration of mechanical stresses and temperature rise at the peak projections of the profiled surface of the sonotrode. All ultrasonic biodegradable film sealing welded joints were destroyed in the basic material during tensile tests. The structure of welded joints of biodegradable polymers has been studied by X-ray wide-angle scattering. The diffraction graphs for the main material of the samples used in the welding experiments are shown bellow.

Key words: biopolymers, welded joints, wide-angle X-ray diffraction patterns.

ТРАНСПОРТ

УДК 629.563.21

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/26>

Галь А.Ф.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Гайдай Г.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Грешнов А.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

АНАЛІЗ БАГАТОЯКІРНОЇ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПЛАВУЧИХ ОБ'ЄКТІВ ОКЕАНОТЕХНІКИ

Отримано математичний вираз, що дозволяє проводити оцінку впливу маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат», на основі якого було проведено чисельний аналіз якірних зв'язків плавучих бурових платформ різного типу. Показано, що вплив маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат» малий і лежить у межах 1–2%, а в багатьох випадках і значно нижче 1%, водночас вплив приєднаних мас води якірної лінії також лежить у цих межах. Доведено, що зі збільшенням попереднього натягу якірного каната вплив маси якірної лінії зменшується; зменшення робочої глибини й довжини канату також приводить до зменшення впливу маси якірної лінії. Водночас маса сталевих тросів має менший вплив на кінетичну енергію системи в порівнянні з якірними ланцюгами. На підставі проведених розрахунків було виведено статистичну формулу для оцінювального розрахунку приєднаних мас води якірних ліній багатоякірних систем у залежності від їхніх технічних характеристик (погонної ваги якірного зв'язку, його діаметру й довжини). Фізика утримання плавучих об'єктів за допомогою багатоякірних систем досить складна й залежить від конструкції самого плавучого об'єкта, глибини моря в районі його розташування, а також погодних умов, які мають свої особливості в залежності від географії, рельєфу морського дна й інших океанографічних умов. Представлено конструктивні рішення різного роду проблем, пов'язаних з експлуатацією якірних ліній у складі системи «плавучий об'єкт – якірний канат», які вирішуються шляхом зміни площі ланок якірних ланцюгів, використання дроселів і ламіраторів потоку, що може, на думку авторів, значно зменшити кількість аварій на об'єктах із пасивними системами позиціонування. Формалізовано концептуальні положення регулювання силових потоків у гнучких якірних зв'язках системи утримання плавучого об'єкта внаслідок зміни приєднаної маси води в якірних лініях шляхом застосування додаткових елементів ланок якірних ланцюгів, що мають спеціальну конструкцію (додаткові елементи у вигляді плоских пелюсток, дроселів, ламіраторів).

Ключові слова: якірна лінія, система позиціонування, кінетична енергія, океанотехніка, приєднана маса.

Постановка проблеми. Плавучі об'єкти океанотехніки експлуатуються по всьому світу й в абсолютно різних сферах діяльності. Більшість таких об'єктів мають пасивні багатоякірні системи, які виконують роль утримання над місцем експлуатації таких складних і коштовних плавучих споруд, як бурові платформи, рятувальні, бурові й науково-дослідні судна тощо. Водночас працюють такі системи на значних водних глибинах. Тому для розв'язання складної технічної задачі позиціонування плавучих засобів використо-

вують спеціальні якорі з підвищеною силою утримання та гнучкі зв'язки (ланцюги, канати й складені лінії) довжиною до 1 500 м і вище, кількість яких може сягати понад шістнадцять [2].

Фізика (кінематика) утримання плавучих об'єктів за допомогою багатоякірних систем досить складна й залежить від конструкції самого плавучого об'єкта, глибини моря в районі його розташування, а також погодних умов, які мають свої особливості в залежності від географії, рельєфу морського дна й інших океанографічних

умов. Тому дослідження впливу різних факторів, що діють на систему «плавучий об'єкт – якірний канат» досить актуальне на сьогодні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Натепер пасивним системам позиціонування присвячено багато робіт, серед яких можна виділити праці таких науковців, як П.П. Кульмач [4], а також Г.В. Симаков, К.Н. Шхинець і В.А. Сметлов [8]. Досить широкий аналіз сучасних систем утримання та їхніх методик розрахунку наведено в роботі Б.А. Бугаєнка, А.Ф. Галя та А.Ю. Андрейчикової [2].

Одним із перших досліджень у вітчизняній науці, яке присвячено теоретичним основам розподілу й управління силовими потоками в різних механізмах, стала монографія професора К.В. Фролова [10], де вперше було вивчено й формалізовано принципи й технології передачі механічної енергії в різних складних конструкціях механізмів. У книзі проаналізовано й узагальнено багатовіковий досвід робіт з інженерної логістики в Інституті проблем машинознавства АН СРСР. Однак оскільки ця сфера постійно розвивається, потрібні нові сучасні методи розрахунків і нові конструктивні розв'язання проблем експлуатації багатоякірних систем.

Постановка завдання. Метою статті є одержання математичного виразу для чисельної оцінки впливу маси якірної лінії з урахуванням приєднаних мас води на кінетичну енергію пасивної системи позиціонування, а також вибір конструктивних рішень щодо покращення роботи системи утримання.

Викладення основного матеріалу дослідження. Динаміка роботи багатоякірної системи утримання залежить від величини маси якірних ліній, що входять до її складу, а також їхніх приєднаних мас води. Тому важливим визначається дослідження впливу маси якірної лінії на коливання системи «плавучий об'єкт – якірний канат». Для цього скористаємося виразом для кінетичної енергії матеріальної системи [1]. На рис. 1 показано таку систему, де V_0 – максимальна швидкість руху точки якірної лінії, м/с.

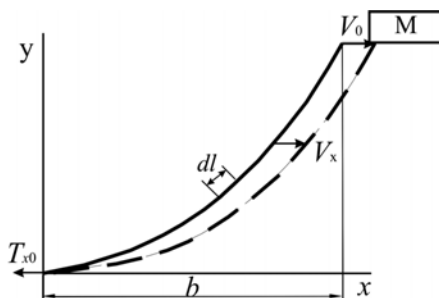


Рис. 1. Схема руху точок якірного каната

Оскільки система, що розглядається, складається з плавучого об'єкта і якірної лінії, то її кінетична енергія дорівнює:

$$T_{\Sigma} = T_{k1} + T_{k2}, \quad (1)$$

де T_{k1} – кінетична енергія плавучого об'єкта, Дж; T_{k2} – кінетична енергія якірної лінії, Дж.

Вираз для кінетичної енергії плавучого об'єкта запишеться так:

$$T_{k1} = \frac{MV_0^2}{2}, \quad (2)$$

а вираз для кінетичної енергії якірної лінії наступний:

$$T_{k2} = \int_0^l \frac{m_u V_x^2}{2} dl, \quad (3)$$

де M – маса плавучого об'єкта, кг; l – повна довжина якірної лінії, м; m_u – маса одиниці довжини якірної лінії, кг/м; dl – одиничний елемент лінії, м; V_x – швидкість переміщення одиничної ділянки якірної лінії, м/с.

$$V_x = \frac{V_0}{b} x, \quad dl = \frac{dx}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

Таким чином, в результаті отримали:

$$T_{k2} = \int_0^b \frac{m_u}{2} \frac{V_0^2}{b^2} x^2 \frac{dx}{\cos \alpha} = \frac{m_u}{2} \frac{V_0^2}{b^2} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \alpha} dx, \quad (5)$$

Вираз (5) додатковий, тобто на стільки необхідно збільшити масу плавучого об'єкта, щоб отримати масу системи «плавучий об'єкт – якірний канат». Інакше кажучи:

$$T_{\Sigma} = T_{k1} (1 + \text{otn}),$$

де otn – відношення кінетичної енергії якірного каната до кінетичної енергії плавучого об'єкта, яке знайдеться з виразу:

$$\text{otn} = \frac{\frac{m_u}{2} \frac{V_0^2}{b^2} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \alpha} dx}{\frac{MV_0^2}{2}},$$

або

$$\text{otn} = \frac{m_u}{b^2 M} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \alpha} dx, \quad (6)$$

З роботи Б.А. Бугаєнка, А.Ф. Галя та А.Ю. Андрейчикової [2] відомо, що:

$$\alpha = \arctg \left(\sinh \left(\frac{qx}{T_{x0}} \right) \right).$$

В результаті одержуємо ($m_u = q(x)l / g$, $q(x)$ – погонна вага каната, Н/м), що:

$$T_{k2} = \frac{q(x)l}{2g} \frac{V_0^2}{b^2} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \left(\arctg \left(\sinh \left(\frac{q(x)x}{T_{x0}} \right) \right) \right)} dx, \quad (7)$$

Пояснимо вираз (7). Очевидно, що в q повинна входити не тільки погонна маса канату, але й приєднана маса води. Приєднана маса води якірного ланцюга й тросу істотно змінюється в залежності від напрямку руху елементів якірної лінії (наприклад, для ланцюга це питання досліджено у роботі В.И. Владинця [3]). З цього маємо, що при підставлянні m_u в (3) залежність T_{k2} буде відрізнятися від (5), в якому q прийнято постійним для всіх точок якірної лінії. Однак враховуючи оцінювальний характер розрахунку, прийнемо $q(x) = \text{const}$, що, очевидно, дасть похибку в безпечний бік, а $M = m_o + \lambda_1$:

$$\text{отн} = \frac{\left(\frac{ql}{g} + \lambda_2 \right)}{b^2(m_o + \lambda_1)} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \left(\arctg \left(\sinh \left(\frac{qx}{T_{x0}} \right) \right) \right)} dx, \quad (8)$$

де m_o – маса плавучого об’єкта, кг; λ_1 – приєднана маса плавучого об’єкта, кг; λ_2 – приєднана маса всього каната, кг.

Таким чином, у результаті проведених математичних перетворень отримано вираз для оцінки впливу маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об’єкт – якірний канат».

Далі проведемо чисельний аналіз. Як установку для дослідження візьмемо ряд плавучих бурових установок із приєднаною масою в горизонтальному напрямі ділянки якірного ланцюга довжиною 1 м (розрахунок по роботі В.И. Владинця [3]) і приєднаною масою в горизонтальному напрямі плавучого об’єкта (розрахунок по Довіднику з теорії корабля [9]), розрахованими в табл. 1.

Після проведеного розрахунку за формулами (1)–(8) отримали такі графіки залежностей (рис. 2).

Таким чином, як видно з рис. 2, зі збільшенням попереднього натягу якірного каната вплив маси якірної лінії зменшується; зменшення робочої глибини й довжини канату також приводить до зменшення впливу маси якірної лінії. Водночас маса сталевих тросів має менший вплив на кінетичну енергію системи в порівнянні з якірними ланцюгами.

Наведена вище табл. 1 дозволила одержати статистичну залежність приєднаних мас води якірної лінії від діаметра лінії, погонної ваги лінії та її довжини (рис. 3):

$$y(d,s,q) = 88.9\lambda_2^{0.568}.$$

Таблиця 1

Вплив маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об’єкт – якірний канат»

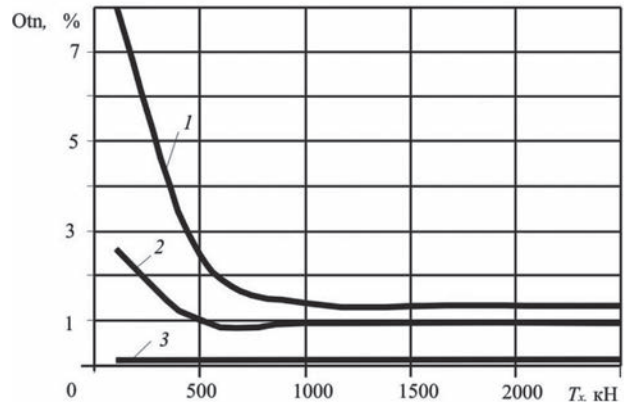
Назва НПБУ	Кількість зв’язків, n	Діаметр d , мм	Маса 1 м якірної лінії q , кг/м	Довжина 1 каната s , м	Водогоннажність m , кг	Маса плавучого об’єкта, яка приходить на 1 лінію m/l , кг	Приєднана маса НПБУ, яка приходить на 1 лінію λ_1/l , кг	Маса 1 каната q , кг	Приєднана маса каната λ_2 , кг	Отн, %
Троси										
DSS 20 (катамаран)	8	76,2	21	3 255	30 320 000	3 790 000	6 100 000	67 000	1 5000	0,2
SSDT 3 600 (катамаран)	8	76,2	21	5 000	17 516 000	2 190 000	4 500 000	102 000	2 3000	0,5
Penta 81 (пентагон)	10	69,8	17	1 698	16 050 000	1 610 000	7 800 000	29 000	6 500	0,1
Penta 84 (пентагон)	10	69,8	17	1 710	17 600 000	1 760 000	7 800 000	2 9000	6 500	0,1
Penta 83 (пентагон)	10	69,8	17	1 710	17 600 000	1 760 000	7 800 000	29 000	6 500	0,1
Ланцюги										
Шельф-1 (катамаран)	8	76	124	1 000	19 770 000	2 471 000	5 800 000	124 000	14 000	0,5
Aker H-3 (катамаран)	8	76,2	124	915	19 950 000	2 494 000	5 700 000	113 000	12 000	0,4
Ocean Prospector (тетрамаран)	8	69,8	104	1 006	19 520 000	2 440 000	5 900 000	105 000	11 000	0,4

У цілому аналіз результатів розрахунків показав, що вплив маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат» малий та лежить у межах 1–2%, а в багатьох випадках і значно нижче 1%, водночас вплив приєднаних мас води якірної лінії також лежить у цих межах. Таким чином, з урахуванням особливостей експлуатації якірних ліній стає можливим регулювання та управління силовими потоками, що виникають у конструкції багатоякірної системи шляхом зміни площі ланок якірних ланцюгів, використання дротів і ламінаторів потоку, що може, на думку авторів, зменшити кількість аварій на об'єктах із пасивними системами позиціонування. Далі пропонуються наступні конструктивні розв'язання проблем експлуатації такого роду систем на прикладі якірного ланцюга.

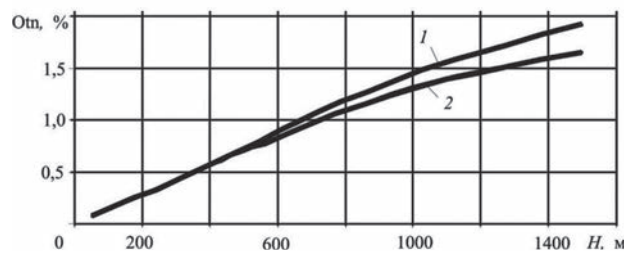
Першим конструктивним рішенням щодо вдосконалення якірного ланцюга є виконання його елементів у вигляді пелюсток на зовнішній поверхні напівланок (рис. 4) [5].

При коливаннях у воді ланка якірного ланцюга, що містить пруток (стрижень) 1 овальної форми й складається з двох U-подібних напівланок 2, 3, а також контрфорса 4, рухається у воді, яка перешкоджає її переміщенням, водночас елементи у вигляді пелюсток 6 на зовнішній поверхні 5 напівланок 2, 3 збільшують приєднані маси води й підвищують опір руху якірного ланцюга у воді.

Ефективність використання ланок з елементами у вигляді пелюсток дозволяє значно знизити можливість виникнення ривків в якірних ланцюгах під час експлуатації в складних метеорологічних



а



б

Рис. 2. Графіки залежностей відношення кінетичної енергії якірного каната до кінетичної енергії плавучого об'єкта:

а – від попереднього натягу при різних робочій глибині: 1 – $H = 1500$ м; 2 – $H = 1000$ м; 3 – $H = 500$ м;

б – від робочої глибини плавучого об'єкта при різному попередньому натягу:

1 – $T_{x0} = 500$ кН; 2 – $T_{x0} = 2000$ кН

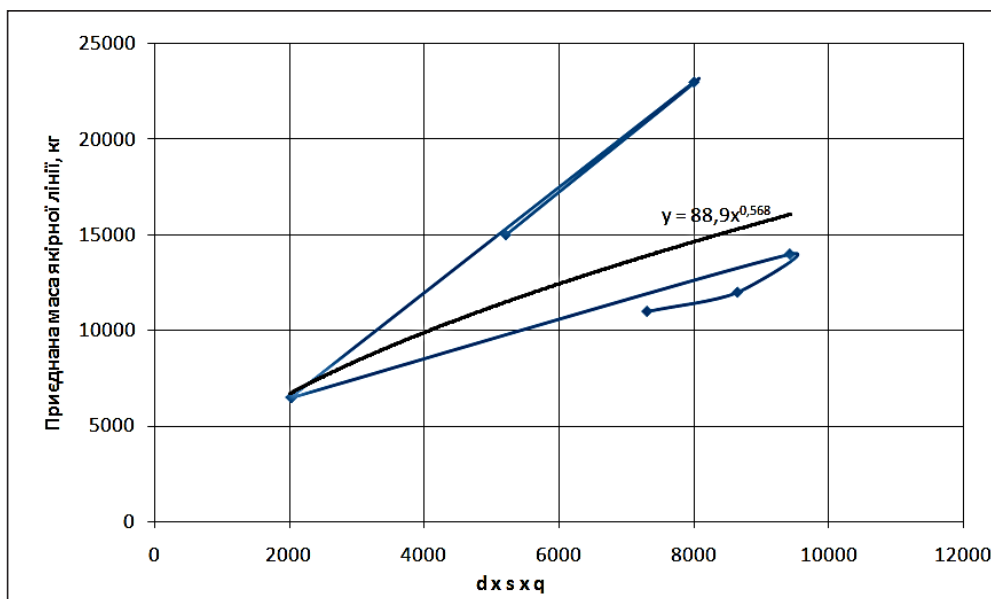


Рис. 3. Статистична формула для розрахунку приєднаних мас води якірних ліній у залежності від їхніх технічних характеристик

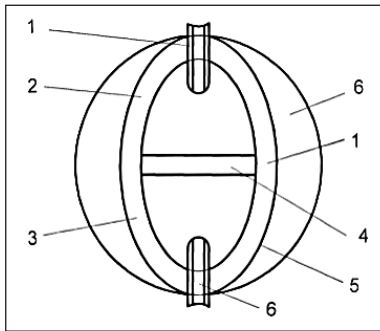


Рис. 4. Ланка якірного ланцюга з елементами у вигляді пелюсток

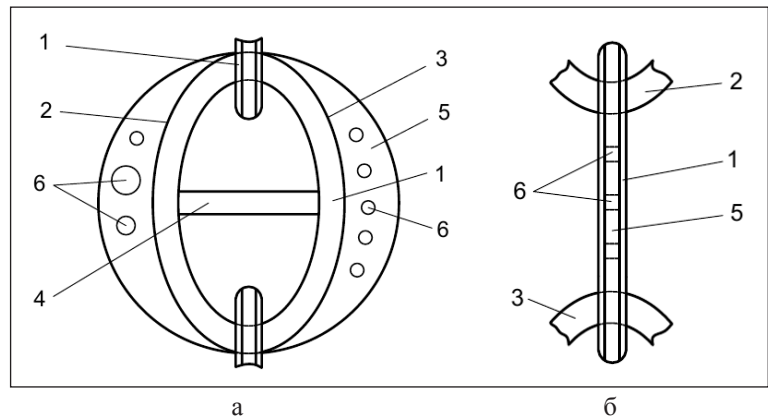


Рис. 5. Удосконалена ланка якірного ланцюга: а – фронтальний вигляд; б – вигляд збоку

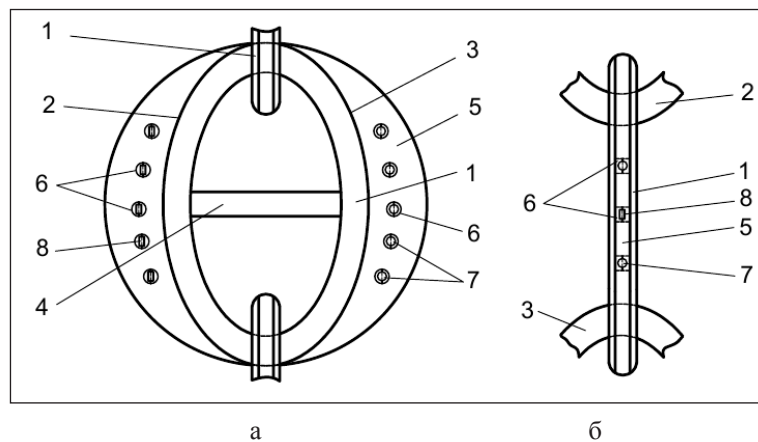


Рис. 6. Ланка якірного ланцюга з ламінаторами: а – фронтальний вигляд; б – вигляд збоку

умовах шляхом збільшення величини приєднаних мас води й тим самим підвищити опір переміщенням якірних ланцюгів і плавучої споруди в цілому.

Наступне конструктивне рішення [6] є удосконаленням попереднього, а саме: в пелюстках виконано крізні отвори, що перетинають їхні фронтальні поверхні, водночас крізні отвори мають різні діаметри й виконані асиметрично на лівому й правому пелюстках (рис. 5). Працює це наступним чином.

При коливаннях у воді ланка якірного ланцюга, що містить пруток (стрижень) 1 овальної форми й складається з двох U-подібних напівланок 2, 3, (а також контрфорса 4), на зовнішній поверхні яких виконано елементи у вигляді пелюстків 5, рухається у воді, водночас крізні отвори 6 виконують функцію дроселів шляхом того, що вода проходить крізь ті отвори, й тим самим виконується демпфування (зменшення) переміщень ланок під впливом підводних течій. Різниця у величині діаметрів крізних отворів 6 враховує різницю в силах, що виникають у результаті дії течій на об'єкт експлуатації. Водночас асиметричність крізних отворів 6 на лівому й правому пелюстках

приводить до виникнення скручувальних моментів і зміни положення якірного ланцюга з метою, щоб він зайняв раціональне положення у воді під впливом підводної течії. Ефективність використання таких ланок дозволяє значно знизити ймовірність виникнення ривків в якірних ланцюгах під час експлуатації шляхом гасіння енергії води й тим самим підвищення опору переміщенням якірних ланцюгів.

Третім конструктивним рішенням стало використання спеціальних ламінаторів потоку [7], які встановлено в отворах пелюстків якірного ланцюга (рис. 6).

Крізні отвори 6 виконують функцію дроселів шляхом того, що вода проходить крізь ті отвори, й тим самим виконується демпфування (зменшення) переміщень ланок під впливом підводних течій. Однак при проходженні рідини крізь отвори 6 може виникати явище турбулентності, яке викликає зрив вихрив, тому сфери 7 і циліндри 8, які розміщено в крізних отворах 6, виконують роль ламінаторів потоку шляхом їхнього обертання навколо власній вісі. Ефективність використання таких ланок дозволяє практично

повністю виключити можливість ривків в якірних ланцюгах під час експлуатації в складних метеорологічних умовах шляхом гасіння енергії води й ламінування потоку рідини.

Висновки. У результаті проведених математичних перетворень отримано вираз, що дозволяє проводити оцінку впливу маси якірної ланки на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат», на основі якого було проведено чисельний аналіз якірних зв'язків.

На підставі проведених розрахунків було виведено статистичну формулу для розрахунку при-

єднаних мас води якірних ліній у залежності від їхніх технічних характеристик.

Представлено конструктивні розв'язання проблем, пов'язаних з експлуатацією якірних ліній у складі системи «плавучий об'єкт – якірний канат». Формалізовано концептуальні положення регулювання силових потоків у гнучких якірних зв'язках системи утримання плавучого об'єкта внаслідок зміни приєднаної маси води в якірних лініях шляхом застосування додаткових елементів ланок якірних ланцюгів, що мають спеціальну конструкцію (додаткові елементи у вигляді плоских пелюсток, дроселів, ламінованих).

Список літератури:

1. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах : учебное пособие : в 3 т. / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. Москва : Главн. ред. физ.-мат. лит. изд. «Наука», 1973. Т. 2. 468 с.
2. Бугаенко Б.А., Галь А.Ф., Андрейчикова А.Ю. Многоякорные системы удержания плавучих сооружений океанотехники. Николаев : НУК, 2011. 340 с.
3. Владинец Г.И. Экспериментальное определение динамических характеристик цепного якорного каната. *Труды НКИ : Проектирование, конструкция и устройство судов*. Николаев : НКИ, 1979. Вып. 154. С. 85–88.
4. Кульмач П.П. Якорные системы удержания плавучих объектов (Вопросы статики и динамики плавучих сооружений на якорях). Ленинград : Судостроение, 1980. 336 с.
5. Ланка якірного ланцюга : пат. 108272 Україна : МПК (2006.01), В63В 21/04, В63В 21/20, № u201600411 ; заявл. 18.01.16 ; опубл. 11.07.16, Бюл. № 13. 3 с.
6. Ланка якірного ланцюга : пат. 129262 Україна : МПК (2006.01), В63В 21/04, В63В 21/20, № u201504512 ; заявл. 24.04.18 ; опубл. 25.10.18, Бюл. № 20. 3 с.
7. Ланка якірного ланцюга : пат. 139074 Україна : МПК (2006.01), В63В 21/02, В63В 21/20, № u201904000 ; заявл. 16.04.19 ; опубл. 26.12.19, Бюл. № 10. 3 с.
8. Симаков Г.В., Шхинек К.Н., Смелов В.А. и др. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе : учебник. Ленинград : Судостроение, 1989. 328 с.
9. Справочник по теории корабля. Статика судов. Качка судов : в 3-х т. / под ред. Я.И. Войткунского. Ленинград : Судостроение, 1985. Т. 2. 440 с.
10. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. Москва : Машиностроение, 1984. 224 с.

Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. ANALYSIS OF THE MARINE TECHNOLOGY FLOATING OBJECTS MULTI-ANCHOR POSITIONING SYSTEM

The mathematical expression, allowing you to conduct an assessment of the anchor line mass to the kinetic energy of the “floating object – anchor rope” system, has been obtained, and on the basis of such a numerical analysis of the anchor ropes of the floating drilling rigs different types was carried out. It is shown that the influence of anchor line mass on the kinetic energy of the “floating object – anchor rope” system is small and lies at the range of 1–2%, and at the most cases it is significantly lower than 1%, while at the same time the effect of attached water masses of anchor ropes is at these limits. It has been said that for the increasing tightness of the anchor rope the flow of its mass will be decreasing; and decreasing the working depth and length of anchor rope also lead to the decreasing of the anchor line mass. In this case, the mass of steel cables has a smaller effect on the kinetic energy of the system compared to the anchor chains. On the basis of the calculations, a statistical formula for the estimation of the connected water masses of the multi-anchor systems anchor lines, depending on their technical characteristics (linear weight of the anchor link, its diameter and length) was derived. The physics of floating objects containment by means of multi-anchor systems is rather complicated and depends on the floating object itself construction, the sea depth in the area of its location, as well as the weather conditions, which have their peculiarities depending on geography, seafloor relief and other oceanographic conditions. Design solutions to various problems associated with the anchor lines operation in the system “floating object – anchor rope” was presented, which are solved by changing the anchor chains links area, the use of throttles and flow laminators, which may, according to the authors, significantly reduce the accidents number at facilities with passive positioning systems. Conceptual positions of power flow regulation in flexible anchor links of the floating objects retention system are formalized by changing the attached water masses in anchor lines by applying additional elements of anchor chains links having a special design (additional elements in the form of flat petals, throttles, laminators).

Key words: anchor line, positioning system, kinetic energy, marine technology, attached mass.

Кисельов В.Б.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Доля О.Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки

РИЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

У статті досліджуються сучасні проблеми функціонування транспортних систем міст, зумовлені розвитком автомобілізації та підвищенням рухливості населення при обмеженнях щодо збільшення пропускної здатності шляхів сполучення. Вирішення цих проблем лише організаційними заходами або реконструкцією вулично-дорожньої мережі не дає змоги отримати бажаного результату, хоча й сприяє покращенню транспортної ситуації на певний період часу. Комплексно з вказаними заходами слід планувати керуючі дії з організації та управління роботою маршрутного пасажирського транспорту, який є альтернативою індивідуальному. Не потребує додаткових пояснень той факт, що ефективні маршрути, які забезпечують доступну ціну за проїзд і в той же час є прибутковими, можуть бути інвестиційно привабливими і становити основу всієї транспортної системи міського пасажирського транспорту.

Одним із напрямів забезпечення ефективного функціонування систем міського пасажирського транспорту є виявлення та обґрунтування факторів ефективності транспортних систем, розробка теорії і методів організації та управління розвитком транспортних систем. З умов функціонування систем міського пасажирського транспорту в нестабільному середовищі виникла необхідність у комплексному підході до формалізації ефективності транспортних систем. Разом із цим в сучасній науці і практиці ще не існує наукових методів і підходів, які б давали змогу дослідити ефективність функціонування маршрутів з урахуванням стохастичності більшості параметрів, які мають місце в загальному комплексному підході аналогічних досліджень. З викладеного вбачається, що встановлення ефективності функціонування маршрутів міського пасажирського транспорту з урахуванням нестабільності середовища функціонування визначених систем є актуальним.

Ключові слова: транспортна система, маршрут міського пасажирського транспорту, ефективність перевезень, стохастичність перевізного процесу, обсяг перевезень, період окупності.

Постановка проблеми. Проблематика розрахунків показників функціонування міських пасажирських транспортних систем полягає в нестабільності середовища функціонування таких систем і стохастичності параметрів, які використовуються для розв'язання відповідних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Середовище має в собі сукупність факторів, які впливають на проект в часі й мають враховуватися в системі управління процесом [1, 2].

Виникнення ризиків в системах управління проектами пов'язують саме із нестабільністю зовнішнього середовища, що виявляється в згаданих проектних відхиленнях. Слід зазначити, що такі проектні відхилення не є постійними в часі [2, 3]. Серед обставин виникнення ризиків із зовнішнього середовища науковці виділяють такі:

1. Неповна інформація (недостовірна).
2. Недостатня здатність керівників у сприйнятті та обробці інформації.

3. Випадковість виникнення небажаних обставин.

4. Протидія конкурентів.

Також не нехтують і ризиками, пов'язаними із ресурсами проекту: фінансовим, матеріальним, трудовим і часовим ресурсами [2, 4].

Інші науковці під зовнішнім середовищем розуміють джерело тих впливів на стан або параметри об'єкта управління, які не входять в склад впливів, заподіяних особою, яка приймає рішення по управлінню проектом [5]. Стан проекту є сумарним результатом впливів зовнішнього середовища й рішень по управлінню проектом. Виділяють і обставини виникнення ризиків як наслідок зміни стану середовища в часі [2, 5].

Науковцями розглянуто й питання економічного ризику, поділено його на природні, екологічні, політичні, комерційні й транспортні ризики [6, 7]. Запропоновано вважати, що об'єктом системи управління ризиками є сам ризик, який

уособлює в собі поєднання вірогідності настання ризику та прогнозування його наслідків. При цьому науковці схильні розглядати ризик як підставу для настання небажаного відхилення від прогнозованого результату реалізації проекту [5–7]. Однак термін «ризик» використовується для описання негативного впливу на економічні показники від реалізації проекту, не враховуючи вірогідність настання стану середовища системи управління проектом, в якому економічні або ресурсні показники здобудуть кращі від очікуваних результати.

Отримано й розвиток в управлінні ризиками як необхідність прогнозування й врахування стану середовища проекту для формування вартостей продукції [7–10]. Це надало можливість застосовувати здобуті знання для провадження ціноутворення із закладанням в остаточну вартість продукції можливостей відхилень показників проекту. В таких розрахунках настання ризику вираховується як вірогідність настання ризику, його характеристики, вплив на проект, обрахування змін у проекті та оцінка шкоди проекту від настання такого явища в системі або середовищі. Методи оцінки ступеню ризику зводяться до оцінки вірогідності настання результату за наслідками прийняття рішення.

В проекті із закупівлі транспортних засобів одним із показників проекту є дохід, отриманий від транспортної роботи [11–12]. На цьому етапі для проекту дохід є одним із фінансових ресурсів, обмежений особливостями середовища, в якому виконується проект. При цьому відсутність фінансового ресурсу у запланованих кількісних показниках може призвести до погіршення економічних показників проекту. В найгіршому випадку нестача фінансового ресурсу може призвести до недоцільності впровадження проекту, що пов'язано із виходом часу настання періоду окупності за межі часового обмеження існування проекту.

В управлінні інвестиційним проектом із закупівлі транспортних засобів до енергоресурсів можна віднести паливно-мастильні матеріали як такі, які є нафтопродуктами. В сучасній транспортній галузі основним енергоресурсом в Україні є здебільшого імпортовані нафтопродукти, які впливають на основну витратну частину виробництва [13–15].

Методи вибору рухомого складу для задоволення потреб підприємства науковцями розглядалися [16], проте вони не пропонують обирати конкретні моделі транспортних засобів, виходячи

з норм витрати паливно-мастильних матеріалів, технічного обслуговування, ремонту. Автором [17–18] наведено загальні принципи інвестиційного проекту автотранспортного підприємства, визначено можливість вибору моделі транспортного засобу за принципом порівнянь економічних показників інвестиційних проектів для різних транспортних засобів.

На сучасному етапі розвитку автомобільної промисловості виробники транспортних засобів прагнуть до зменшення витрат паливно-мастильних матеріалів. Це пов'язано із загальносвітовою потребою в економії енергоресурсів з фінансової та екологічної точки зору. При цьому сучасний ринок продажу транспортних засобів демонструє різницю вартості між різними марками однотипних транспортних засобів. Це пов'язано з різним рівнем комфортності, систем безпеки, роком початку виробництва та проектування, споживанням паливно-мастильних матеріалів.

Постановка завдання. Завданням дослідження є оцінка впливу маршрутів міського пасажирського транспорту з урахуванням стохастичності складників параметрів їхнього функціонування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для виявлення характеру розподілу цих розбіжностей між параметрами функціонування було визначено відхилення між планом і фактичними даними, оскільки фінансові показники мали значні коливання в натуральних показниках. Результатом цих досліджень стали графіки розподілу відхилень існуючих витрат на паливо, мастильні матеріали, технічне обслуговування і ремонт, шини від розрахованих за детермінованими залежностями (Рис. 1–2).

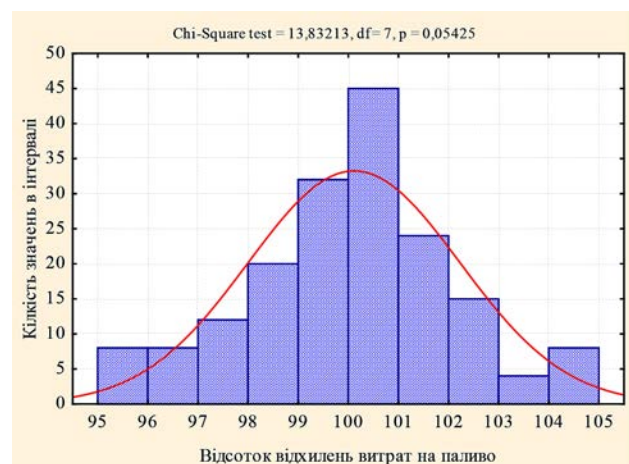


Рис. 1. Графік розподілу відхилень існуючих витрат на паливо від розрахункових значень

Графіки (Рис. 1–2) були побудовані із використанням програмного продукту Statistica, тому на кожному з них відображається крива закону розподілу випадкових величин. Всі вони описуються нормальним законом розподілу випадкових величин. Відповідно функція розподілу випадкових величин за нормальним законом має такий вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

де a – математичне очікування, медіана й мода розподілу;

σ – стандартне відхилення (σ^2 – дисперсія) розподілу.

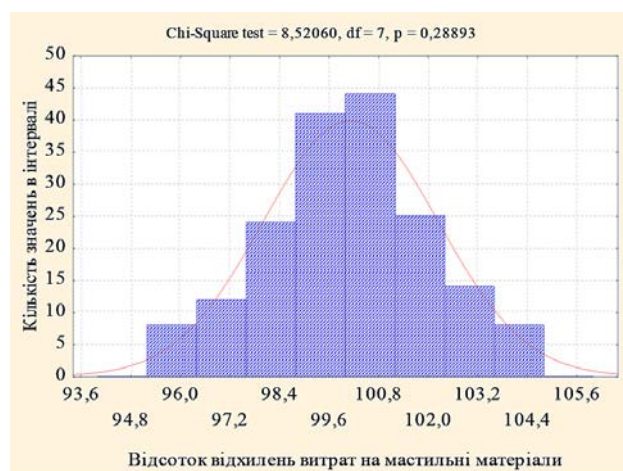


Рис. 2. Графік розподілу відхилень існуючих витрат на мастильні матеріали від розрахункових значень

Для перевірки гіпотези про відповідність статичного розподілу з теоретичними було використано критерій Пірсона (χ^2), який також розраховано в програмі Statistica. Для розподілу витрат на паливо критерій Пірсона становить $\chi^2 = 13,83$ при кількості ступенів свободи $df = 7$. При цьому ймовірність відповідності склала $p = 0,05425$, що більше прийнятої на $0,05$. Тому можна стверджувати, що відхилення реальних витрат на паливо від розрахованих описуються нормальним зако-

ном. Для врахування стохастичності перевізного процесу доцільно враховувати такі відхилення шляхом розподілу n -го обсягу перевезень за період часу t .

Висновки. Маються наукові положення про систему управління проектами, в якій на сучасному етапі розвитку наукових положень виділяється в окремі процеси управління підсистемами системи управління проектами. Система проекту не є ізольованою й знаходиться в середовищі, яке впливає на проект з моменту його утворення в управлінні проектними відхиленнями. Тому розгляд питання щодо впливу середовища на систему є актуальним.

Управління ресурсами проекту має здійснюватися з урахуванням впливу одного ресурсу на інші. Оцінка ефективності управління ресурсом проводиться по всій системі управління проектом, а не в рамках окремо розглянутої підсистеми проекту. Удосконалення наукових підходів до управління ризиками проекту з урахуванням особливостей середовища проекту повинне підлягати комплексному дослідженню.

Створення математичних моделей планування розвитку та економічних показників проекту є одним із найдієвіших механізмів при плануванні проектних рішень. Мається на увазі ймовірність впливу середовища на систему, при якому створюються умови покращення економічних показників проекту. Тому питання прогнозування настання такого явища та його вплив на проект є актуальним. Крім того, будь-який проект і його управління перебувають у середовищі впливу детермінованих і стохастичних параметрів впливу. При цьому наявність стохастичних факторів створює умови для виникнення песимістичного й оптимістичного варіантів розвитку параметрів управління. Виявлення закономірностей і механізмів управління параметрів функціонування маршрутів міського пасажирського транспорту може бути метою цієї роботи з відповідними розділами дослідження.

Список літератури:

1. Балашов А.И., Рогова Е.М., Тихонова М.В. Управление проектами : учебник для бакалавров / под ред. Е.М. Роговой. М. : Издательство Юрайт, 2013, 383 с.
2. Ципес Г.Л. Менеджмент проектов в практике современной компании / Г.Л. Ципес, А.С. Товб. М. : Олимп-Бизнес, 2006. 29 с.
3. Воркут Т.А. Проектный анализ : навч. посіб. / Т.А. Воркут. К. : Укр. центр духовної культури, 2000. 428 с.
4. Королькова Е.М. Риск-менеджмент: управление проектными рисками : учебное пособие для студентов экономических специальностей / Е.М. Королькова. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 160 с.
5. Покровский А.К. Риск-менеджмент на предприятиях промышленности и транспорта : учебное пособие / А.К. Покровский. М. : КНОРУС, 2014. 160 с.

6. Бугрова С.М., Гук Н.М. Риск-менеджмент : Учебное пособие / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2005. 132 с.
7. Поляков Р.К. Развитие риск-менеджмента в предпринимательстве: концептуальный подход / Р.К. Поляков // Менеджмент в России и за рубежом. 2008. № 1. С. 60–65.
8. Свиткин М.З. Формирование системы менеджмента риска компании / М.З. Свиткин // Методы менеджмента качества. 2010. № 2. С. 31–37.
9. Стрижакова Е.М. Внедрение интегрального управления рисками на промышленном предприятии / Е.М. Стрижакова, Д.Л. Стрижаков // Менеджмент в России и за рубежом, 2006. № 3. С. 112–117.
10. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами : Учебное пособие / Под общ. ред. И.И. Мазура. 2-е изд. М. : Омега-Л, 2004. С. 664.
11. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок в крупнейших городах : автореф. дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.22.01 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / В.К. Доля. М., 1993. 42 с.
12. Вдовиченко В.А. Эффективность функционирования городской пассажирской транспортной системы // дис. на соискание научной степени канд. техн. наук. Харьков : ХНАДУ, 2004. 193 с.
13. Доля В.К. Пасажи́рські перевезення : Підручник / В.К. Доля. Х. : «Форт», 2011. 504 с.
14. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Варелопуло. М. : Транспорт, 1981. 200 с.
15. Антошвили М.Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю. Либерман, И.В. Спирин. М. : Транспорт, 1985. 102 с.
16. Спирин И.В. Городские автобусные перевозки : Справочник / И.В. Спирин. М. : Транспорт, 1991. 237 с.
17. Доля В.К. Методы организации перевозок пассажиров в городах / В.К. Доля. Х. : Основа, 1992. 144 с.
18. Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. М. : Высшая школа, 1980. 535 с.

Kyselov V.B., Dolia O.Ye. RISKS OF FUNCTIONING OF URBAN PASSENGER TRANSPORT SYSTEMS

In the article, the effectiveness of the functioning of urban passenger transport routes is considered. It is established that the functioning of urban passenger transport routes takes place in a non-isolated environment, affects the system from the time it was created, and can lead to a discrepancy between the calculated and actual system performance. As a result of the analysis of the performance indicators of the passenger transportation route, it is revealed that the environment of the functioning of routes affects their effectiveness in a complex manner. As a result, the mutual influence of one factor on the other should be taken into account. The performance evaluation should be carried out for the entire route system, and not within the separately considered subsystem.

The integrated approach to determining the efficiency of urban passenger transport routes is based not only on the permanent, but also on the stochastic parameters that occur during the functioning of these routes. The developed algorithm for determining the efficiency of urban route passenger transport, in contrast to existing ones, takes into account the interrelation of incomes and expenditures, modern ideas about the patterns of changes in the probability of development of optimistic, pessimistic and intermediate variants of the development of route effectiveness events.

Key words: *transport system, urban passenger transport route, traffic efficiency, transportation process stagnancy, traffic volume, payback period.*

Кутковецька Т.О.

Уманський національний університет садівництва

Березовський А.П.

Уманський національний університет садівництва

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ З ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

В роботі розглядаються питання щодо ефективності використання машино-тракторних агрегатів при виконанні операцій з обробітку ґрунту та їх техніко-економічної оцінки. Наведено низку показників, які застосовуються для оцінки роботи машин і агрегатів у сільському господарстві при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту. Якість виконуваних польових робіт залежить від конструктивних особливостей сільськогосподарських машин, їх відповідності технологічній операції, регульовальних параметрів і технічного стану машини, а також від умов роботи: фізико-механічних властивостей ґрунту, рельєфу місцевості, якості роботи через різний технічний стан машини, а також умов обробітку ґрунту на етапі попередніх операцій і показників, зумовлених подальшими процесами обробітку ґрунту.

Одну і ту ж роботу можна виконувати різними агрегатами. При цьому показники їхньої ефективності можуть суттєво відрізнятися. Тому техніко-економічні розрахунки дозволяють з альтернативних комплексів машин обрати той, який забезпечить господарству найменші витрати на виконання всього обсягу робіт. Зокрема, для оцінки роботи машино-тракторних агрегатів при виконанні технологічних операцій використовуються такі показники: показники, які характеризують зміни експлуатаційних витрат, показники трудомісткості та продуктивності праці, техніко-економічні показники, показники, які характеризують ефективність капітальних витрат, річний економічний ефект за приведеними витратами.

В результаті проведених досліджень було визначено, що критерієм, який використовується для оцінки ефективності використання машино-тракторних агрегатів при виконанні операцій із обробітку ґрунту, є співвідношення експлуатаційних затрат і необхідних для цих умов обсягів механізованих робіт, виконаних якісно та в агротехнічні терміни.

Ключові слова: *машино-тракторні агрегати, обробіток ґрунту, техніко-економічна оцінка, технологічні операції, питомі витрати, сільськогосподарські машини.*

Постановка проблеми. В сучасному світі галузь рослинництва є однією з головних ланок сільського господарства, яка базується на високому рівні механізації та індустріалізації. Вирощування сільськогосподарських культур здійснюється із застосуванням високопродуктивної техніки разом із прогресивними технологіями. Більшість сільськогосподарських машин працюють в агрегаті з потужними швидкісними тракторами, які забезпечують високу продуктивність техніки та короткі оптимальні терміни виконання робіт. Натепер кожен 1% приросту виробництва сільськогосподарської продукції потребує збільшення витрат енергії на 2-3%.

Все це перетворює рослинництво в досить енергоємну галузь виробництва при високому техногенному тискові на довкілля, особливо

на такий його складник як ґрунт. Тому перед сільськогосподарським виробництвом постає завдання в оптимальному формуванні та ефективності використання машино-тракторних агрегатів для вирощування сільськогосподарських культур з одержання високих врожаїв при найменших затратах ресурсів з урахуванням збереження довкілля. З інженерної точки зору цю проблему можна вирішити шляхом забезпечення рослинництва науково-обґрунтованими комплексами машин з їх техніко-економічною оцінкою та прогнозованим впливом на складники системи їх функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню питань ефективного формування та використання машино-тракторних агрегатів в рослинництві присвячені роботи Р.В. Антощенкова

[1, с. 161], А.І. Бойка [3, с. 8], М.Г. Бондаренка [4, с. 10], В.А. Грищенко [6, с. 174], В.А. Демешука [4, с. 40], О.О. Красноруцького [6, с. 175], В.І. Пастухова [3, с. 9], М.В. Шахмаєва [8, с. 210], В.Й. Шияна [9, с. 125] та інших. Проте існує багато питань, які є предметом для подальших досліджень щодо комплексу машино-тракторних агрегатів при виконанні робіт з обробітку ґрунту та їх техніко-економічної оцінки. Тому вказана проблема є дуже актуальною.

Постановка завдання полягає в теоретичному обґрунтуванні ефективності використання машино-тракторних агрегатів при виконанні робіт з обробітку ґрунту та надання їм техніко-економічної оцінки.

Виклад основного матеріалу дослідження. При вирощуванні сільськогосподарських культур механізація технологічних процесів займає одне з перших місць. Але існує проблема, яка полягає в тому, щоб вибрати раціональну сільськогосподарську машину при проведенні операцій з обробітку ґрунту, яка має високу продуктивність, низьку собівартість і максимально забезпечує оптимальні умови для посіву, росту і розвитку певної сільськогосподарської культури. Саме від того, наскільки показники якості машино-тракторних агрегатів відповідатимуть вимогам сільськогосподарських культур, буде залежати ефективність їхньої роботи.

Натепер машинно-тракторний парк будь-якого сільськогосподарського господарства є одним з найважливіших складників його матеріально-технічної бази, тому його потрібно постійно удосконалювати. Для виробництва конкурентоспроможної продукції необхідно забезпечити відповідність машинно-тракторного парку (далі – МТП) обсягам виробництва сільськогосподарської продукції у господарстві. У зв'язку з цим для кожного господарства необхідно визначити потужність, кількість власних тракторів, комбайнів та іншої техніки, види робіт, для виконання яких необхідно користуватися послугами підрядчиків.

В сучасних умовах господарювання доцільним є кооперування у використанні техніки, що дозволяє виконувати більший обсяг робіт меншою кількістю машинно-тракторних агрегатів (далі – МТА), зменшує капіталовкладення в МТП [4, с. 250].

Якість виконуваних польових робіт залежить від конструктивних особливостей сільськогосподарських машини, їх відповідності технологічній операції, регулювальних параметрів і технічного стану машини, а також від умов роботи: фізико-механічних властивостей ґрунту, рельєфу місце-

вості, густоти стояння рослин, мінливості якості роботи через різний технічний стан машини, а також умов обробітку ґрунту на етапі попередніх операцій і показників, зумовлених подальшими процесами обробітку ґрунту [3, с. 7].

Одну і ту ж роботу можна виконувати різними агрегатами. При цьому їх показники ефективності можуть суттєво відрізнятися. Тому техніко-економічні розрахунки дозволяють з альтернативних комплексів машин обрати той, який забезпечить господарству найменші витрати на виконання всього обсягу робіт. Для оцінки роботи машин і агрегатів у сільському господарстві при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту застосовується певна система показників (Рис. 1).

1) показники, які характеризують зміни експлуатаційних витрат (питому економію прямих витрат на одиницю роботи або одиницю продукції, річну економію, ступінь зниження експлуатаційних витрат);

2) показники трудомісткості та продуктивності праці;

3) техніко-економічні показники, які включають продуктивність машини за час змінного часу, її річний виробіток, витрати пального, енергоємність, матеріалоемність та інше;

4) показники, які характеризують ефективність капітальних витрат (питомі капіталовкладення, додаткові капіталовкладення, коефіцієнт ефективності капітальних витрат (фактичний) і термін окупності додаткових капіталовкладень);

5) річний економічний ефект за приведеними витратами [9, с. 127].

На рівні певних критеріїв впливають вихідні значення груп факторів. Питомі витрати ресурсів суттєво залежать від вартості технологічного обладнання, тобто тракторів та сільсько-господарських машин. Вони пов'язані з потужністю двигуна, паливною економічністю, масою машини та її продуктивністю. На останню характеристику впливає надійність машин, одним із найважливіших показників якої є середній час роботи між відмовами, а також час відновлення їх працездатності. Остання характеристика може включати час очікування запчастин, особливо для дорогого імпортного обладнання. Питомі витрати, необхідні для виконання технологічного процесу, суттєво залежать від вдалого вибору обладнання, зокрема доцільного вибору робочих органів агрегованих засобів, виду рушія [10, с. 100].

Питомими витратами ресурсів вважаються паливо, технологічні матеріали та кошти, необхідні на придбання обладнання (тракторів та

агрегатованих засобів), а також для ремонту під час виконання технологічних операцій. Для підрахунку витрат палива визначаються характеристики потужності двигуна, швидкість руху трактора та буксування.

Одним із головних показників роботи машинно-тракторних агрегатів є якість виконання технологічних операцій. Для деяких із них вона залежить від якості технологічних матеріалів, але дія цих факторів є неоднозначною і суттєво залежить від їх статистичних характеристик. Наприклад, відмінністю у продуктивності машинних агрегатів може бути різна ширина захвату сільськогосподарської машини. Що ж до розбіжності показників витрати палива, то вона пояснюється потужністю та економічністю двигуна енергетичної машини. Прямі експлуатаційні витрати показують, наскільки ефективно використовується машинний агрегат залежно від його вартості. Показник якості дає змогу оцінити машинний агрегат на предмет дотримання оптимальних умов для росту і розвитку рослини [1, с. 162].

Конструктивні параметри машинних агрегатів розраховані на визначену якість виконання механізованих робіт, але у виробничих умовах вони реалізуються не повністю. Причина – це склад ґрунтів, технічне налагодження агрегату, стан робочого матеріалу, погодні умови, кваліфікація механізатора і так далі [7, с. 72]. Так, у тісному зв'язку з продуктивністю праці механізаторів і рівнем використання техніки перебувають такі вартісні,

узагальнюючі показники як собівартість механізованих робіт і продукції. Вони безпосередньо відбивають рівень питомих виробничих затрат.

Не менш важливим показником при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту є продуктивність польових машинних агрегатів, яка здебільшого залежить від ефективності використання часу робочої зміни. Цей показник є одним із найважливіших резервів підвищення продуктивності. В балансі часу зміни налічується велика кількість складників, що характеризують непродуктивні затрати часу, які слід зменшувати, а збільшувати потрібно лише один параметр – час чистої роботи агрегату. Коефіцієнт використання часу зміни визначається як відношення часу чистої роботи агрегату до загального часу робочої зміни [5, с. 140].

Одним із головних чинників підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів є оптимальне комплектування агрегатів завдяки найраціональнійшій ширині захвату та вибору найкращого швидкісного режиму (маневрування передачами, використання всережимного регулятора, робота на підвищених швидкостях, використання широкозахватних і комбінованих агрегатів, маркерів і слідпокажчиків), які забезпечують повне використання конструктивної ширини захвату й потужності двигуна, якнайкраще завантаження трактора та забезпечення його роботи з максимальним тяговим коефіцієнтом корисної дії і найбільшою тяговою потужністю.

Висновки. Загалом під час вивчення питань щодо ефективності використання машинно-тракторних агрегатів та їх техніко-економічної оцінки при виконанні технологічних операцій з обробітку ґрунту необхідно розрізняти поняття «безпосереднього ефекту» (вираженого обсягом механізованих робіт) і «безпосередньої ефективності» (відношення безпосереднього ефекту до витрат) від кінцевого ефекту виробничої діяльності та кінцевої ефективності виробництва, які формуються завдяки визначеному сполученню низки чинників і умов, до яких належить і застосування техніки.

Критерієм, який використовується для оцінки ефективності використання машинно-

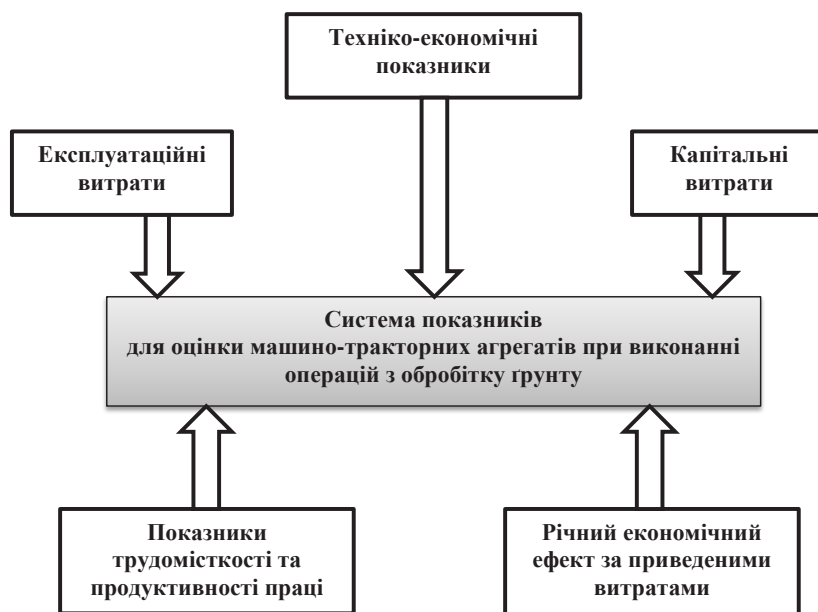


Рис. 1. Схема формування системи показників, яка використовується для оцінки машинно-тракторних агрегатів при виконанні операцій з обробітку ґрунту

тракторних агрегатів при обробітку ґрунту, є співвідношення експлуатаційних затрат і необхідних для цих умов обсягів механізованих робіт, виконаних якісно та в агротехнічні терміни. При цьому будь-який критерій ефективності припускає оптимальне співвідношення результату виробництва і необхідних для його одержання витрат.

Список літератури:

1. Антощенко В.М., Антощенко Р.В. Математична модель визначення потужності, необхідної для функціонування сільськогосподарського агрегату. *Системи обробітку інформації*. 2011. Вип. 8. С. 160–162.
2. Антощенко Р.В., Антощенко В.М. Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*. 2016. № 2. С. 105–112.
3. Бойко А.І., Пастухов В.І. Вибір оптимального складу комплексу МТА для виробництва сільгосп-культур. *Техніка АПК. Науково-технічний журнал*. 2006. № 3. С. 6–9.
4. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві. Київ : Вища школа, 1995. 237 с.
5. Гончаренко С.І. Інноваційні ресурсозберігаючі технології як фактор підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. *Вісник Харківського національного технологічного університету сільськогосподарства ім. П. Василенка*. 2017. Вип. 185. С. 131–142.
6. Красноруцький О.О., Грищенко В.А., Барчан К.М. Організаційно-економічний інструментарій управління інноваційним розвитком аграрних підприємств рослинницького напрямку. *Вісник Харківського національного технологічного університету сільськогосподарства ім. П. Василенка*. 2017. Вип. 185. С. 173–183.
7. Мельник І.І., Тивоненко І.Г., Фришев С.Г. та інші. Інженерний менеджмент : навчальний посібник. Вінниця : Нова книга, 2007. С. 137.
8. Шахмаев М.В. Экономическая эффективность применения сельскохозяйственной техники. Москва : Россельхозиздат, 1983. 207 с.
9. Шиян В.И., Пашенко В.Ф. Экономическая оценка техники и технических комплексов, технология производства и конструирование сельскохозяйственных машин. *Сб. науч. тр. Харьк. гос. аграр. ун-т*. Харьков, 1997. С. 124–136.
10. Шиян В.Й., Пашенко В.Ф. Порівняльна ефективність використання тракторів загального призначення виробництва різних країн. *Пропозиція*. 2000. № 12. С. 100–101.

Kutkovetska T.O., Berezovskyi A.P. THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE PERFORMANCE INDICES OF MACHINE-TRACTOR UNITS USE BY SOIL CULTIVATION

The paper deals with the efficiency of the machine-tractor units' use in performing soil cultivation and their technical and economic evaluation. A number of indicators are used to evaluate the work of machines and aggregates in agriculture when performing technological operations on soil treatment. The quality of field work depends on the structural features of agricultural machines, their compliance with the technological operation, adjusting parameters and technical condition of the machine, as well as on the conditions of work: physical and mechanical properties of soil, local topography, variability in the quality of work due to different technical condition of the machine, as well as the conditions of soil cultivation at the stage of previous operations and indicators determined by the subsequent soil cultivation processes.

The same work can be performed with different units. However, their performance indices may vary significantly. Therefore, the technical and economic calculations allow to choose the one from the alternative machine complexes, which will provide the economy with the lowest cost of doing the whole amount of work. In particular, the following indices are used to evaluate the work of machine-tractor units while performing the technological operations: indices that characterize changes in operating costs, labor requirement and labor productivity indices, technical and economic indices, indices that characterize the efficiency of capital expenditures, annual economic effect on the given costs.

As a result of the conducted researches it is determined that the criterion used to evaluate the efficiency of the use of machine-tractor units in performing the soil cultivation is the ratio of the operating costs and the volume of mechanized work required under such conditions, performed qualitatively and due to the agrotechnical terms.

Key words: machine-tractor units, soil cultivation, technical and economic evaluation, technological operations, specific consumption, agricultural machines.

Мельник О.М.

Одеський національний морський університет

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ТА ОБРОБКИ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ

Рішення технологічних питань доставки негабаритних вантажів до транспортного вузлу має безпосередній зв'язок з організацією морського перевезення, зумовлює такі підготовчі заходи для забезпечення транспортного процесу як вибір рухомого складу, обсяг вантажних операцій, вибір раціональної форми взаємодії видів транспорту, технологія вантажно-розвантажувальних робіт з використанням засобів портової механізації та вибір маршруту руху або траси переміщення вантажу.

Організацію транспортного процесу вирішують такі важливі елементи як планування, оперативне управління, контроль за виконанням етапів, порядок документообігу, облік витрат і тарифних ставок. Також рішення питань організації вантажних перевезень негабаритів не можливі без розробки та використання різноманітних технологічних схем доставки вантажу, які можуть відрізнятися як за формами транспортного обслуговування (це і застосування виду транспорту, напрями перевезень, способи транспортування і обслуговування вантажу), так і за конструктивними ознаками залежно від технологічних і організаційних вимог до перевезення. Зважаючи на це, цілком доцільною є розробка індивідуального підходу до складання та визначення оптимальної транспортно-технологічної схеми, враховуючи всі особливості вантажу, а також аналіз та опрацювання різних варіантів транспортно-технологічних схем, подібних за технологією перевезення, але відмінних за економічними показниками.

Завдяки послідовному втіленню політики інтеграції всіх видів транспорту підвищується роль і внутрішнього водного транспорту, особливо в міжнародних перевезеннях негабаритних вантажів, але в низці випадків морські судна не здатні здійснювати заходи в річкові порти, а річкові судна або плавзасоби не в змозі доставити вантаж через деякі технічні обставини. Саме тому виникає необхідність в пошуці альтернативних способів доставки вантажу або залучанні та взаємодії суміжних видів транспорту для цього типу перевезень.

Ключові слова: негабаритні вантажі, транспортно-технологічна схема доставки вантажу, змішані перевезення.

Постановка проблеми. Більшість зовнішньоторговельних операцій здійснюється за змішаною або комбінованою системою перевезень, тому технологічний процес перевантаження вантажів у морських портах з одного виду транспорту на інший за прямим варіантом і через склад має принципові відмінності. Розгляд питань, пов'язаних із доставкою та вантажопереробкою негабаритних вантажів, потребує додаткового висвітлення і є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність функціонування водного транспорту в умовах міжнародних вантажоперевезень негабаритних вантажів вимагає чітко опрацьованого організаційного підходу в питаннях використання та взаємодії двох і більше видів транспорту.

Серед авторів, які розкривають теоретичні основи процесів перевезення вантажів морським транспортом, А.А. Союзов, О.Г. Шибасев, Е.Н. Воевудський, С.П. Оніщенко, О.В. Кириллова,

Л.Л. Ніколаєва, О.В. Акімова, М.О. Малаксіано, Л.Р. Аксютін, І.В. Снопков, Г.Г. Ермолаєв, А.А. Прокоф'єв, Т.А. Вєпрінська. Питання логістичного забезпечення перевезення вантажів і взаємодію видів транспорту досліджували П.Л. Котенко, О.В. Лаврухін, Т.К. Аміров, І.О. Лапкіна, І.В. Першін, А.С. Касаткіна, П.Л. Землянський, В.В. Нікіфоров, Н.Б. Лобанов та інші.

Документи, які регламентують морські міжнародні перевезення негабаритних вантажів.

Основним нормативним документом, який регламентує правові аспекти судноплавства в Україні, є Кодекс торговельного мореплавства – всеосяжний збірник правил щодо перевезення вантажів відповідно до законодавства, що є регулятором відносин, які виникають у торговельному мореплавстві. Існує й низка законів, які регулюють різні аспекти в міжнародному судноплавстві:

1) Конвенція з охорони людського життя на морі СОЛАС-74;

- 2) Конвенція про захист навколишнього середовища;
- 3) Конвенція про правовий статус водних басейнів;
- 4) Уніфіковані правила для суднових коносаментів.

Вказані документи мають безпосереднє відношення до безпеки морських вантажоперевезень, зокрема й негабаритних вантажів. Вимоги по дотриманню цілісності конструкцій корпусу судна при виникненні навантажень внаслідок розміщення на ньому негабаритних і великовагових вантажів висуваються Конвенцією з охорони людського життя на морі. Найбільший вплив на комерційний складник перевезення мають Уніфіковані правила для суднових коносаментів [1], Гаазькі і Гаага-Візбі правила від 1924 і 1968 років, застосовуються найбільше. Потрібно також враховувати, що в кожній країні є свої нюанси застосування правил. Гаазька і Гаага-Візбі правила є неодмінним атрибутом в сучасних суднових коносаментах і рекомендовані для включення усіма міжнародними морськими організаціями. Зони відповідальності власника вантажу (перевізника чи третьої сторони) і судновласника регламентуються в договорі фрахтування. Юридичні норми і правила накладають істотний відбиток на порядок прийнятих рішень при організації перевезення негабаритних вантажів, оскільки такі операції мають підвищений фактор ризику.

Обсяг світової торгівлі, який обслуговує водний транспорт, становить 80% в усіх міжнародних портах. Згідно даних ЮНКТАД зростання попиту на морські перевезення випереджає зростання пропозиції провізної здатності, тому нові технології можуть забезпечити ефективність в

цьому питанні, об'єднуючи питання витрат, термінів і екологічних показників [2]. Перевезення вантажів, в тому числі сировини та промислових товарів, здійснюється переважно з країн Далекого Сходу, які розвиваються, на решту країн світу.

В загальній класифікації всі види вантажів можна розділити на чотири основні категорії: контейнерні, генеральні, сухі та наливні вантажі. В наведеному аналізі порівнюється відсоткова частка кожного з цих видів вантажів у загальному обсязі вантажів, які перевозяться морем (Мал. 1). Частка генеральних вантажів є досить значною та має тенденцію до зростання поруч із розвитком інфраструктури і будівництвом.

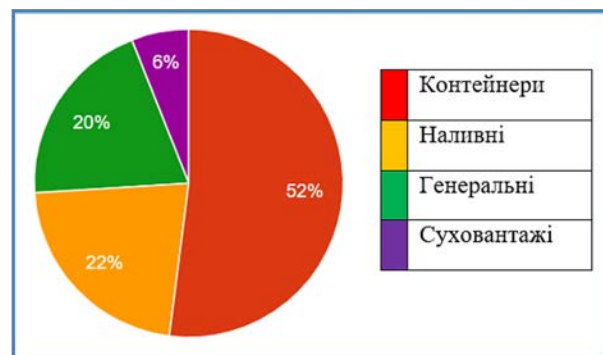


Рис. 1. Обсяг морської торгівлі за видами вантажів
Джерело: <https://www.worldtradia.com/>

Порядок організації транспортування негабаритних вантажів.

Сукупність операцій із транспортування негабаритних вантажів потребує ключових стратегічних рішень щодо способу доставки вантажу, вибору типу використовуваного судна, визначення портів завантаження та вивантаження, їх виробничої потужності, технології виробництва

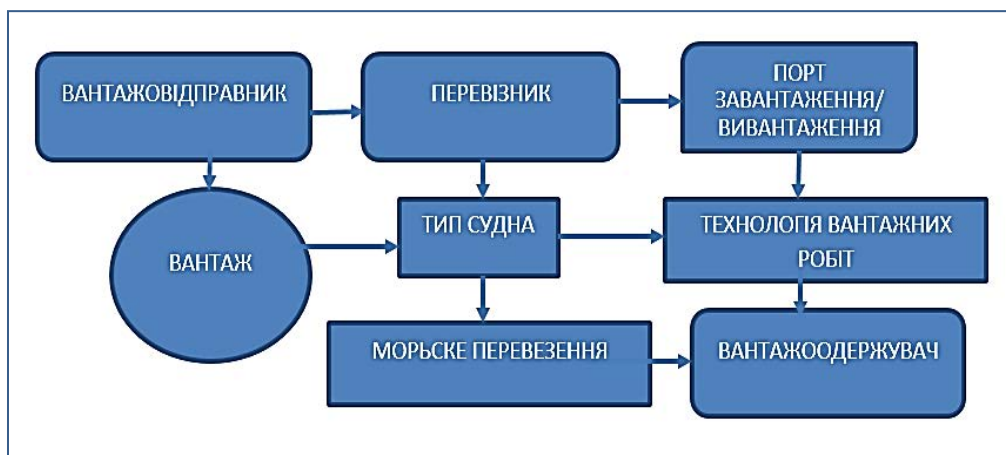


Рис. 2 Організаційна схема планування перевезення

вантажних робіт і технології морського перевезення.

Методика вибору типу судна залежить насамперед від типу та особливостей вантажу, його маси і габаритів. Відповідно до цього наявність суднових вантажних пристроїв, міцності трюмних і верхніх палуб, коефіцієнтів розкриття палуби та лючності має вирішальне значення до початку призначення портів і здійснення вантажних операцій (Мал. 2).

Одним із важливих моментів при плануванні морського перевезення є вибір портів завантаження вантажів. Через те, що морські судна не мають змоги заходу у внутрішні водні шляхи через обмеження прохідних глибин, проходів під мостами, обмеження адміністрацій держав щодо пропуску іноземних суден, то в цьому випадку негабаритні вантажі можуть доставлятися річковими суднами і баржами (які мають малу осадку та майже не мають обмежень по висоті прийнятого вантажу) по внутрішніх водних шляхах від порт-пунктів або річкових портів, розташованих поруч із підприємствами, до хабових портів відправлення.

Формування транспортно-технологічної схеми переробки негабаритного вантажу.

«Морський і річковий транспортні процеси складаються з перевезення вантажів транспортними засобами між портами відправлення та призначення та з перевантаження вантажів у портах з одних транспортних засобів на інші, тобто з

водних на сухопутні або навпаки, а також з одних водних транспортних засобів на інші. Відповідно до цього технологія морського і річкового транспортного процесу складається з двох основних складників: технології перевезень і технології перевантажувальних робіт. Під технологією перевезень розуміють способи розміщення і кріплення вантажів на судах і систему дій, які здійснюються на судні попередньо і протягом рейсу для запобігання псуванню і пошкодженню вантажів» [3]. Технологія перевантажувальних робіт має значний вплив і на величину вартості перевезення негабаритних вантажів у вигляді таких факторів як габаритні розміри, вага вантажу та спосіб виконання вантажних операцій в обох портах, відправлення та призначення.

Специфіку формування транспортних тарифів на перевезення негабаритних вантажів складають такі чинники:

- 1) пакування вантажу. Сюди належить комплекс заходів з підготовки вантажу до перевезення, монтаж захисного каркасу або будівництво платформи;
- 2) Вимоги до кріплення, використання надміцних матеріалів, зварювальних робіт і сюрвейерське супроводження по обслуговуванню вантажних робіт;
- 3) обсяг та рівень складності завантажувально-розвантажувальних операцій;
- 4) застосування спеціальних пристроїв або засобів, кількість такелажних точок підйому,



Рис. 3 Перевезення негабаритів автотранспортом

вимоги до вантажозахватних пристроїв і пристосувань;

5) вимоги до укладки, умови перевезення (штабелювання). Наявність дозволу палубного або підпалубного розміщення [4].

Також до переліку заходів з організації перевезень негабаритних і великовагових вантажів потрібно долучити вивчення комплексу заходів, що включають не тільки вибір судна, яке відповідає заданим критеріям, зокрема і наявність вантажних приміщень, перевантажувальних засобів, достатньої міцності суднових конструкцій, але й опрацювання транспортного ланцюга доставки вантажу до транспортного вузла [5].

Процес доставки негабаритного вантажу зумовлює необхідність належного вивчення і опрацювання траси переміщення від складу виробника до транспортного вузла. Важко переоцінити роль залізничного транспорту у перевезенні негабаритних вантажів, де вантажопідйомність досягає 500 тонн [13] з показниками перевалки вантажів понад 80% з тих, які транспортуються через морські порти. Але у випадках не критичної ваги вантажних місць та порівняно з вартістю перевезення між залізничним і водно-автомобільним сполученням вигіднішим є останній варіант.

Додатковою опцією способу доставки може бути використання внутрішнього водного транспорту, якщо йдеться про наявність судноплавних водних артерій і можливість застосування такого варіанту, але в низці випадків підприємство-постачальник не має безпосереднього доступу до внутрішніх водних шляхів, або довколишні

річкові порти не мають перевантажувальних засобів достатньої вантажопідйомності, а габарити вантажних місць можуть лімітувати прольоти під мостами. Через те, що деякі вантажні місця можуть перевищувати за масою допустиме навантаження на залізничні мости та шляхопроводи, в якості альтернативи може виступати автомобільний транспорт.

Для перевезення негабаритних вантажів і негабаритів надважкої ваги найбільше поширення отримало застосування автотягачів із низькорамними тралами для перевезення одиниць масою біля 100 тонн, з мінімально безпечною швидкістю руху, використовуючи об'їзні маршрути з метою транспортування негабариту до порту [6, 7, 8]. Поряд з існуючим способом розміщення негабаритного місця на довготривалому складському майданчику перед завантаженням на судно найбільш прийнятний прямий варіант за схемою транспорт-судно (так званий крос-докінг) [9], минаючи складування і додаткові витрати на перевалку і зберігання вантажу в порту. Складнощі прямого варіанту теж полягають в узгодженні графіків руху обох видів транспорту, але такий варіант знижує витрати праці, забезпечує умови збереження вантажу, прискорює процес доставки та є більш економічним, ніж складське перевантаження.

Наявність широкого спектру вантажно-розвантажувального обладнання з різною продуктивністю, обмеження в кількості одночасно оброблюваних транспортних засобів, обмеження ємності і площі складів, ліміт часу на обробку рухомого

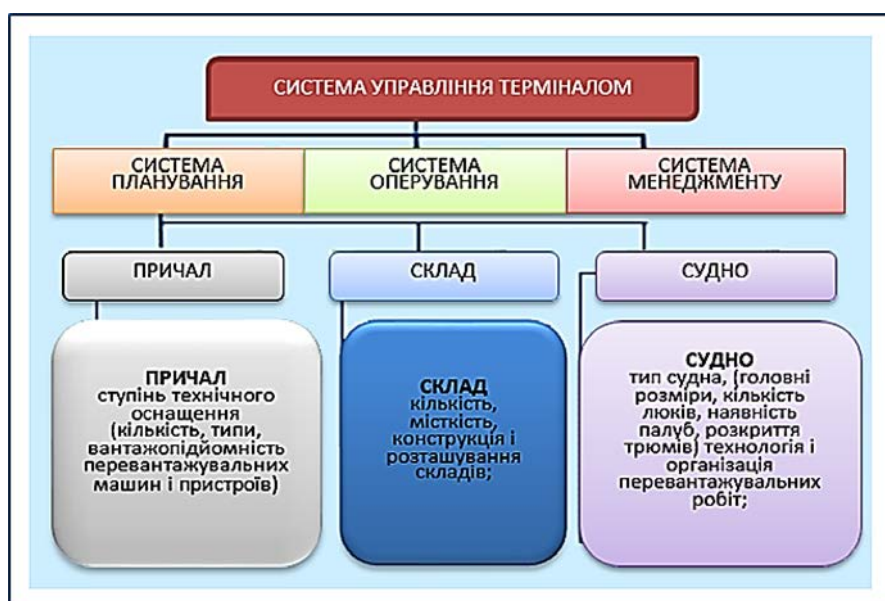


Рис. 4. Структурна схема функціонування вантажного терміналу порту



Рис. 5. Технологічна схема обробки штучного негабаритного вантажу масою менше 25 тонн за допомогою суднових вантажних пристроїв за прямим варіантом



Рис. 6. Технологічна схема обробки партії негабаритного вантажу масою менше 25 тонн за допомогою суднових вантажних пристроїв за варіантом склад-судно



Рис. 7. Технологічна схема обробки штучного вантажу масою від 25 тонн до 40 тонн за допомогою портових вантажних засобів. Якщо маса перевищує 40 тонн, то застосовується парна робота кранів вантажопідйомністю до 70 тонн за прямим варіантом



Рис. 8. Технологічна схема обробки штучного негабаритного вантажу масою від 70 до 100 тонн за допомогою самохідного піднімального крану на автомобільному (колісному) шасі



Рис. 9. Технологічна схема обробки штучного негабаритного вантажу масою понад 100 тонн за допомогою плавучого крану на самохідному (або несамохідному) понтоні

складу породжують вибір оптимальної технологічної схеми переробки вантажів, при якій будуть дотримані всі обмеження і найменші витрати на обробку матеріального потоку [10]. Тож суттєвим етапом розробки технології перевезень негабаритних вантажів є вибір оптимальної транспортно-технологічної схеми (далі – ТТС), яка є графічною послідовністю типових операцій під час технологічних ступенів вантажообробки. Основні чинники в процесі складання ТТС для негабаритних вантажів – це масо-габаритні параметри вантажу, вимоги до його перевезення та умови перевантаження. На основі цих факторів визначається послідовність виконання операцій. Зміст транспортно-технологічного ланцюга повинен включати, окрім даних про вантаж, відомості про використовувані технічні засоби (автотранспорт, вантажопідйомні механізми), операційну схему доставки за елементами транспортного процесу із зазначенням необхідних механізмів, чисельність персоналу, кваліфікацію фахівців, складність робіт, технологічні малюнки етапів виконання процесу [11, 12]. Типові приклади ТТС, які враховують масу вантажу та використання портових вантажних засобів, наведені на Рис. 5–9.

Висновки. Морські перевезення негабаритних вантажів як і широкого кола інших тарно-штучних вантажів вирізняються найнижчою швидкістю та значним терміном доставки. Та деякі фактори впливу на ці показники не залежать безпосередньо від швидкості морських суден під час рейсу, це час, який лежить в основі виробництва технологічних процесів, необхідних для вантажно-розвантажувальних, транспортних і складських робіт у морському порту. Тому саме застосування мультимодальних або змішаних перевезень суттєво сприяє прискоренню транспортного процесу морських перевезень.

Використання автомобільного транспорту у взаємодії з морським, особливо у форматі міжконтинентальних перевезень негабаритних вантажів у прямому змішаному автомобільно-водному сполученні, застосовується здебільшого для забезпечення доставки та перевезення між транспортним вузлом і складами відправника та одержувача. Наявність перевантажувальних робіт між видами транспорту створює додаткове навантаження на вартість доставки, але цей варіант залишається в загальному плані найефективнішим і по організації доставки, і по сумарній вартості перевезення.

Список літератури:

1. Касаткіна А.С. Міжнародні морські перевезення вантажів: актуальні проблеми правового регулювання // Право. Журнал Вищої школи економіки. 2016. № 2, С. 171–185, DOI: 10.17323/2072-8166.2016.2.171.185.
2. Електронний ресурс: International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD) <http://www.ictsd.org/>.
3. Дем'янов Н.В. Технологія, організація і планування портових перевантажувальних робіт. Курс лекцій, 2007.
4. Снопков В.І. Технологія перевезення вантажів морем. СПб, 2001, 560 с.
5. Першин І.В. Транспортний ланцюг як категорія логістики мультимодальних вантажоперевезень. Актуальні проблеми маркетингу. 2016, С. 105–108.
6. Правдін Н.В., Негрій В.Я., Подкопаєв В.Л. Взаємодія різних видів транспорту під ред. Н.В. Правдіна. М. : Транспорт, 1989. 208 с.
7. Милославська С.В., Плужніков К.И. Мультимодальні й інтермодальні перевезення : Навчальний посібник. М. : РосКонсульт, 2001, 368 с.
8. Землянський П.Л. Сутність і класифікація змішаних перевезень. Транспортне право, № 3. 2004.
9. Лобанов Н.Б. Організація транспортного процесу. Логістичний портал Лобанов-Логіст. <https://www.lobanov-logist.ru/>.
10. Тюрін А.В. Вибір технологічних схем вантажопереробки в транспортних вузлах. Вісник КДТУ, 2003. С. 85–89.
11. Макєва Ю.Н. Організація і технологія перевантажувальних процесів у портах. Оптимізація технологічних схем. Ростов-на-Дону : РГУПС, 2007. 237 с.
12. Правила складання робочих технологічних карт у портах. ЦРІА «Морфлот». М., 1977, 29 с.
13. Котенко А.М., Лаврухін О.В., Шилаєв П.С., Світлична А.В., Шевченко В.І., Пилипейко О.М. Перевезення негабаритних вантажів у транспортних системах : Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2014. С. 50–59, Вип. 145.

Melnyk O.M. TECHNOLOGICAL ASPECTS OF OVERSIZED CARGO TRANSPORTATION. TECHNOLOGICAL SUPPORT OF THE PROCESSES OF DELIVERY AND HANDLING OF OVERSIZED CARGOES

The decision of technological issues of delivery of oversized cargoes to the transport hub is closely associated with the organization of transportation, which in its turn predetermines the preliminary measures to ensure the transport process, the selection of rolling stock, the extent of cargo operations, the selection of a rational form of interaction of means of transport with loading and discharging complexes and the choice of path or route of carriage of cargo. The organization of the transportation process of shipment also includes planning, operational management, accounting and control, setting the order of document circulation, settlements for carriage.

Also the aspects of organization of transportation process impossible without development and use of various technological schemes of cargo delivery which can vary both in the forms of transport service and application of the type of transport, direction of carriage, method of cargo transportation and service as well as in design depending on technological and organizational requirements to the shipment. Despite this, it would be appropriate to develop an individual approach to the optimal transport and technological scheme, taking into account all the features of the cargo, as well as the analysis and development of various options for transport and technological schemes similar to the technology of transportation, but different in economic terms.

As example the role of inland waterway transport is increasing, especially in international transport of oversized goods, thanks to the consistent implementation of policies for the integration of all modes of transport, but at the same time, in some cases, seagoing vessels are unable to call at river ports and river vessels or boats are unable to transport cargo due to certain technical circumstances. That is why there is a need to find alternative ways of cargo delivery or related modes of transport for such kind of carriage process.

Key words: oversized cargoes, organization of transportation, technological scheme.

УДК 656.2

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/30>**Турпак С.М.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

Васильєва Л.О.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Харченко Т.В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Веремеско Л.А.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Гришко В.В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ВИЗНАЧЕННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ РУХУ

Розглянуто питання вибору раціональних розмірів руху під час організації доставки вантажів в умовах взаємодії порту з підприємствами. Найбільшу частку в обсягах вантажопереробки портів займають вантажі, які перевозяться навалом та насипом (понад 90%). Для їх доставки широко використовується залізничний транспорт та відкритий рухомий склад. Збільшення ринку операторських послуг в Україні викликає необхідність наукових досліджень із урахуванням додаткових факторів. На відміну від використання вагонів загального парку залізниць, підприємствам необхідно визначати раціональний парк власних вагонів, які використовуються під певні перевезення.

Для дослідження транспортних процесів у складних та великих системах за наявності значної кількості стохастичних параметрів доцільно використовувати метод імітаційного моделювання.

Метою статті є дослідження процесів взаємодії транспортних систем річкового порту та промислового підприємства й підвищення ефективності роботи транспорту за рахунок визначення раціональних розмірів руху залізничного транспорту.

З огляду на реальний об'єкт дослідження виділено систему, яка складається з підсистем причалу річкового порту, залізничних колій, вантажного пункту промислового підприємства. Як незмінні вхідні параметри моделі прийнято інтенсивність надходження суден у порт, каргодедвейт суден, продуктивність роботи кранів, тривалість вантажних та інших операцій з одним вагоном, місткість вагона, кількість составів, місткість грейферного захвату, ємність складу зберігання. Змінними параметрами є кількість вагонів у составі, тривалість обороту, яка залежить від кількості вагонів у составі. Логіка роботи моделі передбачає прямий варіант перевантаження вантажу за схемою «судно-вагон» за наявності вагонів біля причальної лінії, вивантаження з судна на склад за їх відсутності та подальше навантаженням зі складу у вагони.

У процесі експерименту проаналізовано реальний об'єкт дослідження та побудовано концептуальну та імітаційну комп'ютерну моделі функціонування системи. Виконані експериментальні дослідження на розробленій моделі, отримані основні технічні показники: тривалість роботи кранів, час роботи локомотивів та час використання вагонів. Проведено економічний аналіз показників функціонування транспорту та сформовані рекомендації щодо вибору раціональних параметрів руху.

Ключові слова: річковий порт, залізничний транспорт, імітаційна модель, вагон, розмір руху.

Постановка проблеми. Дослідження транспортної системи річкового (морського) порту зазвичай обмежуються його підсистемами та елементами з урахуванням зв'язків з іншими системами та зовнішнім середовищем. Але певні процеси

взаємодії порту з системами інших підприємств достатньо глибокі та потребують дослідження на більш високому рівні деталізації. Зокрема, не вирішеним є питання вибору раціональних розмірів руху під час організації доставки вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками спостерігається стійка тенденція збільшення обсягів перевезень вантажів за участю водного транспорту як в Україні, так і в інших європейських країнах [1, с. 64–65]. Реалізація нових інвестиційних програм у розвиток цього виду транспорту потребує удосконалення процесів взаємодії портів та підприємств, які вони обслуговують. Найбільшу частку в обсягах вантажопереробки портів займають вантажі, які перевозяться навалом та насипом (понад 90%). Для їх доставки широко використовується залізничний транспорт та відкритий рухомий склад [2, с. 73]. Також слід відмітити збільшення ринку операторських послуг в Україні, що викликає необхідність наукових досліджень із урахуванням додаткових факторів. На відміну від використання вагонів загального парку залізниць, підприємствам необхідно визначати раціональний парк власних вагонів, які використовуються під певні перевезення.

Крім того, Україна прийняла на себе зобов'язання щодо реалізації Директив Європейського Союзу для забезпечення недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури незалежних перевізників. Це також підвищує актуальність наукових досліджень у сфері організації перевезень, зокрема, у портах та під час обслуговування під'їзних колій підприємств [3, с. 8–9; 4, с. 72–74; 5, с. 19–21; 6, с. 80], транспортних вузлів тощо [7, с. 119–121].

Для дослідження транспортних процесів у складних та великих системах за наявності значної кількості стохастичних параметрів доцільно використовувати метод імітаційного моделювання [8, с. 122–123].

Під час використання методів імітаційного моделювання певні параметри доцільно задавати генерацією випадкової величини за визначеним законом розподілу, використовувати прогнозні моделі [9, с. 34–37], регресійні залежності тощо [10, с. 40–42; 11, с. 194–196; 12, с. 305–306]. Важливим моментом є визначення концептуальної моделі роботи системи [13, с. 163–164].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження процесів взаємодії транспортних систем річкового порту та промислового підприємства та підвищення ефективності роботи транспорту шляхом визначення раціональних розмірів руху залізничного транспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– розробити концептуальну модель транспортних систем річкового порту та промислового підприємства, які взаємодіють;

– розробити імітаційну модель роботи транспортних систем;

– виконати експериментальні дослідження на розробленій моделі;

– провести економічний аналіз показників функціонування транспорту та сформулювати рекомендації щодо вибору раціональних параметрів руху.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як реальний об'єкт дослідження розглядається система доставки вапняку річковим та залізничним транспортом з порту до металургійного підприємства.

З огляду на реальний об'єкт дослідження виділено систему, яка складається з підсистем:

– причалу річкового порту, де здійснюється вивантаження з суден на склад (або у вагони);

– залізничних колій, по яких здійснюється рух вагонів;

– вантажного пункту промислового підприємства, де здійснюється вивантаження.

Елементами системи є судна, причальна лінія, колії порту, перевантажувальні машини, вагони, локомотиви.

Як незмінні вхідні параметри моделі прийнято:

– інтенсивність надходження суден у порт;

– каргодедвейт суден;

– продуктивність роботи кранів;

– тривалість вантажних та інших операцій з одним вагоном;

– місткість вагона;

– кількість составів;

– місткість грейферного захвату;

– ємність складу зберігання.

Змінними параметрами є:

– кількість вагонів у составі, який обертається між портом та підприємством-одержувачем;

– тривалість обороту, яка залежить від кількості вагонів у составі.

Показниками роботи моделі є тривалість роботи кранів, час роботи локомотивів та використання вагонів.

Цільову функцію можна представити у вигляді:

$$z = f(C_{кр}, C_{ваг}, C_{лок}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

або

$$z = f[C_{кр}(c_{кр}, t_{кр}), C_{ваг}(c_{ваг}, n_{ваг}), C_{лок}(c_{лок}, t_{лок})] \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $C_{кр}, C_{ваг}, C_{лок}$ – загальні витрати відповідно на оплату роботи кранів, оренду (утри-

мання) вагонів за період роботи, оплату роботи локомотивів, грн;

$C_{кр}$ – вартість однієї крано-години, грн;

$C_{ваг}$ – вартість оренди (утримання) одного вагону за період роботи, грн;

$c_{лок}$ – вартість однієї локомотиво-години, грн;

$t_{кр}$ – кількість годин роботи кранів за період роботи, год.;

$n_{ваг}$ – кількість вагонів, задіяних у процесі роботи за розглянутий період, од.;

$t_{лок}$ – кількість годин використання локомотивів за період роботи, год.

Логіка роботи моделі передбачає прямий варіант перевантаження вантажу за схемою «судно-вагон» за наявності вагонів біля причальної лінії, вивантаження з судна на склад за їх відсутності та подальшим навантаженням зі складу у вагони. Прийнято використання для перевезень власних вантажних вагонів.

Усі вихідні параметри у моделі є детермінованими та визначеними наперед. Концептуальна модель проведення експерименту зображена на рис. 1.

Імітаційне моделювання можна виконати в програмному середовищі Енілджик. Загальний вигляд комп'ютерної моделі показано на рис. 2.

До складу комп'ютерної моделі входить 23 блоки.

Блок “Source” створює заявки, використовується як початкова точка їх потоку. Моделює прибуття суховантажних суден, які надходять до порту згідно з графіком, дотримуючись інтервалу – один раз на тиждень. Заявкою прийнято масу вантажу, яку вміщує рейферний захват у разі його перевантаження. Кількість рейферів в одному судні складає 1428 од., тобто ця кількість заявок генерується одночасно.

Група заявок потрапляє до мережі пунктів, які їх обслуговують. Першим з них є блок “Queue”, який моделює залишок вантажу.

Аналогічні блоки “queue3” та “queue4” імітують накопичення вантажу на складі порту з фіксацією обсягів, які зберігаються на ньому більш 4 діб (термін, понад який нараховується плата за зберігання).

Блок “Batch” перетворює задану кількість заявок, що надходять у блок, в одну заявку-партию, яка відповідає кількості рейферів в одному вагоні.

Кількість рейферів вантажу у складі можна визначити як:

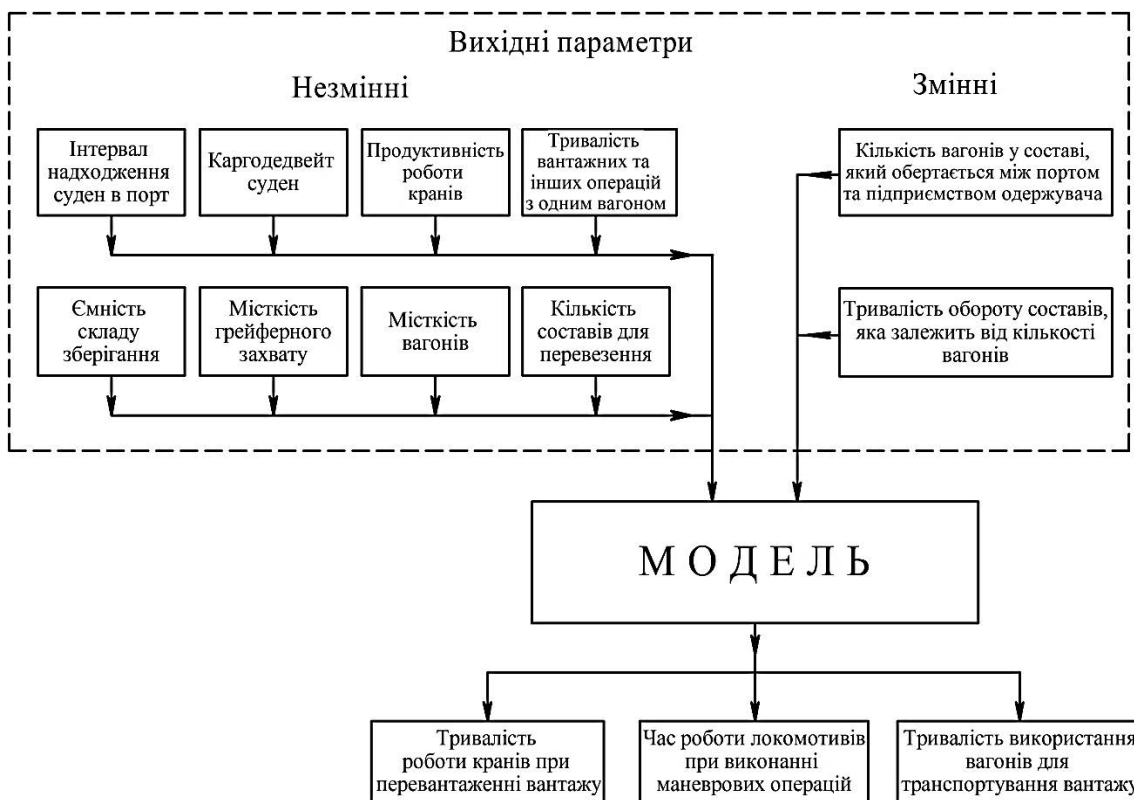


Рис. 1. Концептуальна модель проведення експерименту

$$N_{\text{сос}}^{\text{гр}} = N_{\text{сос}}^{\text{ваг}} \cdot N_{\text{ваг}}^{\text{гр}}, \quad (1)$$

де $N_{\text{сос}}^{\text{ваг}}$ – кількість вагонів у составі, од.;

$N_{\text{ваг}}^{\text{гр}}$ – кількість грейферів вантажу у вагоні, од.

Розрахунки кількості грейферів з вантажем для завантаження різної кількості вагонів у составі наведені в табл. 1.

Блок “Delay” регулює та утримує певний час заявки, що відповідає повному циклу руху вагонів, починаючи з портової стації до підприємства-одержувача. Імітація схеми руху вагонів з порту на підприємство показана на рис. 3.

Час руху вагонів змінюється відповідно до кількості вагонів у составі (табл. 2).

Моделювання проводимо із збільшенням вагонів у составі за принципом: $N_{\text{сос}}^{\text{ваг}} = N_i^{\text{ваг}} = 5 \cdot n$, де $i = 1 \dots n$; $n = 1 \dots 6$.

Результати моделювання наведені в табл. 3.

Варіанти із зберіганням вантажу на складі (за кількості вагонів у составі до 10 од.) виключаємо з подальших розрахунків і виконуємо моделювання зі зміною параметру кількості вагонів у составі з більш щільним шагом: $N_{\text{сос}}^{\text{ваг}} = N_i^{\text{ваг}} = n$, де $i = 1 \dots n$; $n = 15 \dots 30$. На основі отриманих технічних показників за виразом (2) визначаються загальні економічні витрати (рис 4).

За результатами розрахунків доцільно прийняти кількість вагонів у составі – 21 од. При цьому основні технічні показники становлять:

- коефіцієнт використання крану 0,161;
- річний час роботи крану 1411 год.;
- кількість перевезених составів за рік – 192 од.

Висновки. Виконано дослідження процесів взаємодії транспортних систем річкового порту та промислового підприємства. Шляхом визначення раціональних розмірів руху залізничного транспорту підвищено ефективність роботи транспорту.

У процесі досліджень отримано наступні результати.

1. Проаналізовано реальний об’єкт дослідження та побудовано концептуальну модель функціонування системи, яка складається з підсистем причалу річкового порту, залізничних колій; вантажного пункту промислового підприємства.

2. Виконані експериментальні дослідження на розробленій моделі, отримані основні технічні показники: тривалість роботи кранів, час роботи локомотивів та використання вагонів.

3. Проведено економічний аналіз показників функціонування транспорту та сформовані рекомендації щодо вибору раціональних параметрів руху.

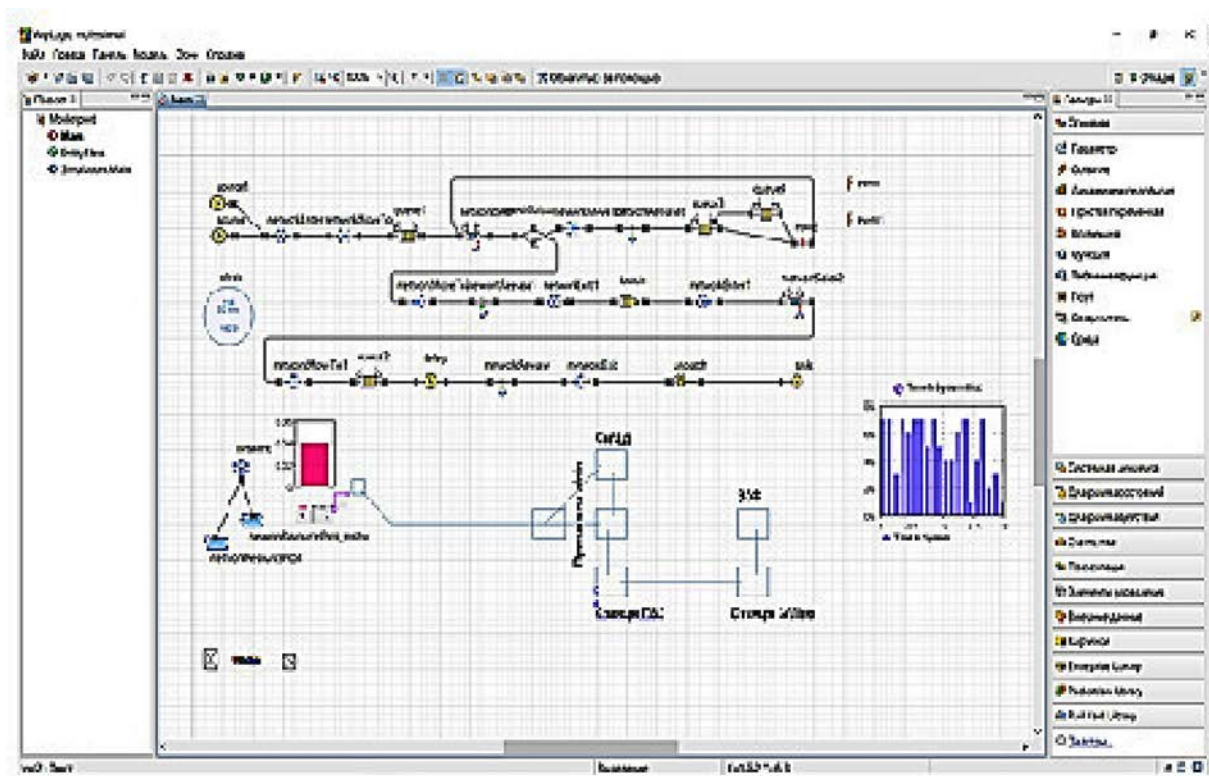


Рис. 2. Загальний вигляд комп’ютерної моделі

Таблиця 1

Кількість грейферів вантажу в складі

Кількість грейферів вантажу для певного складу состава	Кількість вагонів у складі, од.					
	5	10	15	20	25	30
Загальна кількість грейферів, од.	170	340	510	680	850	1020

Таблиця 2

Час руху вагонів залежно від їх кількості у складі

Час руху для певного складу состава	Кількість вагонів у складі, од.					
	5	10	15	20	25	30
Час руху составу, хв.	3030	3000	2970	2940	2910	2880

Таблиця 3

Результати першого етапу моделювання

Кількість вагонів у складі, од.	Коефіцієнт використання крану	Кількість вантажу на складі при зберіганні понад 4 діб, т	Час використання крану, год./рік	Кількість составів, од./рік
5	0,241	1313,94	2112	450
10	0,27	39,82	2365	349
15	0,229	0	2006	268
20	0,202	0	1743	201
25	0,181	0	1568	161
30	0,165	0	1419	134

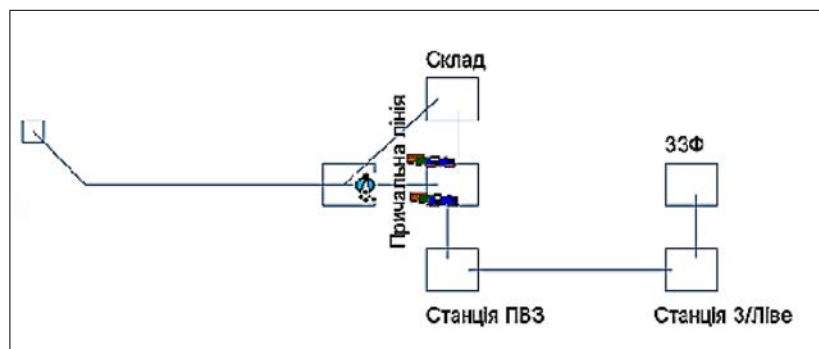


Рис. 3. Схема транспортної мережі в комп'ютерній моделі

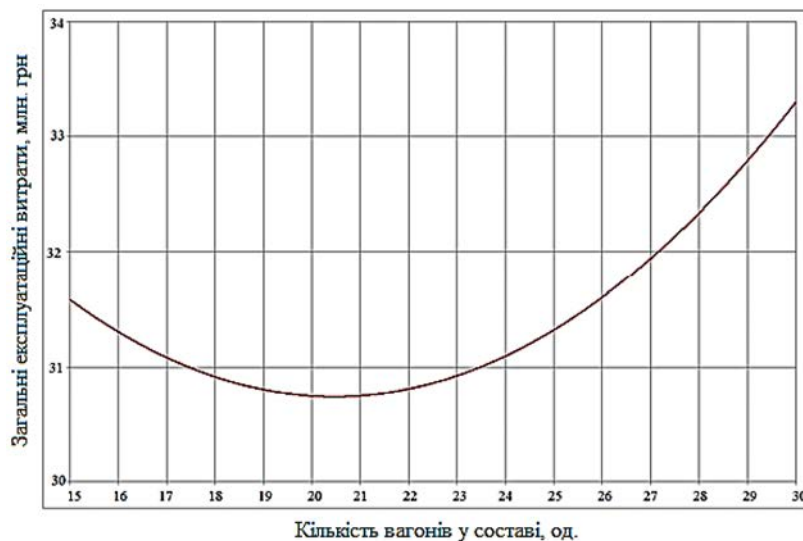


Рис. 4. Аналіз економічних показників

За результатами виконаних експериментів на імітаційній моделі та економічних розрахунків визначено оптимальний розмір руху з 21 вагоном у складах, для якого коефіцієнт використання крану становить 0,161, річний час роботи крану 1 411 год., кількість перевезених складів за рік – 192 од.

Список літератури:

1. Окорочков А.М., Вернигора Р.В., Цупров П.С. Річковий транспорт України: сучасний стан та перспективи використання. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. Вип. 12. С. 62–68.
2. Ломотько Д.В., Овчів М.Ж. Удосконалення технології роботи перевантажувальних залізничних вузлів із переважною переробкою навалочних вантажів. *Вісник економіки транспорту та промисловості*. 2017. № 58 (Додаток). С. 73–74.
3. Kozachenko D.M., Ochkasov O.B., Shepotenko A.P., Sannytsky N.M. 2017. Prospects of the private locomotives usage for goods traffic in the direction of sea ports. *Science and Transport Progress, Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. No. 6(72). P. 7–19.
4. Шаповал Г.В., Резниченко О.Ю. Вибір оптимальної стратегії взаємодії вантажної станції та під'їзних колій. *Зб. наук. пр. УкрДАЗТ*. 2014. Вип. 146. С. 71–75.
5. Бутько Т.В., Лаврухін О.В., Доценко Ю.В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону. *Зб. наук. праць. ДонІЗТ*. Донецьк : ДонІЗТ, 2010. Вип. 22. С. 18–26.
6. Бауліна Г.С., Захарова І.В. Удосконалення технології взаємодії вантажної станції та прилеглих під'їзних колій. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. № 58. С. 80–81.
7. Прокудін Г.С., Іщенко М.Г., Цуканов О.І., Прокудін О.Г. Теоретичні та прикладні аспекти раціональної організації вантажних перевезень у транспортних системах. *Вестник ХНАДУ*. 2013. Вип. 63. С. 117–122.
8. Турпак С.М. Логістичні системи управління залізничним транспортом металургійних підприємств : монографія. Херсон : Гринь Д.С., 2015. 264 с.
9. Gritcay S., Lashenyh A., Turpak S., Ostrohlyad E., Kharchenko T. The effect of methods of eliminating spikes in the time series of freight flows on their statistical characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. No. 1/3 (85). P. 33–39.
10. Lashenyh A., Turpak S., Gritcay S., Vasileva L., Ostrohlyad E. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. No. 5/3 (83). P. 40–46.
11. Музильов Д.О., Ницета А.П. Визначення основних параметрів технології доставки дорожньо-будівельних вантажів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. № 147. С. 193–199.
12. Шраменко Н.Ю. Оценка затрат по обслуживанию потребителей при оперативном планировании процесса поставки зерновых грузов. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 12, с. 302–309.
13. Turpak S., Taran I., Fomin O., Tretiak O. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. No. 1. P. 162–169.

Turpak S.M., Vasylieva L.O., Kharchenko T.V., Veremeyenko L.A., Hryshko V.V. INCREASING THE INTERACTION EFFICIENCY OF RAILWAY AND WATER TRANSPORT BY DETERMINING RATIONAL SIZES OF MOTION

The question of choosing the rational size of movement during the organization of cargo delivery in the conditions of interaction of the port with enterprises is considered. A significant share in port cargo handling volumes is bulk and loose cargoes (over 90%). Railway transport and open rolling stock are widely used for their delivery. The increase of the operator services market in Ukraine necessitates scientific research, taking into account additional factors. In contrast to the use of railway carriages in a common railway park, enterprises need to determine a rational railway park of their own carriages used for certain transportation. To research transport processes in complex and large systems, with a significant number of stochastic parameters, it is reasonable to use the method of simulation modeling. The goal of the article is to study the interaction processes of transport systems of a river port and an industrial enterprise and increase the efficiency of transport work by determining the rational size of railway traffic. Considering the real object of this research, a system consisting of the dock of the river port subsystems, railways, cargo point of an industrial enterprise has been identified. The constant input parameters of the model are the intensity of the vessels' arrival at the port, the cargo deadweight of ships, the performance of cranes, the duration of cargo and other operations with one railway carriage, the capacity of the carriage, the number of trains, the capacity of the grab of a grapple, and the

capacity of the storage warehouse. Variable parameters are the number of railway carriages in the train and the duration of their turnover. The logic of the model provides a direct option for cargo reloading according to the "ship-railway carriage" scheme in the presence of wagons near the mooring line, unloading from the vessel to the warehouse in their absence and further loading from the warehouse into the railway carriages. During the research, the real object of the study was analyzed and conceptual and simulation computer models of the system's functioning were built. Experimental studies were carried out on the developed model and the main technical indicators were obtained: the duration of the cranes work, the operating time of locomotives and the use of railway carriages. An economic analysis of the indicators of the functioning of transport is done and recommendations regarding the selection of rational traffic parameters are made.

Key words: river port, railway transport, simulation model, railway carriage, traffic size.

Черноусенко О.Ю.

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

Бутовський Л.С.

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

Грановська О.О.

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

Мороз О.С.

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

Старченко О.С.

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

СТАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ НА «БІДНОМУ» ЗРИВІ ПІД ЧАС МІКРОДИФУЗІЙНОГО СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ ЗА СТАБІЛІЗАТОРОМ

У статті наведено результати експериментальних досліджень щодо стійкості мікродифузійного горіння факелу за погано-обтічним тілом – стабілізатором на межі «бідного» зриву під час струменевої подачі газоподібного палива в зону рециркуляції. Паливо подається через систему отворів у вихідній торцевій стінці стабілізатора. Одержано дані щодо впливу на характеристики «бідного» зриву – зриву факелу під час зменшення витрати палива, таких факторів, як швидкість, температура і інтенсивність турбулентності повітряного потоку, розмір та взаємне розміщення стабілізаторів, розмір та відносна площа газових отворів, конфігурація вихідної кромки стабілізатора. Результати досліджень показали якісне співпадіння характеристик «бідного» зриву, які отримані під час спалювання за стабілізатором попередньо перемішаних гомогенних сумішей і дифузійного горіння палива під час струменевої подачі газу в зону зворотних потоків за стабілізатором. Встановлено, що стала робота пальника на бідній межі розширюється – коефіцієнт надлишку повітря збільшується під час зменшення швидкості повітряного потоку в камері перед пальником, збільшення ширини стабілізатора, діаметру газороздавальних отворів і підвищення температури повітря. Слід також брати до уваги те, що, з іншого боку, збільшення ширини стабілізатора за умов постійної витрати повітря призводить до підвищення швидкості повітряного потоку між стабілізаторами, що може призвести до погіршення сталості горіння, підвищення гідравлічного опору пальника і збільшення довжини факелу в топковому просторі. Встановлено сильний вплив інтенсивності турбулентності повітряного потоку на характеристики «бідного» зриву. Так, під час підвищення значення інтенсивності турбулентності з 1,5 % до 6,0 %, тобто в 4 рази значення коефіцієнту надлишку повітря на бідній межі зменшується в 2,5 рази.

Наведено залежності для попереднього розрахунку характеристик «бідного» зриву факелу у стабілізаторних пальникових пристроях із подачею газу в зону рециркуляції.

Ключові слова: стабілізатор, мікродифузійне горіння, газоподібне паливо, «бідний» зрив, повітряний потік, зона рециркуляції.

Постановка проблеми. Однією з особливостей теплоенергетичної галузі України є певна залежність від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, зокрема газоподібного палива – природного газу. Значна частина цього палива йде на потреби

промислових підприємств та об'єктів житлово-комунального господарства, виробництво чавуну, сталі, цементу, мінеральних добрив тощо. Істотний потенціал техніки, що використовує паливо, складають котельні установки, наприклад,

котли типу НІСТУ-5, КВГМ, ПТВМ, печі, підігрівачі різного типу тощо, які відпрацювали свій ресурс. Найбільш реальним шляхом підвищення ефективності цих установок при мінімальних затратах є їхня модернізація. Досвід показує, що в тепловому балансі теплоенергетичних установок промислових і комунальних підприємств витрата тепла під час зміни потужності, наприклад, під час розпалення котла, складає вагому частку [1]. У відповідності із цим існує задача забезпечення режиму роботи, за якого певним умовам експлуатації відповідає найбільш оптимальна схема організації топкового процесу – регульований оптимум.

Майже в усіх галузях використання газу як палива існують енергетичні та технологічні процеси, в яких згорання повинно відбуватися за високих та змінних коефіцієнтах надлишку повітря, а інколи за одночасної їх зміни. Так, зміна коефіцієнтах надлишку повітря може мати значення від $\alpha \approx 1,0$ в енергетичних та промислових котлах, до $\alpha \approx 100$ під час сушіння зерна, сіна, обігріву теплиць [1, с. 4].

Останнім часом у світовій практиці все більшу увагу приділяють використанню високотемпературних газотурбінних (ГТУ) та парогазових (ПГУ) установок для вироблення електроенергії, цілей теплофікації, що призводить до підвищення термодинамічної ефективності циклу [2; 3, с. 84; 4, с. 52].

Одним із основних елементів, значною мірою визначає ефективність об'єкта, в якому спалюється паливо, є пальниковий пристрій. Від ефективності його роботи, надійності та довговічності залежать показники роботи агрегату в цілому. Аналіз показників роботи пальників, які використовуються в енергетичних та промислових установках, показує, що в багатьох випадках значна частина з них має недостатньо високі щодо сучасних вимог техніко-економічні характеристики, що зумовлено застарілими методами організації в них робочого процесу, як правило, пов'язаних із використанням закрутки повітряного потоку, що подається до пальника. Таким чином, актуальність запропонованої роботи визначається необхідністю економії дефіцитного палива, а також законодавчими вимогами щодо охорони довкілля від забруднення токсичними продуктами згорання шляхом впровадження в енергетичне, промислове та комунальне господарство України високоефективних технологій спалювання палив та відповідних пальникових пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із напрямків вирішення вказаної проблеми

є використання пальників із мікрофакельним (мікродифузійним) спалюванням газу в системі стабілізаторів, які обіігаються повітряним потоком. Стабілізаторні пальникові пристрої використовуються в камерах згорання реактивних двигунів [5, с. 371; 6, с. 261], газотурбінних установок [7, с. 94; 8, с. 6], пальників вторинного підігріву повітря [9, с. 54; 10, с. 145; 11, с. 84; 12, с. 108], форсажних камерах згорання [13, с. 36; 8, с. 6], а також різних галузях народного господарства [14, с. 16; 15, с. 324].

Організація процесу спалювання палива в системі мікрооб'ємів і пов'язане із цим збільшення поверхні запалювання та горіння дозволяє підвищити інтенсивність горіння та теплову напругу топкового об'єму і скоротити довжину факела [16, с. 170]. Схема пальника з мікрофакельним горінням під час струменевої подачі палива в зону рециркуляції за стабілізатором приведена на рис. 1.

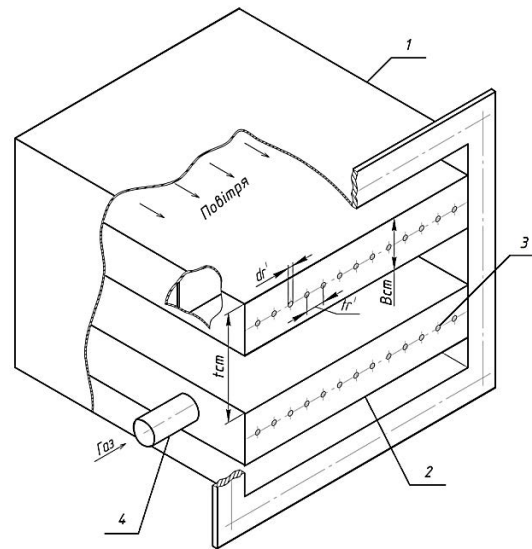


Рис. 1. Схема пальникового пристрою із струменевою подачею газу в зону рециркуляції за стабілізатором: 1 – корпус пальника; 2 – стабілізатор; 3 – газоподаючий отвір; 4 – патрубок підводу газу в порожнину стабілізатора

Мікрофакельні пальникові пристрої стабілізаторного типу показали високу ефективність робочого процесу під час зміни режимних параметрів, а зменшення часу перебування продуктів реакції в зоні високих температур призводить до зниження рівня викидів токсичних оксидів азоту [17, с. 22]. Під час спалювання палива в системі стабілізаторів забезпечується можливість створення пальників різної потужності за рахунок зміни кількості окремих модульних елементів. Завдяки принципу прямої течії пальникові пристрої мають зниже-

ний аеродинамічний опір. Із метою поліпшення показників роботи енергетичних та промислових агрегатів необхідне проведення робіт щодо вдосконалення характеристик пальників у напрямку розширення їхньої сталості та ефективної роботи за високих та низьких коефіцієнтах надлишку повітря, підвищення швидкості повітряного потоку та забезпечення можливості керування структурою факелу в залежності від конструкції та умов експлуатації агрегату.

Вважається, що у випадку подачі палива в зону рециркуляції за стабілізатором реалізується механізм мікродифузійного турбулентного горіння (рис. 1) [18, с. 353].

За цією схемою під час зіткнення струменів палива і потоку повітря в зоні рециркуляції ці струмені подрібнюються на окремі невеликі об'єми, які розподіляються в повітряному потоці і перемішуються з повітрям шляхом молекулярної і турбулентної дифузії.

За такої організації процесу горіння значний вплив мають геометричні та аеродинамічні характеристики зони рециркуляції за стабілізатором і її взаємодія з газовими струменями, що виходять з отворів для подачі палива.

Основні експериментальні роботи виконані під час спалювання гомогенних попередньо перемішаних палив – повітряних сумішей палива і повітря [5, с. 379; 6, с. 269; 19, с. 143]. Під час аналізу експериментальних даних найбільш прийнятною вважається реакторна модель Лонгвелла, розроблена на основі теплової теорії запалювання [20, с. 95].

За цією моделлю циркуляційна зона за стабілізатором розглядається як ізотермічний реактор із безперервною подачею свіжої суміші з основного потоку і виходом продуктів згорання із зони. Зрив полум'я відбувається, коли кількість теплоти реакції в зоні рециркуляції стає менше теплоти, яка необхідна для запалювання свіжої суміші (рис. 2).

Із точки зору практичного представлення результатів досліджень умови стабілізації зводяться до критерія Міхельсона [6, с. 270]:

$$Mi = \frac{d_{cm} \cdot u_n}{W_{zp} \cdot a} = const \quad (1)$$

де d_{cm} – характерний розмір стабілізатора, м; W_{zp} – значення швидкості суміші в момент зриву факелу, м/с; u_n – нормальна швидкість розповсюдження полум'я, м/с, a – коефіцієнт температуропровідності суміші, м²/с. У цій системі невизначеними є значення u_n та a .

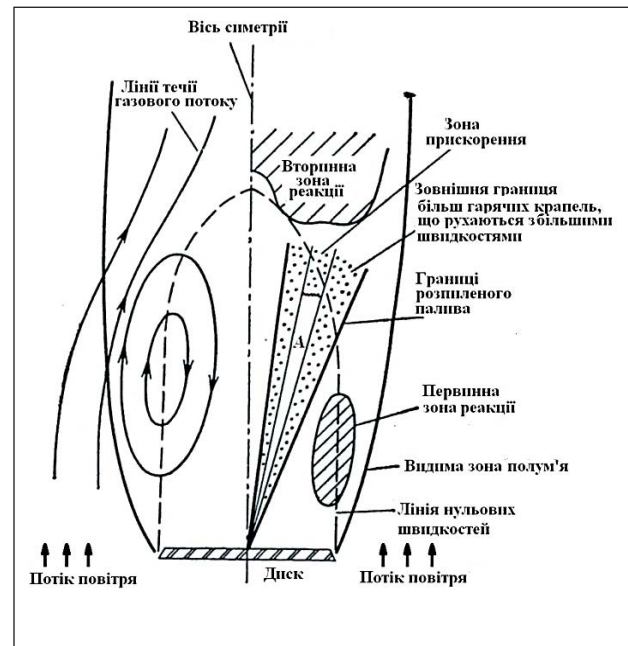


Рис. 2. Схема масообміну компонентів за стабілізатором за струменевої подачі палива в зону рециркуляції [10]

Після відповідних перетворень критерій сталості факелу призводять до виду [19, с. 157]:

$$\frac{W_{zp}}{(B_{cm} \cdot c_x)^n} = f(\alpha) \quad (2)$$

де C_x – коефіцієнт лобового опору стабілізатора, коефіцієнт надлишку повітря.

Коефіцієнт температуропровідності суміші визначається за формулою

$$\alpha = \frac{G_n}{G_2^{min}} \cdot L_0 \quad (3)$$

де G_n , G_2^{min} – витрата повітря в пальниковому пристрої і мінімально можлива витрата палива на передзривних режимах, L_0 – стехіометричний коефіцієнт.

Встановлено, що межі сталого горіння за составом суміші і швидкості повітряного потоку розширюються зі збільшенням розміру стабілізатора і коефіцієнту опору, тому що при цьому збільшуються об'єм і витратні характеристики зони зворотних токів.

Залежно від розміру і форми стабілізатора показник ступеню n змінюється в діапазоні від $0,45 \div 0,5$ до $0,85 \div 1,0$. Наприклад, для подовжених вздовж потоку стабілізаторів розміром $B_{cm} \leq 10$ мм при $Re > 10^4$ і великих стабілізаторів при $Re > 5 \cdot 10^4$ показник ступеню $n \approx 1,0$. Для великих стабілізаторів при $Re < 5 \cdot 10^4$ показник ступеню $n = 0,45 \div 0,5$ [5, с. 381; 19, с. 163].

Під час збільшення температури потоку стабільність горіння підвищується, тому що в даному випадку суміш поступає в зону горіння з температурою, що наближається до температури запалення, що зменшує кількість теплоти, яку необхідно підвести із зони зворотних токів до свіжої суміші.

Залежність швидкості зриву полум'я від температури горючої суміші пропонується врахувати співвідношенням

$$\frac{W_{зр}}{W_{0зр}} \sim \left(\frac{T}{T_0} \right)^m, \quad (4)$$

де T_0 – температура суміші, для якої відомо значення швидкості зриву $W_{0зр}$, показник ступеню змінюється від $m = 1,2$ до $1,7$ і $1,85$ [5, с. 385; 19, с. 154].

Підвищення інтенсивності турбулентності повітряного потоку призводить до росту коефіцієнту дифузії і зменшенню часу перебування газу в зоні рециркуляції. На підставі аналізу теорії гомогенного реактору вплив турбулентності повітряного потоку А.В. Талантовим запропоновано використовувати співвідношення виду $W_{зр} \sim 1/\varepsilon$ [21, с. 92].

Приймаючи до уваги невизначеність параметрів, що входять до критерія Міхельсона, на практиці використовуються експериментальні залежності, які враховують температуру повітря і газу, геометричні характеристики стабілізатора, камери згоряння тощо. У ряді випадків в основу розрахунків нового пального пристрою закладають результати досліджень, отриманих на аналогічних моделях [5, с. 399].

Робіт, у яких розглядаються взаємодія течії в зоні рециркуляції із струменем, що подається в зону зворотних токів, зокрема процесів горіння палива, порівняно мало. У роботах [22, с. 222; 23, с. 46] досліджувався вплив на характеристики зони рециркуляції струменевої подачі повітря і інертного газу в зону зворотних токів за конусом та клином. У роботі [24, с. 195] досліджувалась взаємодія двох коаксіальних повітряних струменів – центрального із швидкістю W_c та кільцевого із швидкістю W_k за різних швидкостей цих потоків. Встановлено, що коли швидкість центрального струменю значно менше швидкості кільцевого струменю $W_c / W_k < 8,5$, то центральний струмінь затухає і подається зустрічним потоком зони зворотних токів.

Дослідження щодо стабілізації полум'я в циліндричному пальнику при струменевій подачі палива в зону рециркуляції було проведено в роботі [25, с. 138]. Але в цій роботі отримано

експериментальні дані і запропоновано залежність щодо «багатого» відриву факелу за диском під час збільшення швидкості палива.

Постановка завдання. Завданням досліджень було визначення впливу режимних і конструктивних параметрів пального пристрою на характеристики «бідного» зриву факелу при подачі газу в зону рециркуляції за стабілізатором.

Виклад основного матеріалу досліджень. Під час проведення досліджень параметри системи змінювались в такому діапазоні: ширина стабілізатора $B_{cm} = 15 \div 60$ мм, діаметр газоподаючих отворів $d_z = 2,0 \div 5,0$ мм, коефіцієнт затінення $K_f = 0,15 \div 0,81$ ($K_f = B_{cm} / t_{cm}$, де t_{cm} – крок розміщення стабілізаторів), відношення площі вихідного торця стабілізатора до площі газових отворів $F_{cm} / F_z = 25,5 \div 124$, температура повітря $T_n = 293 \div 1083$ К, інтенсивність турбулентності повітряного потоку $\varepsilon = 1,5 \div 6,0$ %.

У результаті проведення досліджень процесів масообміну в зоні рециркуляції і паливних струменів було встановлено вплив різних геометричних і режимних факторів на коефіцієнт надлишку повітря α_{max} на процес «бідного» зриву факелу в такому виді:

$$\alpha_{max} = K_{max} \frac{B_{cm}^{0,5} d_z^{0,35} \left(\frac{F_{cm}}{F_z} \right)^{0,2}}{w_k^m \cdot K_f (1 + K_f)} \left(\frac{T_n}{273} \right)^{1,3-2K_f}, \quad (5)$$

У формулі (5) через W_k означено швидкість повітряного потоку в камері згоряння перед паливним пристроєм. Як приклад, результати частини експериментів наведено на рис. 3.

Випробування показали, що коефіцієнт надлишку повітря підвищується під час збільшення ширини стабілізатора B_{cm} , діаметру газоподаючого отвору d_z , температури повітря T_n і зменшення швидкості повітряного потоку W_k . Водночас із наведеного матеріалу видно комплексний вплив режимних і геометричних факторів на стабільність факелу на бідній межі.

Наприклад, як видно із залежності (5), стабільність факелу підвищується зі збільшенням ширини стабілізатора – B_{cm} . Але при цьому слід брати до уваги такі обставини, що під час збільшення B_{cm} і при незмінному коефіцієнті затінення K_f поперечні габарити корпусу пальника зростають.

При цьому збільшується також довжина факелу в топковому просторі, яка пропорційна розміру стабілізатора [8, с. 170]. Якщо габарити пального пристрою залишаються незмінними, то при збільшенні B_{cm} підвищується коефіцієнт затінення K_f , що

негативно відображається на зміні α_{max} (рис. 3, криві: 1 - $K_f = 0,81$, 2 - $K_f = 0,60$), а також призводить до росту гідравлічного опору пальникового пристрою.

Крім того, при незмінному розмірі пальникового пристрою і значеннях $K_f > 0,6$, тобто у випадку більш тісного розміщення стабілізаторів підвищення швидкості повітряного потоку між стабілізаторами при постійній швидкості повітря перед пальниковим пристроєм призводить до такої інтенсифікації масообміну в зоні рециркуляції, що зменшує вплив на значення α_{max} температури повітря T_n перед пальниковим пристроєм, тому що температура газів у зоні зворотних токів підвищується на менше значення, ніж температура повітря перед пальником, і стабілізаційні характеристики зони рециркуляції погіршуються.

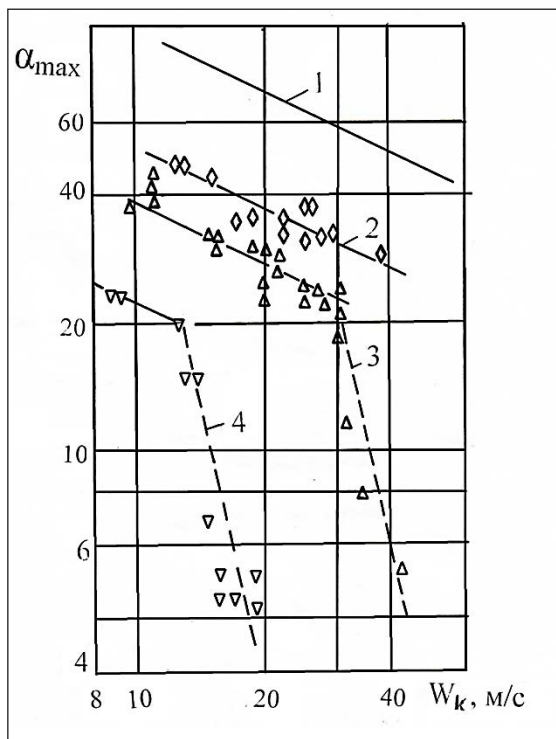


Рис. 3. «Бідний» зрив факелу в залежності від швидкості повітряного потоку при різній ширині стабілізатора $B_{cb} = 45$ мм, коефіцієнту затінення K_f і інтенсивності турбулентності повітряного потоку μ : 1 – розрахунок за формулою (5) ($B_{cm} = 30$ мм, $K_f = 0,60$, $\varepsilon = 1,5\%$); 2 - $B_{cm} = 45$ мм, $K_f = 0,692$, $\varepsilon = 6,0$; 3 - $B_{cm} = 30$ мм, $K_f = 0,60$, $\varepsilon = 6,0\%$; 4 - $B_{cm} = 30$ мм, $K_f = 0,81$, $\varepsilon = 6,0\%$.

Експериментальні дослідження також показали змінність коефіцієнту m у формулі (5) за швидкості повітряного потоку. При $B_{cm} = 45$ мм в діапазоні досліджених значень швидкості повітряного потоку показник $m = 0,5$ (рис. 3, крива 2). Для стабілізаторів меншого розміру $B_{cm} = 30$ мм під час збільшення швидкості повітряного потоку $Re > 1,0 \cdot 10^5$ сталість горіння різко погіршується

(рис. 3, криві 3,4), що становить неможливим нормальну роботу пальникового пристрою.

У дослідженнях встановлено вплив на характеристики «бідного» зриву інтенсивності турбулентності повітряного потоку. Аналіз отриманих даних показав, що при значеннях $\varepsilon = 1,5\%$ коефіцієнт пропорційності K_{max} в формулі (5) дорівнює $K_{max} = 20,8$ (рис. 3, крива 1). Під час підвищення інтенсивності турбулентності повітряного потоку до $\varepsilon = 6,0\%$, тобто в 4 рази, сталість факелу зменшується приблизно у 2,5 рази (рис. 3, криві 2, 3, 4) і в цьому випадку коефіцієнт пропорційності $K_{max} = 8,2$.

Погіршення сталості факелу при збільшенні інтенсивності повітряного потоку пов'язано з тим, що набігає, при цьому також підвищується інтенсивність турбулентності і, відповідно, теплоі масообміну в зоні рециркуляції, що призводить до підвищення необхідної температури суміші в зоні рециркуляції і звуження концентраційних меж запалювання [17, с. 92; 22, с. 78].

Експерименти показали, що в умовах підвищеної інтенсивності турбулентності і швидкості повітряного потоку підвищити сталість факелу під час подачі газу в зону рециркуляції, крім зміни параметрів системи за формулою (5), можна шляхом зменшення інтенсивності тепло-масообмінних процесів у зоні рециркуляції і за рахунок часткової ізоляції зони рециркуляції за стабілізатором постановкою так званих закрилків на вихідні кромки стабілізаторів (див. схему на рис. 4).

Як видно з рис. 4, встановлення закрилків дає можливість значно підвищити зривну швидкість повітряного потоку.

Вплив довжини закрилків на «бідний» зрив факелу можна обрахувати за такою залежністю:

$$\frac{\alpha_{max}}{\alpha_{max_0}} = 1 + 0,6 \left(\frac{l_{zak}}{B_{cm}} \right), \quad (6)$$

де α_{max} , α_{max_0} – зривні коефіцієнти надлишку повітря за наявності закрилків та в разі їх відсутності. Як показали експерименти, закрилки, відносна довжина яких більше 3,0, ставити не доцільно, у зв'язку з тим, що в такому випадку зменшується інтенсивність процесу сумішоутворення палива і повітря, що призводить до підвищення довжини факелу.

$$B_{cm} = 30,0 \text{ мм}; K_f = 0,60; T_n = 293 \text{ К}; 1 - l_{zak} = 0 \text{ мм}; \frac{l_{zak}}{B_{cm}} = 0; 2 - l_{zak} = 30 \text{ мм};$$

$$\frac{l_{zak}}{b_{cm}} = 1,0; 3 - l_{zak} = 60 \text{ мм}; \frac{l_{zak}}{B_{cm}} = 2;$$

$$4 - l_{zak} = 90 \text{ мм}; \frac{l_{zak}}{B_{cm}} = 3,0$$

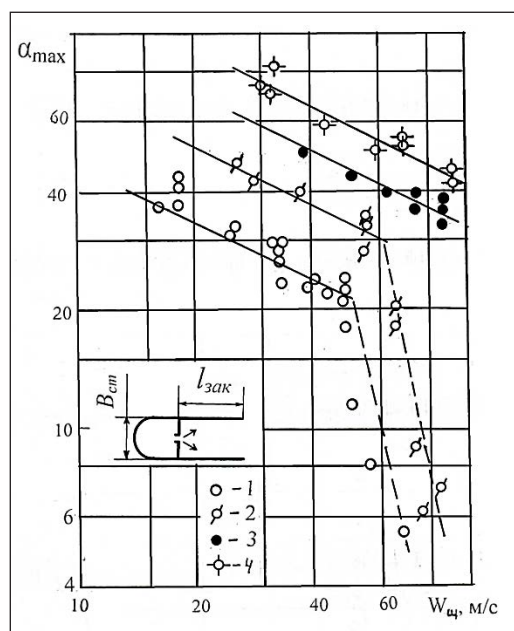


Рис. 4. Схема установки і вплив довжини закрилків на сталість факелу на режимі «бідного» зриву за стабілізатором

Висновки. Виконано аналіз досліджень щодо стійкості горіння мікродифузійного факелу газоподібного палива на межі «бідного» зриву за погано-обтічним тілом – плоским стабілізатором у випадку струменевої подачі палива в зону рециркуляції за ним. Встановлено вплив на характеристики «бідного» зриву режимних – W_n , T_n , ε і конструктивних – B_{cm} , d_{z} , K_f факторів. Встановлено, що під час зменшення ширини стабілізатора $B_{cm} \leq 30$ мм і збільшення швидкості W_n і турбулентності повітряного потоку ε , що обтікає стабілізатор, характеристики стійкості факелу погіршуються, що може призвести до різкого зменшення температури газів в топковому просторі в разі зриву факелу і виникнення додаткових термічних напружень в елементах обладнання. Показано, що стійкість факелу на режимі «бідного» зриву можна підвищити шляхом зміни геометричних параметрів системи, зменшення швидкості повітряного потоку, а також встановленням на вихідні кромки стабілізатора закрилків різної довжини.

Список літератури:

1. Христин В.А., Любчик Г.Н. Газогорелочные устройства для сжигания газа при высоких и переменных избытках воздуха : Научно-технический обзор. Серия: Использование газа в народном хозяйстве. Выпуск 10. Москва : ВНИИЭгазпром, 1978. 60 с.
2. Зысин Л.В. парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 368 с.
3. Махнутин А.К., Кавалеров Б.В. О вопросах применения газотурбинных установок и парогазовых установок в энергетике. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета*. 2015. № 15. С. 84–96.
4. Халатов А.А., Карп И.Н., Куцан Ю.Г. Энергетическое газотурбостроение: Перспективы использования в энергетике Украины. *Вісн. НАН України*. 2015. № 11. С. 52–57.
5. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / Б.В. Раушенбах и др. Москва : Машиностроение, 1964. 526 с.
6. Ильяшенко С.М., Талантов А.В. Теория и расчет прямоточных камер сгорания. Москва : Машиностроение, 1964. 306 с.
7. Когенерационно-утилизационные технологии на базе газотурбинных установок / Г.Н. Любчик и др. Киев : Варта, 2008. 188 с.
8. Сударев А.В., Маев В.А. Камеры сгорания газотурбинных установок. Интенсификация горения. Ленинград : Недра, 1990. 274 с.
9. Горелочное устройство для котла-утилизатора ПГУ-800 / А.Д. Горбатенко и др. *Теплоэнергетика*. 1989. № 5. С. 54–58.
10. Розвиток систем опалювання на вихлопі утилізаційних ГТУ / Г.М. Любчик та ін. *Вестник НТУ «ХПИ». Тематический юбилейный выпуск «Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование»*. Харьков, 2005. № 6. С. 145–153.
11. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Москва : Изд-во МЭИ, 2002. 584 с.
12. Шатиль А.А. Расчетное исследование топочных устройств. Санкт-Петербург : «НПО ЦКТИ», 2003. 150 с.
13. Чигрин В.С., Белова С.Е. Конструкция форсажных камер и выходных устройств авиационных ГТД. Рыбинск : РГАТА, 2004. 38 с.
14. Модернизация горелочного оборудования зажигательных горнов агломерационных машин аглофабрики ЧАО «ММК им. Ильича» / М.А. Томаш и др. / *Металл и литье Украины*. 2017. № 1(284). С. 16-18.

15. Исследование выгорания топлива за уголковыми и плоскими стабилизаторами пламени / Л.С. Бутовский и др. *Теория и практика сжигания газа*. Вып. VI. Ленинград : Недра, 1975. С. 324–338.
16. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. Москва : Энергия, 1976. 488 с.
17. Проблемы и пути создания малотоксичных камер сгорания для стационарных ГТУ / А.Г. Тумановский и др. *Теплоэнергетика*. 2006. № 7. С. 22–29.
18. Франк-Каменецкий Д.А., Минский Е.М. Микродиффузионное турбулентное горение. *Докл. АН СССР*. 1950. Т. 50. С. 353–354.
19. Основы проектирования и характеристики газотурбинных двигателей / Под ред. У.Р. Хауторна и У.Т. Олсона. Москва : Машиностроение, 1964. 648 с.
20. Щетинков Е.С. О физической модели стабилизации пламени на плохообтекаемых телах. *Теория и практика сжигания газа*. Вып. IV. Ленинград : Недра, 1968. С. 95–105.
21. Талантов А.В. Анализ условий стабилизации пламени на основе гомогенного реактора. *Известия вузов. Авиационная техника*. 1978. № 3. С. 92–99.
22. Бауэр А.Б. Эксперименты по вдуву в ближний след. *Ракетная техника и космонавтика*. 1968. № 8. С. 222–224.
23. Льюис Дж.Э., Чепкис Р.Л. Осредненные характеристики турбулентного ближнего следа за тонким телом при наличии и отсутствии вдува в донную область. *Ракетная техника и космонавтика*. 1969. Т. 7. № 5. С. 46–54.
24. Хигир Н.А., Бэр Дж. М. Область течения двойных концентрических струй вблизи сопла. *Теоретические основы инженерных расчетов. Серия Д*. 1964. 86. № 4. С. 195–204.
25. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива. Санкт-Петербург : Недра, 1987. 336 с.

Chernousenko O.Yu., Butovsky L.S., Hranovska O.O., Moroz O.S., Starchenko O.S.

THE STABILITY OF THE COMBUSTION PROCESS ON «POOR» FLAME OUT IN CONDITION OF THE MICROFLAME BURNING OF THE GAS BEHIND THE STABILIZER

The article presents the results of experimental studies on the stability of microflame torch combustion behind a poorly streamlined body – a stabilizer on the boundary of “poor” flame out at the jet supply of gaseous fuel into the recirculation zone. The fuel is supplied through the hole system in the output end of the stabilizer.

The data were obtained about the influence on the characteristics of the “poor” flame out of such factors as the speed and temperature of the air flow, the size and the relative location of stabilizers, the size and the relative area of the gas openings, the configuration of the output edge of the stabilizer. Results of researches showed the high-quality coincidence of characteristics of “poor” flame out which are received when burning behind the stabilizer of previously mixed homogeneous mixes and diffusion burning of fuel at the stream supply of gas in a zone of the return currents behind the stabilizer. It is established that the stable work of a torch on poor limits extends – the coefficient of excess of air increases at reduction of speed of an air flow in the camera before a torch, increase in width of the stabilizer, diameter of gas-distributing openings and air temperature increasing. It is also necessary to take into account that, on the other hand, increase in width of the stabilizer leads to increase in speed of an air flow between stabilizers that can lead to deterioration in constancy of burning, increase of hydraulic resistance of a torch and increase in length of a torch in a furnace. Strong influence of intensity of turbulence of an air flow on characteristics of “poor” failure is established. So, at increase in value of intensity of turbulence from 1,8 % to 6.0%, that is by 4 times, the value of coefficient of excess of air on poor limits decreases from by 2.5 times. The dependencies for the preliminary calculation of characteristics of “poor” flame out in stabilizer burners with gas supply to the recirculation zone are given.

Key words: stabilizer, microflame combustion, gaseous fuel, “poor” flame out, air flow, recirculation zone.

БУДІВНИЦТВО

УДК 624.012.45

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/32>**Азізов Т.Н.**

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

Орлова О.М.

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ БЕРЕГІВ НОРМАЛЬНОЇ ТРІЩИНИ ПРИ КРУЧЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ

Наведено методика визначення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини елементів двотаврового перерізу при крученні. Показано, що натепер під час реального проєктування залізобетонних конструкцій (у тому числі при використанні відомих у всьому світі програм типу *Ansys*, *Lira* та інших) не враховується факт істотного впливу нормальних тріщин на зміну крутильних жорсткостей залізобетонних елементів. Показано, що розрахунок міцності й жорсткості при крученні залізобетонних елементів із нормальними тріщинами містить три етапи. На першому етапі визначається взаємне переміщення берегів нормальної тріщини; на другому етапі визначається поперечна сила в поздовжній арматурі; на третьому етапі визначається міцність і жорсткість елемента з нормальними тріщинами. Розглянуто, що основною та найскладнішою задачею є визначення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини. Складність завдання полягає в тому, що крутний момент з одного блоку на інший передається через частину поперечного перерізу, що своєю чергою призводить до непридатності формул теорії пружності, в яких передбачається, що дотичні напруження розподілені по всьому торцевому перерізу. Через те, що крутний момент передається через частину без тріщин, розрахунок проводиться умовним розсіченням двотаврового перерізу на рівні вершини нормальної тріщини на два таврових елемента. По лінії розсічення діятимуть невідомі погонні дотичні сили й погонні згинальні моменти. Для визначення цих невідомих функцій з умов сумісності деформацій виведено систему двох диференціальних рівнянь другого порядку. Показаний спосіб рішення системи за допомогою розкладання невідомих функцій в ряди Фур'є, які швидко збігаються. Після визначення невідомих зусиль обчислення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини не представляє труднощів. Зроблено порівняння результатів розрахунків за розробленою методикою з результатами, отриманими моделюванням у програмі *Lira* із застосуванням об'ємних скінчених елементів. Показано добрий збіг результатів. Схарактеризовано, що методика, будучи досить точною, набагато простіша й менш трудомістка в порівнянні з розрахунком із застосуванням об'ємних скінчених елементів. Наведені перспективи досліджень, які стосуються рішення системи диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами.

Ключові слова: крутильна жорсткість, нагельна сила, двотавровий переріз, умови сумісності, диференціальне рівняння, ряди Фур'є, теорія пружності, опір матеріалів.

Аналіз досліджень і постановка задачі. У залізобетонних елементах наявність різних тріщин веде до зміни їхніх жорсткостей при згині й крученні. У залізобетонних елементах при відносно невеликих крутних моментах просторові тріщини кручення не виникають. Наприклад, в ребристих плитах перекриття в момент, коли нормальні тріщини розкриті досить широко, просторові тріщини кручення відсутні. Водночас перерозподіл навантаження між суміжними ребрами,

а також між окремими збірними елементами перекриття залежить не тільки від згинальної, але й від крутильної жорсткості ребер [3; 4; 8].

Наявні методики визначення жорсткості на кручення [5; 6; 7] стосуються тільки залізобетонних елементів із просторовими (спіральними) тріщинами, хоча експериментальними дослідженнями встановлений істотний вплив нормальних тріщин на крутильну жорсткість залізобетонних елементів [3; 8]. При використанні в проєктуванні реальних

споруд загальновідомих програм типу Ansys, Ліра й інших також не враховується зміна крутильних жорсткостей стрижневих елементів від наявності в них нормальних тріщин, що погіршує точність визначення зусиль у конструкціях будівель і споруд.

Вважається загальноприйнятим, що міцність залізобетонних елементів при крученні практично не залежить від кількості поздовжньої арматури [7], хоча теоретичні й експериментальні дослідження авторів [1; 3; 8; 10] показують, що при наявності нормальних тріщин міцність залізобетонного елемента при крученні істотно залежить від кількості поздовжньої арматури.

Відомо, що основним завданням розрахунку жорсткості й міцності при крученні є визначення взаємного переміщення блоків залізобетонного елемента, відокремлених нормальною тріщиною [1; 2]. Це завдання ускладнюється тим, що крутий момент передається через частину перетину залізобетонного елемента (через стиснуту від згину зону й поздовжню арматуру), що своєю чергою призводить до непридатності формул теорії пружності, в яких передбачається, що дотичні напруження розподілені по всьому торцевому перерізу.

Аналіз літератури показує, що натеper у практичних розрахунках залізобетонних стрижневих елементів під час дії на них крутих моментів не враховується фактор впливу нормальних тріщин на зміну жорсткості й міцності при крученні таких елементів. Розрахунок міцності й жорсткості при крученні залізобетонних елементів із нормальними тріщинами містить три етапи. На першому етапі визначається взаємне переміщення берегів нормальної тріщини з умовно розсіченою поздовжньою арматурою; на другому етапі визначається поперечна сила в поздовжній арматурі; на третьому етапі визначається міцність і жорсткість елемента з нормальними тріщинами. Відомо [1; 2], що для визначення жорсткості при крученні залізобетонного елемента з нормальними тріщинами треба умовно розрізати поздовжню арматуру й визначити взаємне переміщення берегів нормальної тріщини. Після цього задача визначення жорсткості й міцності при крученні елемента з нормальними тріщинами не викликає труднощів. Нині задача визначення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини для елементів прямокутного перерізу вирішена [1; 2; 8]. Однак велика кількість залізобетонних елементів мають переріз у вигляді двотавру.

З огляду на вищесказане, **метою статті** є розроблення методики визначення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини в елементах двотаврового перерізу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо залізобетонний елемент двотаврового перетину з нормальними тріщинами. При крученні залізобетонного елемента з нормальними тріщинами крутий момент із блоку А на блок В передається через зону x над нормальною тріщиною та поздовжню арматуру (рис. 1).

У результаті дії крутного моменту в поздовжній арматурі елемента виникає сумарна поперечна сила Q (рис. 2), яка підлягає визначенню.

Через наявність нормальної тріщини краї тріщини отримують взаємне переміщення Δ_{tot} . Очевидно, що загальне переміщення точки С відносно точки С' (див. рис. 2) при крученні елемента буде складатися з переміщення від кручення блоку В і переміщення Δ_{tot} в тріщині. І чим більше величина Δ_{tot} , тим більше жорсткість елемента з тріщиною буде відрізнятися від жорсткості елемента без тріщини.

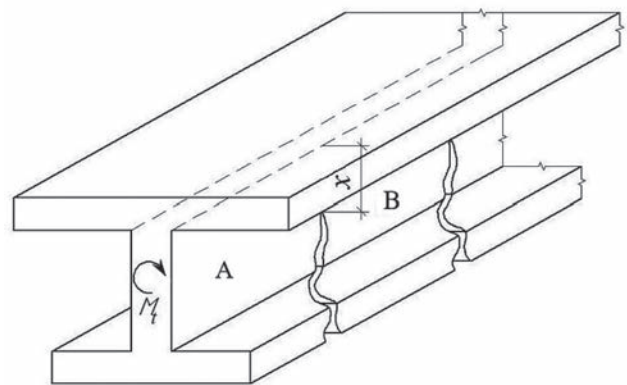


Рис. 1. Схема залізобетонного елемента з нормальними тріщинами, завантаженого крутним моментом

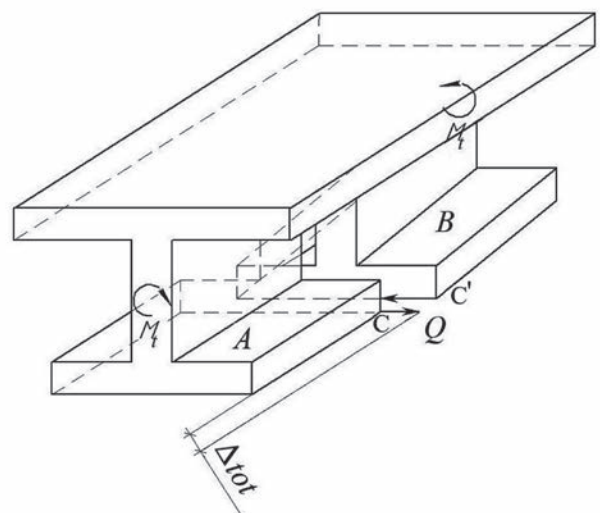


Рис. 2. Схема для визначення нагельної сили в арматурі при взаємному поверті двох блоків, відокремлених тріщиною

Величина поперечної (нагельної) сили Q в арматурі не відома. Якщо визначити цю нагельну силу, то визначення величини зміщення берегів нормальної тріщини Δ_{tot} , а, отже, й жорсткості елемента при крученні не складе труднощів [1]. Для визначення нагельної сили Q слід подумки розсікти її в перерізі з нормальною тріщиною та розглянути умови спільності деформацій у місці умовного розсічення [1; 2]. Після розтину поздовжньої арматури основним і найскладнішим завданням є визначення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини. Складність завдання полягає в тому, що крутний момент з одного блоку на інший передається через частину поперечного перерізу. Схема передачі крутного моменту для двотаврового перерізу показана на рис. 3. Частина перерізу, через яку передається крутний момент, на рис. 3 заштрихована.

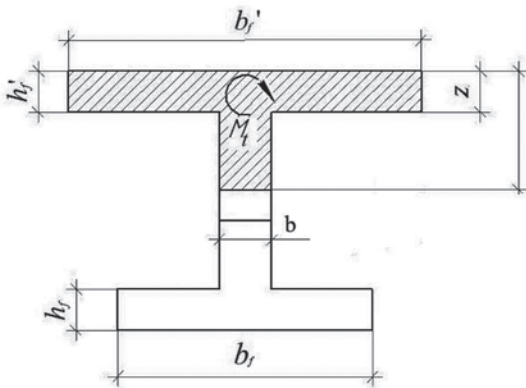


Рис. 3. Схема передачі крутного моменту через стиснуту (від згину) зону бетону

Використання класичних формул теорії пружності для кручення в такому випадку неприйнятно, тому що в них передбачається, що крутний момент становлять дотичні напруження, розподілені по всьому торцевому перерізу [9]. Ускладнену цим фактором задачу можна вирішити різними способами, в тому числі за допомогою моделювання елемента об'ємними скінченими елементами. Але така задача вельми трудомістка, особливо у випадках, коли такі розрахунки треба проводити багато разів із різними розмірами поперечного перерізу при варіантному проектуванні. Розглянемо наближений, але простий спосіб. Будемо розглядати один блок між нормальними тріщинами. Розрахунок будемо вести подібно методу лінійних скінчених елементів, основні положення якого розроблені Т.Н. Азізовим [2; 3]. З огляду на те, що стінка двотаврової балки, як правило, має невелику товщину, будемо умовно вважати, що двотавровий перетин може бути представлено у

виділі набору трьох пластин (верхня та нижня полиці й стінка). Нехай у стрижні двотаврового перетину є нормальні тріщини, як показано на рис. 4, з відстанню між тріщинами l , висота тріщини дорівнює h_{cr} .

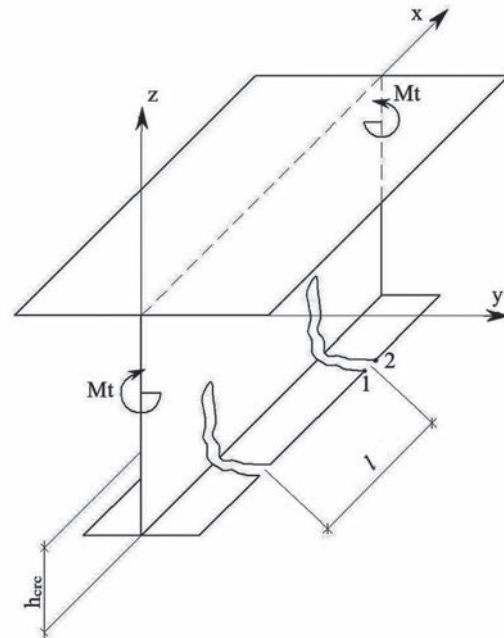


Рис. 4. Схема елемента двотаврового перерізу з нормальними тріщинами

Завдяки тому, що крутний момент передається через частину бетону без тріщин (див. рис.3), для розрахунку, слідуючи подібно методиці [2], розсічемо елемент площиною XOY на рівні вершини нормальної тріщини на два таврових елемента. По лінії розсічення діятимуть погонні дотичні сили $\tau(x)$ і погонні згинальні моменти $m(x)$ (рис. 5).

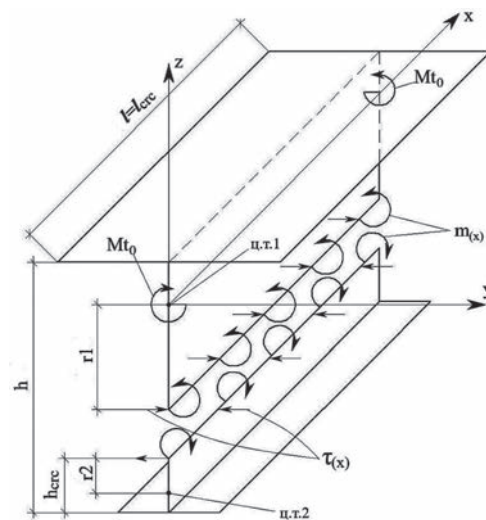


Рис. 5. Схема розділення двотаврового стрижня на два таврових

Для визначення цих погонних невідомих сил слід подібно [2] скласти умови спільності деформацій по лінії розтину, тобто умови рівності горизонтальних переміщень (уздовж осі Y на рис. 5) й кутів повороту відносно осі X для верхнього й нижнього таврових елементів. Розглянемо окремо кожну умову.

Горизонтальні переміщення верхнього тавра. Переміщення вправо будемо вважати позитивними, вліво – негативними.

1. Горизонтальні переміщення від крутіння зовнішнім моментом Mt_0 , дотичними силами $\tau(x)$, моментами $m(x)$. Схема деформації перетину показана на рис. 6.

Горизонтальне переміщення Δ дорівнює:

$$\Delta = \varphi \cdot r_1, \quad (1)$$

де φ – абсолютний кут закручування стрижня (див. рис. 6); r_1 – відстань від лінії розрізу до центра ваги верхнього тавра.

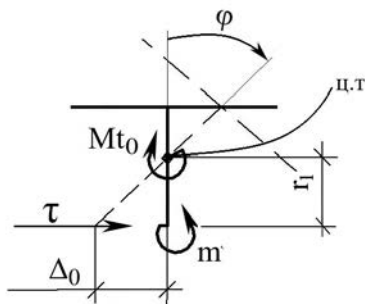


Рис. 6. Схема деформації перерізу при крутінні верхнього тавра

Диференціюючи один раз вираз (1) і з огляду на те, що відомо з теорії крутіння [10], маємо таку формулу:

$$\theta = \varphi' = \frac{M_t}{GJ}, \quad (2)$$

де $M_t = M_t(x)$ – сумарний крутний момент від початку координат до даної точки з координатою x ; GJ – крутильна жорсткість, отримуємо для верхнього стрижня:

$$\Delta_1' = -\frac{Mt_0}{GJ_1} r_1 + \frac{T \cdot r_1}{GJ_1} r_1 + \frac{Mt}{GJ_1} r_1, \quad (3)$$

У виразі (3) позначено: $T = T(x)$, $Mt = Mt(x)$ – відповідно сумарна дотична сила й сумарний момент, пов'язані з погонною дотичною силою $\tau(x)$ і з погонним моментом $m(x)$ диференціальними залежностями:

$$T'(x) = \tau(x); Mt'(x) = m(x), \quad (4)$$

2. Горизонтальне переміщення від згину стінки відсіченого тавра дотичними силами $\tau(x)$ і погонними моментами $m(x)$.

Схема деформування стрижня в цьому випадку показана на рис. 7.

Горизонтальні переміщення від дотичної сили τ (рис. 7, а) і від моменту m (рис. 7, б) визначаються за відомими формулами опору матеріалів [10]:

$$\Delta_\tau = \frac{\tau \cdot r r_1^3}{3 \cdot EJ}; \Delta_m = \frac{m \cdot r r_1^2}{2 \cdot EJ}, \quad (5)$$

де EJ – згинальна жорсткість стрижня. У нашому випадку ця жорсткість дорівнює жорсткості стрижня з висотою перерізу, яка дорівнює товщині стінки, й шириною, що дорівнює одиниці; $r r_1$ – відстань від лінії розрізу до низу верхньої полиці двотавру (вважаємо, що стінка згинається як стрижень, закріплений у верхній полиці).

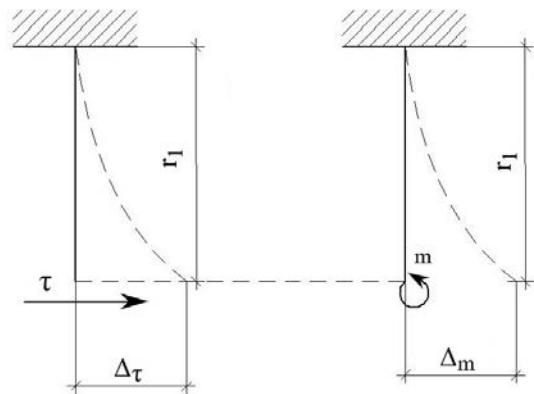


Рис. 7. Схема деформування стінки тавру від сил $\tau(x)$ і $m(x)$

Диференціюючи один раз вираз (5) і з огляду на диференціальні залежності (4), отримуємо вирази для похідних горизонтальних переміщень, отриманих у результаті дії сил T і M_t :

$$\Delta_1^I = \frac{T \cdot r r_1^3}{3 \cdot EJ} + \frac{M_t \cdot r r_1^2}{2 \cdot EJ}, \quad (6)$$

Сумарне переміщення (вірніше похідну від переміщення) в горизонтальному напрямку від крутіння верхнього тавра й місцевого згину стінки отримуємо додаванням виразів (3) і (6):

$$\Delta_1^I = -\frac{Mt_0}{GJ_1} r_1 + \frac{T \cdot r_1}{GJ_1} r_1 + \frac{Mt}{GJ_1} r_1 + \frac{T \cdot r r_1^3}{3 \cdot EJ} + \frac{M_t \cdot r r_1^2}{2 \cdot EJ}, \quad (7)$$

Для переміщень нижнього тавра від крутіння аналогічно (3) (рис. 8) і від місцевого згину стінки аналогічно (6) будемо мати:

$$\Delta_2^I = -\frac{T \cdot r_2}{GJ_2} r_2 + \frac{Mt}{GJ_2} r_2 - \frac{T^{II} \cdot r r_2^3}{3 \cdot EJ} + \frac{Mt^{II} \cdot r r_2^2}{2 \cdot EJ}, \quad (8)$$

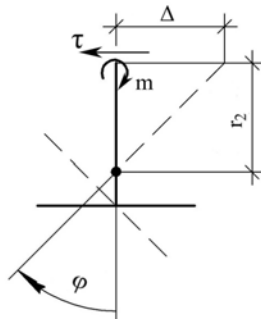


Рис. 8. Схема деформації перерізу при крученні нижнього тавру

Друге рівняння спільності буде рівнянням рівності кутів повороту верхнього й нижнього таврів у місці їхнього умовного розсічення. Ці кути від крутіння будуть також визначатися за відомими формулами опору матеріалів (див. рисунки 6 і 8). Кут повороту за годинниковою стрілкою будемо вважати позитивним, проти годинникової – негативним. Кути повороту від місцевої деформації стінки (див. рис. 7) визначаються за формулами [10]:

$$\varphi_\tau = \frac{\tau \cdot r r_1^2}{2 \cdot EJ}; \quad \varphi_m = \frac{m \cdot r r_1}{EJ}, \quad (9)$$

Діючи аналогічно визначенню похідної горизонтального переміщення, отримаємо для кутів повороту верхнього й нижнього таврів:

Для верхнього тавра:

$$\theta_1 = \varphi_1^I = \frac{Mt_0}{GJ_1} - \frac{T \cdot r_1}{GJ_1} - \frac{Mt}{GJ_1} - \frac{T^{II} \cdot r r_1^2}{2 \cdot EJ} - \frac{Mt^{II} \cdot r r_1}{EJ}, \quad (10)$$

Для нижнього тавра:

$$\theta_2 = \varphi_2^I = -\frac{T \cdot r_2}{GJ_2} + \frac{Mt}{GJ_2} - \frac{T^{II} \cdot r r_2^2}{2 \cdot EJ} + \frac{Mt^{II} \cdot r r_2}{EJ}, \quad (11)$$

Прирівнюючи переміщення верхнього тавра за (7) із переміщенням нижнього тавра за (8), а також кути повороту верхнього тавра за (10) із кутами повороту нижнього тавра за (11), отримаємо розв'язувальну систему диференціальних рівнянь для визначення невідомих зусиль $T(x)$ і $M_t(x)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} T \left(\frac{r_1^2}{GJ_1} + \frac{r_2^2}{GJ_2} \right) + Mt \left(\frac{r_1}{GJ_1} - \frac{r_2}{GJ_2} \right) + T^{II} \left(\frac{r r_1^2}{3EJ} + \frac{r r_2^2}{3EJ} \right) + Mt^{II} \left(\frac{r r_1^2}{2EJ} - \frac{r r_2^2}{2EJ} \right) = \frac{Mt_0 r_1}{GJ_1} \\ T \left(-\frac{r_1}{GJ_1} + \frac{r_2}{GJ_2} \right) + Mt \left(-\frac{1}{GJ_1} - \frac{1}{GJ_2} \right) + T^{II} \left(-\frac{r r_1^2}{2EJ} + \frac{r r_2^2}{2EJ} \right) + Mt^{II} \left(-\frac{r r_1}{EJ} - \frac{r r_2}{EJ} \right) = -\frac{Mt_0}{GJ_1} \end{array} \right\}, \quad (12)$$

З системи (12) видно, що при рівних стрижнях вона розпадається на два незалежних диференціальних рівняння другого порядку.

Граничні умови для невідомих (при $X=0$ і $X=L$) будуть мати вигляд:

$T(0)=T(L)=0$; $M_t(0)=M_t(L)=0$, тобто сумарні дотичні сили й сумарні моменти на кінцях розглянутої ділянки (в місцях наявності нормальних тріщин) мають нульові значення. А погонні дотичні сили $\tau(x)$ і погонні моменти $m(x)$, навпаки, мають максимальні значення на границях ділянки. Тобто, $\tau(0)=\tau(L)=max$; $m(0)=m(L)=max$ (рис. 9).

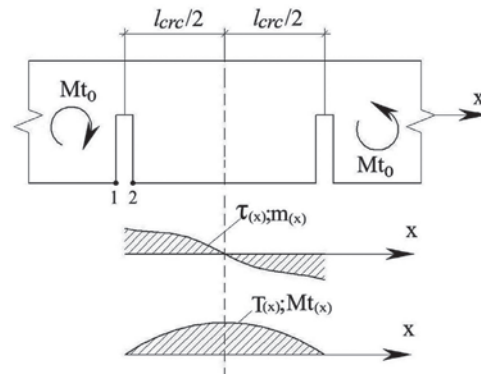


Рис. 9. До визначення граничних умов для невідомих

Ця обставина дозволяє прийняти рішення для невідомих функцій у вигляді розкладання їх в тригонометричні ряди Фур'є по синусах:

$$T(x) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{L} x\right);$$

$$Mt(x) = \sum_{n=1}^{\infty} M_n \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{L} x\right), \quad (13)$$

де T_n і M_n – коефіцієнти Фур'є, що підлягають визначенню.

Для вирішення системи (13) за допомогою розкладання в ряди Фур'є слід і зовнішній крутний момент Mt_0 також розкласти в ряд Фур'є по синусах:

$$Mt_0 = \sum_{n=1}^{\infty} Mt_n \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{L} x\right), \quad (14)$$

де коефіцієнти Фур'є Mt_n для випадку постійного моменту $Mt_0=const$ будуть мати вигляд:

$$Mt_n = \frac{2Mt_0}{L\alpha} [(-1)^n - 1], \quad (15)$$

де позначено: $\alpha=\pi \cdot n/L$.

Прийнявши рішення у вигляді (13), розклавши зовнішній момент по (14), підставивши в (12), зробивши диференціювання та скоротивши на $\sin(\alpha \cdot x)$, отримаємо замість системи диференціальних рівнянь систему двох алгебраїчних рівнянь із двома невідомими T_n і M_n :

$$T_n \left(\frac{r_1^2}{GJ_1} + \frac{r_2^2}{GJ_2} + \frac{\alpha^2 r_1^3}{3EJ} + \frac{\alpha^2 r_2^3}{3EJ} \right) + Mn \left(\frac{r_1}{GJ_1} - \frac{r_2}{GJ_2} + \frac{\alpha^2 r_1^2}{2EJ} - \frac{\alpha^2 r_2^2}{2EJ} \right) = \frac{Mt_n r_1}{GJ_1}$$

$$T_n \left(-\frac{r_1}{GJ_1} + \frac{r_2}{GJ_2} - \frac{\alpha^2 r_1^2}{2EJ} + \frac{\alpha^2 r_2^2}{2EJ} \right) + Mn \left(-\frac{1}{GJ_1} - \frac{1}{GJ_2} - \frac{\alpha^2 r_1}{EJ} - \frac{\alpha^2 r_2}{EJ} \right) = \frac{-Mt_n}{GJ_1} \quad (16)$$

Рішення системи (16) дає значення невідомих коефіцієнтів Фур'є:

$$T_n = \eta/\beta; \quad M_n = D/B - T_n \cdot A/B, \quad (17)$$

В виразі (17) прийняті позначення:

$$\beta = A/B - \xi/\gamma; \quad \eta = D/B - \omega/\gamma, \quad (18)$$

Через A позначений множник при T_n в першому рівнянні системи (16), через B – множник при M_n . Через ξ позначений множник при T_n у другому рівнянні; через γ – множник при M_n у другому рівнянні (16). Праві частини системи (16) позначені відповідно через D для першого й через ω для другого.

Знайдені значення коефіцієнтів T_n і M_n для кожного $n=1 \dots \infty$ підставляються у вирази (13), і в результаті отримуємо значення невідомих внутрішніх зусиль $T(x)$ і $M_t(x)$. Для визначення невідомих погонних дотичних сил $\tau(x)$ і погонних моментів $m(x)$ слід продиференціювати вираз (13) один раз. В результаті отримаємо:

$$\tau(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha \cdot T_n \cdot \text{Cos}(\alpha \cdot x);$$

$$m(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha \cdot M_n \cdot \text{Cos}(\alpha \cdot x), \quad (19)$$

Після визначення функцій невідомих сил кут повороту кожного тавра можна визначити як кут від зовнішнього моменту Mt_0 і кут від сил, визначених у результаті рішення системи (16). З огляду на те, що зовнішній момент Mt_0 прикладений по торцях стрижня антисиметрично (див. рис. 5), кут повороту в торці перетину буде визначено на довжині $L/2=L_{cr}/2$. Так, кут повороту верхнього стрижня з урахуванням напрямку дії невідомих сил за рис. 5 буде визначено за формулою:

$$\varphi_1 = \frac{Mt_0 l / 2}{GJ_1} - \frac{1}{GJ_1} \int_0^{l/2} [r_1 T(x) + Mt(x)] dx, \quad (20)$$

З врахуванням (13) формула (20) прийме вигляд:

$$\frac{1}{GJ_1} \left[Mt_0 \frac{l}{2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{r_1 T_n + M_n}{\alpha} \left(\text{Cos} \left(\frac{\pi \cdot n}{2} \right) - 1 \right) \right], \quad (21)$$

Слід зазначити, що ряд у формулі (21) сходиться дуже швидко. Уже при п'яти членах ряду похибка становить не більше двох відсотків.

Після визначення кута повороту φ_1 не важко визначити взаємне переміщення берегів нормальної тріщини (зміщення між точками 1 і 2 на рис. 4 і 9). Цей зсув визначимо наступним чином (див. рис. 4 і 9).

Спочатку визначимо горизонтальне переміщення δ_1 точки 1 (переміщення по осі Y на рис. 4). Для цього кут повороту φ_1 слід помножити на відстань h_1 по вертикалі (по осі Z) від центра ваги верхнього тавра до нижньої грані двотаврового елемента. Ця відстань дорівнює (див. рис. 5) $h_1=r_1+h_{cr}$. Потім визначимо горизонтальне переміщення δ_2 точки 2. Для цього потрібно помножити кут повороту φ_c усього двотаврового перетину на відстань по вертикалі h_c від центра ваги двотаврового елемента до нижньої його грані. Взаємне зміщення $\delta_{1,2}$ дорівнюватиме різниці між δ_1 і δ_2 . Таким чином:

$$\delta_{1-2} = \varphi_1 h_1 - \varphi_c h_c, \quad (22)$$

де φ_1 визначається за (20), а φ_c – за відомою формулою опору матеріалів при відомій жорсткості всього двотавру GJ_{tot} :

$$\varphi_c = \frac{Mt_0 l / 2}{GJ_{tot}}, \quad (23)$$

Таким чином, завдання визначення взаємного зсуву берегів нормальної тріщини з розсіченою арматурою вирішено.

Слід звернути увагу на важливий факт. Жорсткість EJ одиничних стрижнів (в формулах 5 і далі) в отриманій системі диференціальних рівнянь розглядається в припущенні їхньої окремої роботи. Тобто вважаємо, що стрижні не пов'язані один з одним. Насправді під час прикладення дотичної сили τ або моменту m у даній конкретній точці переміщення кінця стінки буде значно меншим. Тому жорсткість умовних стрижнів EJ слід прийняти з деяким коефіцієнтом k_u , що враховує збільшення цієї жорсткості. Коефіцієнт k_u неважко отримати розрахунком пластини з прикладеною в даній точці горизонтальною силою або моментом (як показано на рис. 7) і порівняти це переміщення з переміщенням одиничного стрижня. Водночас для різної довжини стрижня (r_1 на рис. 7) цей коефіцієнт буде різним. Нижче в таблиці наведені значення цього коефіцієнта для прикладу двотаврової

балки з конкретними розмірами. Крім того, переміщення кінця пластини буде залежати від місця положення сили стосовно розташування тріщини (початку координат на рис. 5 і 9). Тому в загальному випадку система диференціальних рівнянь (12) буде системою зі змінними коефіцієнтами, що не дає можливість вирішувати її за допомогою розкладання в ряди Фур'є, як показано вище. Однак, рішення цієї системи зі змінними коефіцієнтами в принципі не становить труднощів і є предметом подальших досліджень.

Порівняння переміщень, отриманих за розробленою методикою, з розрахунками за методом скінчених елементів із використанням об'ємних скінчених елементів наведені в таблиці 1. Двотавровий перетин має наступні розміри: ширина верхньої полиці 300 мм, її товщина 30 мм; ширина нижньої полиці 85 мм, її товщина 45 мм; товщина ребра 30 мм; загальна висота перерізу балки 220 мм; відстань між тріщинами дорівнює 300 мм. Висота тріщини h_{crc} варіюється. Величина k_u

в третій графі таблиці отримана розрахунками пластини з прикладенням горизонтальної сили й моменту, як показано на рис. 7. Водночас залежність цього коефіцієнта від відношення h_{crc}/h , де h – повна висота перерізу балки, має практично лінійний вид, що видно з рис. 10. На цьому рисунку показані залежності $k_u = f(h_{crc}/h)$ для вищезгаданої балки при товщині верхньої полиці 30 і 40 мм.

Як видно з таблиці, при підборі коефіцієнта k_u по залежності на рис. 10 розрахунок за запропонованою методикою практично не відрізняється від розрахунку із застосуванням об'ємних скінчених елементів. Водночас розрахунок за запропонованою методикою набагато простіший у порівнянні з розрахунком із застосуванням об'ємних скінчених елементів.

Після визначення кута повороту верхнього стрижня за (20), а цілого перерізу за (23) обчислення взаємного зміщення берегів нормальної тріщини не становить труднощів. Знаючи величину взаємного зміщення берегів нормальної тріщини,

Таблиця 1

Порівняння переміщень, отриманих за розробленою методикою, з розрахунками за методом скінчених елементів із використанням об'ємних скінчених елементів

h_{crc} мм	φ_{lit} (об'ємні скінчені елементи за програмою Ліра)	φ_t – теорія (за методикою) при значенні k_u		φ_t/φ_{lit}
		k_u	φ_t	
1	2	3	4	5
5	0.0005981	85	0.0006	1.003
7	0.000697	60	0.000694	0.995
9	0.0007738	45	0.000778	1.005
11	0.0008418	35	0.000856	1.017
13	0.000902	30	0.000898	0.995
15	0.000953	25	0.000959	1.006
17	0.0009937	24	0.000979	1.015

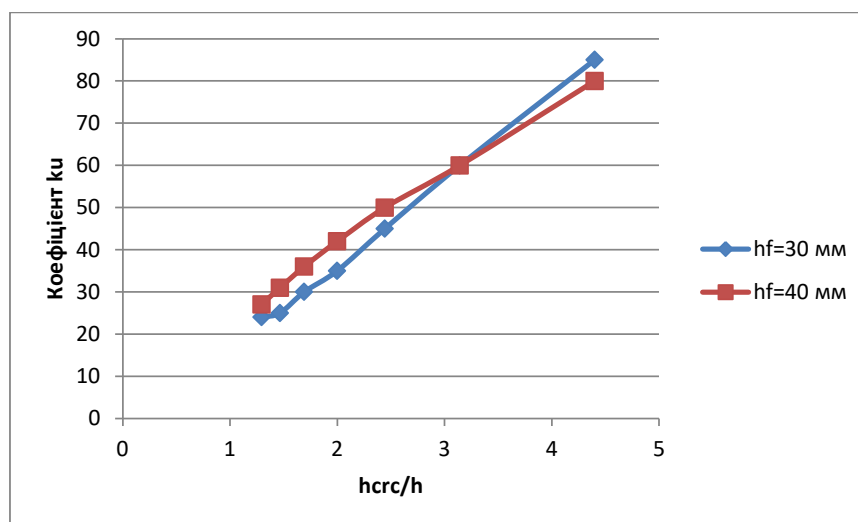


Рис. 10. Залежність коефіцієнта k_u від відношення h_{crc}/h

нагельну силу в поздовжній арматурі, жорсткість і міцність залізобетонного елемента з нормальними тріщинами при крученні можна визначити за методикою [1; 2].

Висновки. Нормальні тріщини впливають на крутильну жорсткість і міцність залізобетонних елементів. У нормах проектування всіх країн відсутня методика розрахунку міцності й жорсткості стрижневих залізобетонних елементів із нормальними тріщинами при крученні. Це пов'язано насамперед із невивченістю питання визначення жорсткості стрижневих залізобетонних елементів із нормальними тріщинами при крученні. При крученні елемента з нормальними тріщинами опір крутному моменту чинить поздовжня арматура й частина бетонного перерізу без тріщин. Для визначення жорсткості при крученні елемента з нормальною тріщиною основним й

найскладнішим завданням є визначення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини з умовно розсіченою арматурою. Після визначення взаємного зсуву берегів тріщини неважко обчислити крутильну жорсткість елемента з нормальними тріщинами, а також міцність елемента з нормальними тріщинами при крученні.

У роботі наведена методика визначення взаємного переміщення берегів нормальної тріщини для елементів двотаврового перерізу. Методика відрізняється своєю простотою та досить точна для практичних розрахунків. Застосування методики дозволяє розраховувати крутильну жорсткість елементів двотаврового перерізу без використання складних програмних комплексів.

Перспективою досліджень є врахування змінних жорсткостей одиничних стрижнів, що моделюють роботу стінки двотаврового перерізу.

Список літератури:

1. Azizov T.N., Melnik O.S. and others. Calculation of reinforced concrete ceilings with normal cracks accounting the Chebyshev approximation. *Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings* : 6 th International Scientific Conference, Kharkiv, April 19–21, 2017. Kharkiv, 2017. P. 1–7.
2. Азизов Т.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами. *Дороги і мости* : збірник наукових праць. Вип. 7. Том 1. Київ : ДерждорНДІ, 2007. С. 3–8.
3. Азизов Т.Н. Просторова робота залізобетонних перекриттів. Теорія та методи розрахунку : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.01 ; Полтавський національний технічний університет. Полтава, 2006. 35 с.
4. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчёт несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. Москва : Стройиздат, 1977. 223 с.
5. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. Москва : Стройиздат, 1996. 416 с.
6. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. Москва : Стройиздат, 1976. 208 с.
7. Коуэн Г.Дж. Кручение в обычном и предварительно нажатом железобетоне / пер. с англ. Москва : Изд-во литературы по строительству, 1972. 104 с.
8. Срібняк Н.М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 ; Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2009. 23 с.
9. Тимошенко С.П. Теория упругости. Москва : ОНТИ, 1934. 451с.
10. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Москва : Наука, 1970. 544 с.

Azizov T.N., Orlova O.M. THE DETERMINATION OF MUTUAL MOVEMENT OF THE BORDERS OF NORMAL CRACK UNDER THE CONDITION OF REINFORCED CONCRETE I-BEAM ELEMENTS TORSION

The method of determining the mutual displacement of the borders of a normal crack of an I-beam element in torsion is presented. It is shown that to date, the actual design of reinforced concrete structures (including the use of known worldwide programs such as Ansys, Lira, etc.) does not take into account the fact that the influence of normal cracks on the change of torsional rigidity of reinforced concrete elements. It is shown that the calculation of tensile strength and tensile strength of reinforced concrete elements with normal cracks includes three steps. In the first stage, the relative displacement of the shores of a normal crack is determined; the second step determines the transverse force in the longitudinal reinforcement; in the third stage, the strength and rigidity of the element with normal cracks are determined. It is shown that the main and the most difficult task is to determine the relative displacement of the borders of a normal crack. The complexity of the problem is that the torque from one block to another is transmitted through part of the cross-section, which in turn leads to the inapplicability of the formulas of the theory of elasticity, in which it is assumed that the tangent stresses are distributed throughout the end section. Since the torque is transmitted through the part without cracks, the calculation is carried out by conditional dissection of an I-beam element at the level of

the top of a normal crack into I-beam elements. Along the line of the intersection will act unknown driving tangent forces and driving bending moments. To determine these unknown functions, a system of two-second order differential equations is derived from the conditions of deformation compatibility. A method for solving a system by decomposing unknown functions into fast Fourier series is shown. After determining the unknown efforts, calculating the relative displacement of the shores of a normal crack is not difficult. A comparison of the results of calculations by the developed method with the results obtained by modeling in the program Lyra using volumetric finite elements. A good match with the results is shown. It has been shown that the technique being sufficiently precise, is much simpler and much less labor-intensive than the calculation with the use of bulk finite elements. Prospects of researches concerning the solution of the system of differential equations with variable coefficients are presented.

Key words: *torsional rigidity, torque force, I-beam element, compatibility conditions, differential equation, Fourier series, elastic theory, material resistance.*

Зуєвська Н.В.

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

Шайдецька Л.В.

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

Губашова В.Є.

ТОВ СП «Основа-Солсиф»

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУМЕНЕВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ В ЗАТОРФОВАНОМУ СУГЛИНКУ

Технологія формування елементів струменевої цементациї передбачає застосування процесів зі зміни характеристик ґрунтів, створення на їхній основі матеріалів із необхідними властивостями й формування із зазначених матеріалів підземних елементів заданих форми й розмірів. У роботі розглянуті й досліджені процеси, що відбуваються під час виконання струменево-цементацийних елементів і їхній вплив на напружено-деформований стан навколишнього ґрунтового масиву. Такі процеси досліджені на прикладі будівельного об'єкта, де ґрунто-цементні елементи виконувалися в складних інженерно-геологічних умовах – заторфованих ґрунтах в м. Львові, Україна.

У статті проаналізовано вплив високонапірного струменя цементного розчину на навколишнє ґрунтове середовище, зокрема представлені результати дослідження фізико-механічних характеристик ґрунтів, що розташовані в зоні впливу ґрунто-цементних колон, які були виконані за струменевою технологією. Виділені зони з покращеними параметрами ґрунтів. Проведено аналіз чисельних змін показників фізико-механічних характеристик і визначено зони максимального впливу. Запропоновано використання дослідних даних наявності зон покращеного ґрунту для моделювання та дослідження зміни напружено-деформованого стану масиву ґрунту з ґрунто-цементними елементами підсилення при включенні в розрахунок покращених зон ґрунту, що в майбутньому дозволить зменшити кількість ґрунто-цементних елементів під час підсилення ґрунтових масивів.

Також у статті описаний відомий в літературі «кореневий ефект», коли в навколишньому ґрунтовому середовищі знаходяться горизонтальні лінзи ґрунто-цементної пульпи, що в підсумку приводить до отримання вищих деформаційних характеристик основи.

Ключові слова: струменева цементация, ґрунто-цементні колони, джет-колони, напружено-деформований стан, зона впливу.

Постановка проблеми. У прогресивному ритмі забудови міської території гостро стоїть питання виконання нового будівництва в безпосередній близькості до наявних будівель, що часто знаходяться в аварійному стані. А у зв'язку з тим, що технологія струменевої цементациї характеризується відсутністю ударних і вібраційних навантажень, а малогабаритні бурові машини дозволяють виконувати роботи в обмеженому просторі, однією з найпоширеніших областей застосування струменевого ін'єкування є підсилення основ фундаментів наявних будівель при будівництві й реконструкції.

Основною ідеєю технології струменевої цементациї є здійснення процесів із метою зміни характеристик ґрунтів, створення на їхній основі матеріалів із необхідними властивостями й фор-

мування із зазначених матеріалів підземних елементів заданих форми й розмірів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світовій практиці широко відомі дослідження явища руйнування природної структури ґрунту струменевою цементациєю з проникненням у ґрунтовий масив, який потім перемішується та цементується розчином, що нагнітається, вченими G. Miki [1; 2], R. Tornaghi [3], M. Shibazaki [4; 5], J.L. Kauschinger [6; 7].

Дослідження технологічних параметрів і міцності отриманого ґрунто-цементного матеріалу були проведені І.І. Бройдом [8; 9; 10] й А.Г. Малініним [11; 12; 13; 14; 15].

Постановка завдання. Через відсутність на території України відповідної нормативної бази

інженери-геотехніки часто постають перед труднощами розуміння суті технології та особливостей її застосування під час посилення фундаментів. Внаслідок чого вивчення та дослідження процесів, що відбуваються під час виконання струменево-цементацийних елементів, та їхній вплив на напружено-деформований стан навколишнього ґрунтового масиву актуальний.

Поставленої мети можна досягти, дослідивши міцність матеріалу елементів, утворених у результаті виконання струменевої цементациї, а також експериментальним шляхом відстежити вплив формування елементів струменевої цементациї на фізико-механічні характеристики ґрунтового масиву.

Виклад основного матеріалу дослідження. На території України діапазон ґрунтів, в яких існує можливість виконувати струменево-цементацийні елементи різної форми, досить широкий.

У статті описується застосування технології струменевої цементациї в заторфованих суглинках м. Львова на прикладі об'єкту, виконаного спільним україно-французьким підприємством «Основа-Солсиф».

Проект підсилення, як і роботи із цього об'єкту, були виконані товариством з обмеженою відповідальністю сільськогосподарським підприємством «Основа-Солсиф» у 2006 році. Будівля, яка потребувала підсилення основи, належить Банку «Універсальний» і знаходиться в м. Львові по проспекту Шевченка, 27.



Рис. 1. Будівля Банку «Універсальний», м. Львів

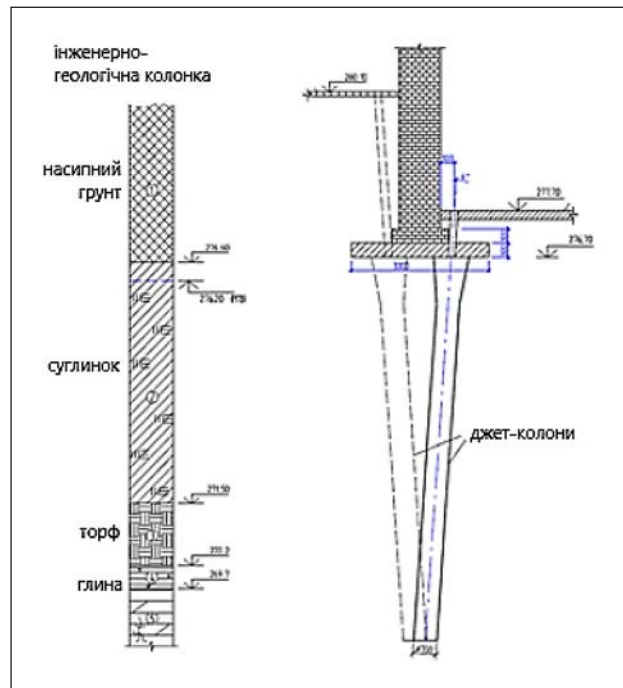


Рис. 2. Схема підсилення фундаментів

Будівля, яка потребує реконструкції, побудована з цегли й каменю в 1909 році, чотириповерхова. Фундаменти під зовнішні й внутрішні стіни – стрічкові, цегляні на бетонних подушках товщиною 300 мм, ширина плит стрічкових фундаментів під зовнішніми й внутрішніми стінами дорівнює 2,6 м. Зовнішні й внутрішні стіни – опорні з повнотілої цегли.

У зв'язку з погіршенням фізико-механічних характеристик ґрунтів внаслідок їхнього водонасичення, будівля до реконструкції зазнавала значних вертикальних деформацій, про що свідчать вертикальні й похилі тріщини на стелях, у перекриттях і в опорних стінах будівлі (30–80 мм). Підземні води залягають на глибині 3,6–3,9 м від поверхні землі, безпосередньо під подошвою фундаменту.

Проектне рішення представляло влаштування джет-колон в основі фундаментів таким чином, щоб при обраному куті нахилу буріння колон були максимально наближені до осі фундаментів для рівномірного розподілу навантаження від будівлі на джет-колони. Проектний діаметр – 700 мм. Довжина джет-колон (7–8 м) приймалася в залежності від геологічних умов майданчика, так, щоб нижня частина колон заходила в мергель. Принцип і схема підсилення фундаментів колонами, сформованими струменевим ін'єктуванням, вказані на рис. 2.

Для дослідження впливу високонапірного струменя цементного розчину на навколишній

грунтовий масив у процесі виконання грунтоцементної колони в між колонному просторі були відібрані зразки ґрунту, що оточує колони, й виконані лабораторні тести (рис. 3).

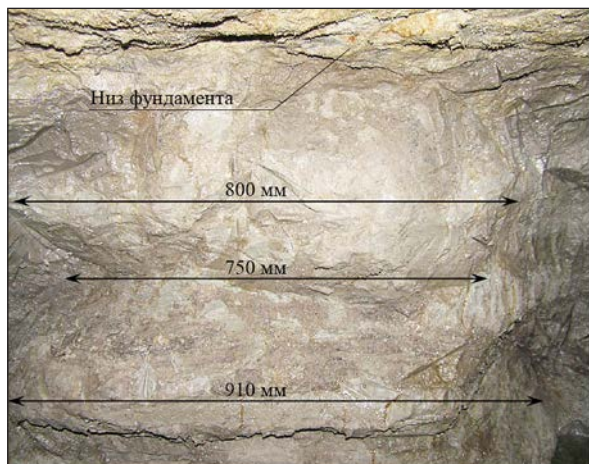


Рис. 3. Фактичні розміри виконаної грунтоцементної колони (800, 750 і 910 мм)

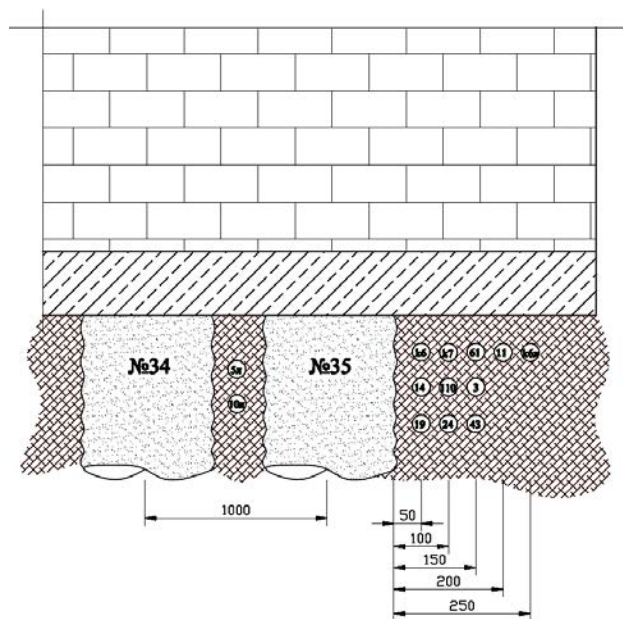


Рис. 4. Схема відбору ґрунтових зразків в навколишньому масиві грунтоцементної колони

Кількість зразків, відібраних у прилеглий до джет-колон ґрунтовій області, склало 13 (рис. 4), ще 3 зразки було відібрано в природному (непорушеному) заляганні ґрунту для порівняння. На момент відбору кілець із ґрунтовым матеріалом колони № 34 і 35 мали вік 67 і 69 діб відповідно.

З огляду на те, що колони струменевої цементатії виконувалися в ґрунті із заторфованими прошарками, в навколишньому ґрунтовому масиві спостерігалися прошарки пульпи товщиною

20–30 см. Такі прошарки послужили додатковим армуванням ґрунту, й для визначення впливу їхнього утворення на ґрунт були відібрані додаткові 4 ґрунтових кільця на відстані 5 і 10 см вище й нижче прошарку (рис. 6, 7.).

У процесі досліджень також спостерігався вихід пульпи в ґрунт (насипний ґрунт) на відстані 1,5 м від поверхні колони струменевого ін'єктування та прошарки пульпи над залізобетонною плитою фундаменту на відстані 200–300 мм від краю колони струменевого ін'єктування (№ 35).

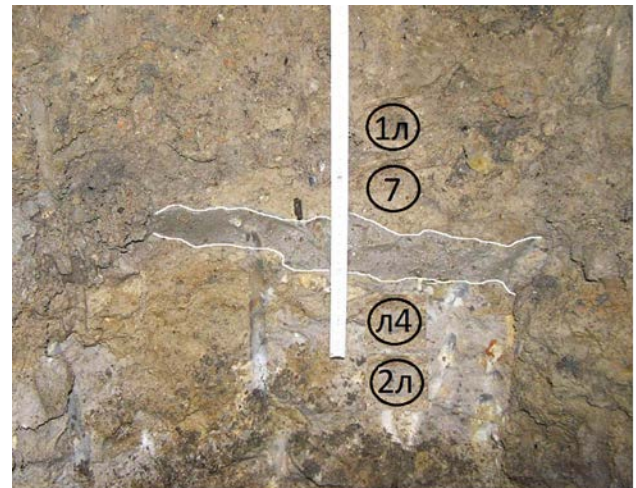


Рис. 6. Схема відбору ґрунтових зразків



Рис. 7. Прошарок пульпи над залізобетонною плитою фундаменту

Як визначальний фактор для порівняння зміни в ґрунтовому масиві була обрана щільність, для кількох відібраних зразків були також визначені зчеплення та кут внутрішнього тертя. Результати лабораторних випробувань занесені в таблицю 1.

За результатами інженерно-геологічних вишукувань до початку робіт із підсилення фундаментів було визначено, що ґрунт, який залягає під підшоною фундаменту – суглинок м'яко пластичний із домішками органічних речовин, із лінзами й прошарками слабо заторфованих глин, темно-сірий, коричнево-сірий. Результати лабораторних випробувань зразків непорушеної структури внесені до таблиці 2.

Результати зміни щільності ґрунтових зразків у залежності від відстані від поверхні колон струменевого ін'єктування показані на рис. 8.

На графіку спостерігається наступна залежність щільності від відстані: зона 0–150 мм від поверхні – зона розуцільнення ґрунту, яка відбувається в процесі, коли ґрунто-цементний матеріал знаходиться в рідкому стані; 150 мм – максимальна межа впливу струменя розчину

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості відібраних зразків ґрунту

Розташування зразків зверху-донизу	Номер проби*	Відстань від поверхні джет-колони, мм	Щільність, т/м ³	Вологість	Питоме зчеплення, МПа	Кут внутрішнього тертя, град
			γ	W	c	ϕ
1-й ряд	к6	50	1,81	0,333		
	7	100	1,87	0,310	0,038	8
	61	150	1,96	0,352	0,028	16
	11	200	1,89	0,420		
	кбл	250	1,83	0,392		
2-й ряд	14	50	1,71	0,399		
	110	100	1,73	0,860	0,020	19
	3	150	1,80	0,398		
3-й ряд	19	50	1,73	0,424		
	24	100	1,74	0,350	0,026	10
	43	150	1,75	0,369		
Між колонами № 34 і 35	5л	45	1,84	0,357		
	10л	45	1,82	0,358		
В області розташування пульпи	7	вгору на 50	1,58	0,246		
	1л	вгору на 100	1,56	0,244		
	л4	вниз на 50	1,58	0,221		
	2л	вниз на 100	1,49	0,276		

* розташування зразків вказано на рис. 4, 5

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики зразків ґрунту непорушеної структури

Розташування зразків зверху-вниз	Номер проби*	Відстань від поверхні джет-колони, мм	Щільність, т/м ³	Вологість	Питоме зчеплення, МПа	Кут внутрішнього тертя, град
			γ	W	c	ϕ
Зразок непорушеної структури	1	-	1,66	0,500	0,019	6
	2	-	1,68	0,481	-	-
	3	-	1,72	0,505	-	-

* розташування зразків вказано на рис. 4, 5

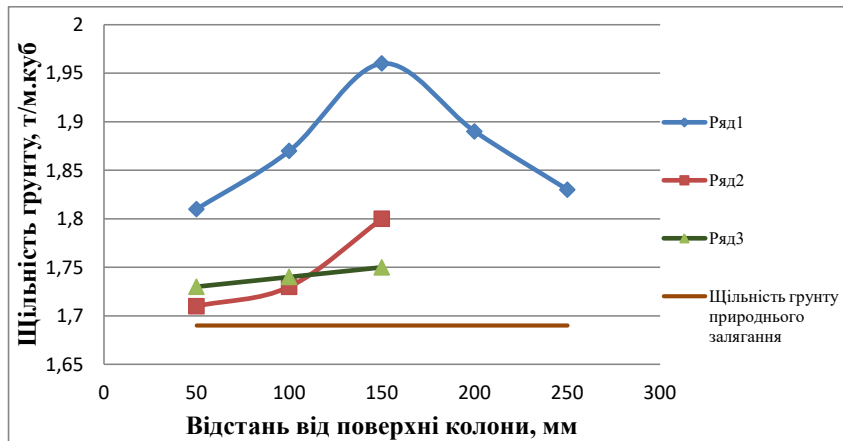


Рис. 8. Залежність зміни щільності ґрунтів від відстані від поверхні ґрунтоцементних колон

під час формування колони; 150–250 мм – зона зниження впливу високонапірного струменя на щільність ґрунту (характерна для 1-го ряду).

Сам процес формування виділених зон відбувається таким чином: під час проходження високонапірного струменя цементного розчину в ґрунті утворюється циліндричний елемент, заповнений ґрунто-цементною сумішшю, велика частина енергії струменя витрачається на руйнування та перемішування ґрунту. На межі утвореного елемента здатність струменя падає, але він ще здійснює деякий тиск на ґрунтовий масив, відбувається ущільнення навколишнього ґрунту на певну максимальну відстань впливу. Після формування струменево-цементацийного елемента й знаходження його в рідкому стані формується зона розуцільненого ґрунту на деякій відстані від поверхні колони до максимальної відстані впливу струменя на ґрунтовий масив. Слідом за межею максимального впливу відбувається зниження щільності до його початкових значень.

Слід зазначити, що таке явище спостерігалось лише на досліджуваній ділянці в заторфованому суглинку.

Під час порівняння значень ґрунту природнього залягання та ґрунту із зон впливу високонапірного струменя розчину можна зробити наступні висновки:

- у зоні розуцільнення ґрунту зниження щільності суглинку в порівнянні з її максимальними значеннями відбувається від 2 до 8%, відповідно, з 1,96 т/м³ до 1,81 т/м³ і з 1,75 т/м³ до 1,73 т/м³ для 1-го і 3-го рядів відібраних ґрунтових зразків;

- у порівнянні із середнім значенням щільності суглинку з домішками органічних речовин,

відібраного при природньому його заляганні – 1,69 т/м³, – максимальне збільшення щільності ґрунту після впливу на нього високонапірного струменя розчину склало 16%, мінімальне – 4% (відповідно 1,96 і 1,75 т/м³);

- щільність ґрунту, що знаходиться між двома виконаними колонами, збільшилася на 9% у порівнянні із середнім значенням щільності при природньому заляганні (з 1,69 т/м³ до 1,84 т/м³);

- пульпа, витісняючи слабкі заторфовані прошарки ґрунту, ущільнила навколишній масив насипного шару на відстані 50 мм на 6% у порівнянні з ґрунтом, розташованим у розглянутій площині на відстані 100 мм (з 1,49 т/м³ до 1,58 т/м³).

Висновки. Особливість інженерно-геологічної будови майданчика, наявність у ґрунтовому масиві заторфованих прошарків дала можливість дослідити так званий «кореневий ефект», коли пульпа (відпрацьований цементний розчин зі зруйнованим ґрунтом) замість виходу на поверхню ґрунту заміщує слабкі прошарки навколишнього ґрунтового середовища. Причина такого явища полягає в тому, що прошарки торфу в суглинку відрізняються незначною міцністю та великою стискальністю, і залишкової енергії струменя цементного розчину, своєю чергою, досить, щоб витіснити слабкі прошарки ґрунту й заповнити їх ґрунто-цементною сумішшю.

Такий ефект, своєю чергою, вказує на додаткове армування ґрунтової основи горизонтальними лінзами ґрунто-цементної пульпи, що в підсумку приводить до отримання вищих деформаційних характеристик основи.

Результати дослідів, що представлені в роботі, показують можливість ефективного застосу-

вання технології струменевої цементації для підсилення заторфованих ґрунтів.

Дані про зміну фізико-механічних характеристик ґрунтів навколо ґрунто-цементних елементів дають можливість дослідити напру-

жено-деформований стан масиву й використувати характеристики покращених зон в інженерних розрахунках, що дозволить зменшити витрати під час проектування підсилення основ.

Список літератури:

1. Miki G. Soil improvement by jet grouting. *Geotechnical Seminar on Soil Improvement Method*. Proc. 3rd Int. Singapore, 1985. P. 45–52.
2. Miki G., Nakanishi W. Technical progress of jet grouting method and its newest type. *Proceeding of the international conference on in situ soil and rock reinforcement*. Paris, 1984. P. 195–200.
3. Tornaghi R., Pettinaroli A. Design control criteria of jet grouting treatment. *Symposium International Sur l'Amélioration des Sols en Place*. Paris, 2004. P. 295–319.
4. Shibazaki M. State of practice of jet grouting. *Geotechnical Special Publication No. 120 : Grouting and Ground Treatment*. 2003. Vol. 1. P. 198–217.
5. Shibazaki M., Yokoo M., Yoshida H. Development oversized Jet Grouting. *Grouting and ground treatment : Proceedings of the Third International Conference*. February, 2003. Vol. 1. No. 120. P. 294–302.
6. Kauschinger J.L., Perry E.B., Hankour R. Jet grouting: state-of-the-practice. *Groutingsoil improvement and geosynthetics*. ASCE Geotech. Spec. Publ. Vol. 1. No. 30. P. 169–181.
7. Kauschinger J.L., Hankour R., Perry E.B. Methods to estimate composition of Jet Grout bodies. *Grouting soil improvement and geosynthetics*. Vol. 1. No. 30. P. 194–205.
8. Бройд И.И., Мельник Г.В. Ликвидация суфозионных полостей и областей разуплотненных грунтов с использованием струйной геотехнологии. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1997. № 3. С. 12–15.
9. Бройд И.И. Струйная геотехнология : учебное пособие. Москва : Издательство ассоциации Строительных вузов, 2004. 448 с.
10. Бройд И.И. Нетрадиционные гидравлические прикладные задачи и технологии. Москва : Издательство ассоциации Строительных вузов, 2008. 256 с.
11. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов : монография. Пермь : Пресстайм, 2007. 168 с.
12. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов в городском строительстве. *Геотехническая компания GeoSet* : веб-сайт. URL: https://jet-grouting.info/wp-content/uploads/2019/02/JET-GROUTING_book_Malinin_AG.pdf.
13. Малинин А.Г. Ограждение котлованов с помощью технологии струйной цементации грунта. *DocPlayer* : веб-сайт. URL: <https://docplayer.ru/34255710-Ograzhdenie-kotlovanov-s-pomoshchyu-tehnologii-struynoy-cementacii-grunta.html>.
14. Малинин А.Г., Гладков И.Л. Экспериментальные исследования диаметра ґрунтоцементных колон в различных грунтах. *Геотехническая компания GeoSet* : веб-сайт. URL: <https://jet-grouting.info/wp-content/uploads/2019/02/eksperimentalnyye-issledovaniya-diametra-gruntocementnyh-kolonn-v-razlichnyh-gruntah.pdf>.
15. Малинин А.Г., Гладков И.Л., Жемчугов А.А. Исследование прочностных и деформационных характеристик ґрунтоцемента в зависимости от технологических параметров струйной цементации. *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. № 6. С. 53–55.

Zuievskia N.V., Shaidetska L.V., Gubashova V.Ye. PECULIARITIES OF FORMATION OF THE JET-GROUTED ELEMENTS IN PEAT CLAY LOAM

The technology of forming elements of jet grouting involves the application of processes to change the characteristics of soils, the creation of materials based on them with the necessary properties and the formation of the specified materials underground elements of the given shape and size. The processes that occur during the execution of jet-grouted elements and their influence on the stress-strain state of the surrounding soil mass are considered and investigated. These processes are considered as an example of a construction site where soil-cement elements were executed in difficult engineering-geological conditions – peat soils in Lviv, Ukraine.

The influence of high-pressure jet of cement solution on the environment of the soil is analyzed in the article, namely, the results of the study of the physical and mechanical characteristics of soils located in the area of influence of soil-cement columns, which were performed by jet grouting technology, are presented. Highlighted areas with improved soil parameters. The analysis of the numerical changes in the indicators of physical and mechanical characteristics is carried out and the zones of maximum influence are determined. It is suggested to use the experimental data of the presence of improved soil zones for modeling and investigation of the change of the stress-strain state of the soil massif with soil-cement elements of reinforcement, when included in the calculation of improved soil zones, which in the future will allow to reduce the number of soil-cement elements.

The article also describes the well-known “root effect” in the literature when horizontal soil-cement spoil lenses are found in the soil environment, which ultimately results in higher deformation characteristics of the soil basement.

Key words: jet grouting, soil-cement columns, jet columns, stress-strain state, impact zone.

Кравченко С.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Столевич И.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Костюк А.И.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Столевич О.И.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И БЕТОНОВ НА КАРБОНАТНОМ ПЕСКЕ

Досліджувалися властивості керамзитобетону на карбонатному піску, бетонні суміші та бетон. Наведена методика підбору оптимальних складів бетону для монолітних несучих і огороджувальних конструкцій житлових і громадських будівель і споруд.

Оптимізація структури легкого бетону складна, що пояснюється впливом багатьох факторів. Це відоме положення набуває особливого значення для сучасних матеріалів, від яких вимагається структура забезпечення комплексу заданих властивостей.

Враховуючи рекомендований в разі застосування легких бетонів принцип «від матеріалу до конструкції через технологію й економіку», для вдосконалення керамзитобетонних і керамзитозалізобетонних конструкцій при їх проектуванні доцільно використовувати комплексний підхід. Такий підхід включає в себе етап вивчення властивостей вихідних матеріалів; міцності та деформативних властивостей керамзитобетону при короточасній і тривалій діях навантаження; спільну роботу арматури та бетону; технологію виготовлення конструкцій на базі оптимальних складів; вивчення роботи конструктивних елементів та конструкцій і видачі рекомендацій щодо їх розрахунку.

Однак відмінність у властивостях заповнювачів, їх мінливість, вплив рецептурних факторів і технології виготовлення конструктивних елементів не дозволяє уніфікувати деякі розрахункові параметри легких бетонів. Це призводить до значних втрат ефективності їх використання, ускладнює масове впровадження легких бетонів у практику будівництва.

Ключові слова: бетон, властивості, карбонатний пісок, керамзитобетон, планований експеримент.

Постановка проблеми. В настоящее время одним из основных направлений развития строительства является снижение трудоемкости и материалоемкости при изготовлении строительных материалов и конструкций, уменьшение их энергоемкости и использование местных материалов.

Легкий бетон на пористых заполнителях представляет собой универсальный строительный материал, позволяющий при его рациональном использовании решать многие актуальные задачи современного строительства и экологические, ресурсосберегающие и экономические проблемы за счет технологических и техногенных отходов при применении и изготовлении местных пористых заполнителей. Дополнительный экономический эффект можно получить при использовании

для строительства зданий и сооружений легких бетонов на местных заполнителях юга Украины (керамзит, кералит, карбонатный песок) и конструкций на их основе.

Дефицит мелких заполнителей для бетонов многих регионов страны может быть восполнен путем широкого применения для их производства отходов камнепиления карбонатных пород (пористых известняков и известняков-ракушечников). Проведенные ранее исследования показали техническую возможность и экономическую целесообразность использования известнякового (карбонатного) песка в бетонах на искусственных пористых заполнителях и в керамзитобетоне, составляющем около 70% общего объема легких бетонов.

Анализ последних исследований и публикаций. За последнее время накопилось много исследований прочности и деформаций легких бетонов и конструкций на их основе. Такие материалы приведены в работах М.А. Ахматова, Э.М. Бабича, В.Н. Вырвого, Б.С. Комисаренко, Р.Л. Маиляна, Н.Я. Спивака, В.Г. Суханова, А.Б. Пирадова.

На современном уровне значительный вклад в развитие бетонов с использованием шлака и золы внесли Ш.Т. Бабаев, Е.В. Гончикова, С.А. Высоцкий, Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, А.Г. Зоткин, Н.Р. Гузиев, А.В. Каляскин, но в основном ресурсосберегающие вопросы за счёт применения промышленных отходов при изготовлении пористых и вяжущих заполнителей рассматриваются для тяжелых бетонов.

Постановка задачи. Всесторонний учет физико-технических свойств легкого бетона на пористых заполнителях дает возможность обоснованно назначить рациональные области его применения в изделиях и конструкциях. Для этого важно рассмотреть рекомендуемый в случае применения легких бетонов принцип «от материала к конструкции» и на основании предложенных методик доказать возможность применения керамзитобетона на карбонатном песке в монолитных несущих и ограждающих конструкциях и в железобетонных элементах и конструкциях.

Изложение основного материала исследования. Исследование керамзитобетона на карбонатном песке и конструкций на его основе проводились в лабораторных и производственных условиях.

В исследованиях использовали:

- 1) портландцемент марки 400;
- 2) керамзитовый гравий фракций 5-10 и 10-20 мм в соотношении по объему $V_{5-10}/V_{10-20} = 1,5$;
- 3) карбонатный песок, полученный из отходов камнепиления известняка-ракушечника.

В качестве мелкого заполнителя применяли карбонатный песок, полученный путем дробления и отсева отходов камнепиления и кусков низкопрочного известняка – ракушечника. Применение такого песка в качестве мелкого заполнителя для различных бетонов, в том числе и для легкого бетона, регламентировано ДСТУ Б В.2.7-27-95 [1] и подтверждено многочисленными исследованиями. Физико-механические характеристики керамзитового гравия приведены в Табл. 1.

Химический состав известняков-ракушечников указанного месторождения и усредненные данные по месторождениям Украины приведены в Табл. 2.

По химическому составу используемые в исследовании известняки-ракушечники Орловского месторождения можно отнести к чистым

Таблица 1

Физико-механические характеристики керамзитового гравия

Размер фракции, мм	Прочность (при сдавливании в цилиндре) $R_{ср}$, МПа	Насыпная плотность, г	Коэффициент конструктивного качества, ККК	Удельная плотность, г	Плотность в цементном тесте, г	Водопоглощение, w, %	Объем межзерновых пустот, $V_{к}$, %	Марки гравия по насыпной плотности (ДСТУ Б.В.2.7-17-95)
5-10	2,8-4,67	504-583	559-801	2,31-2,48	955-1507	16,2-22,7	30-38,2	550-600
10-20	2,4-2,91	462-541	519-538	2,31-2,48	890-1493	20,8-24,9	38-41,1	500-550
смесь	2,5-3,96	474-569	429-696	2,31-2,48	946-1502	18,2-24,1	33-40,1	500-600

Таблица 2

Химический состав известняков-ракушечников, % по массе

Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Потери при прокаливании
Орловское	3,36	2,68	0,82	51,0	1,34	0,07	40,7
Главанское	4,2	2,82	0,9	50,2	1,0	0,06	41,8
Усредненное по Украине	1,7	1,21	1,21	53,3	0,92	0,67	42,4

известнякам. Полученные из них карбонатные пески не содержат вредных примесей: они чисты и годны к применению.

Сопоставление химических составов известняков-ракушечников месторождений Украины показывает их незначительное отличие. Учет этого обстоятельства в сочетании с имеющимися данными о мощности Орловского месторождения, а также реальными возможностями промышленной поставки карбонатного песка из этого месторождения обосновывает его использование при производстве керамзитобетона на его основе.

Как показывают исследования [2], карбонатный заполнитель не является инертным материалом, а вступает в активное физико-химическое взаимодействие с клинкерным цементом. Это положительное свойство карбонатных заполнителей дополняется их способностью создавать эффект самовакуумирования, что приводит к увеличению прочности в бетоне как самого песка, так и контактного слоя с цементным камнем. Кроме того, карбонатная пыль фракции (<0,14 мм) играет роль микрозаполнителя цемента, поскольку имеет с ним не только химическое сходство, но и близкие по размеру частицы. Учет этого обстоятельства позволяет снизить расход цемента в равнопрочных бетонах, способствует улучшению удобоукладываемости бетонной смеси и повышению водонепроницаемости бетона.

Основные физико-механические характеристики карбонатного песка определены по ДСТУ Б В.2.7-232:2010 [3]. Перед испытанием отсеивалась фракция более 5 мм, содержание которой составляло в среднем 4% массы. Усредненные результаты испытаний партий карбонатного песка, приведенные в Табл. 3, показали, что такой

песок удовлетворяет требования стандартов [1, 3] и может быть использован для получения керамзитобетонной прочностью до 30 МПа.

Экспериментальные исследования основных свойств керамзитобетонных на карбонатном песке смесей и бетона проводили с использованием методики планированного эксперимента. Экспериментальные исследования состояли из двух этапов. На первом этапе исследовали влияние рецептурных (расхода цемента, агрегатно-структурного фактора) и технологических (удобоукладываемость, время перемешивания смеси в смесителе и время ее виброуплотнения) факторов на основные физико-механические свойства керамзитобетонной смеси (пористость, расслаиваемость, плотность) и бетона (прочность, плотность, однородность по прочности и плотности).

В качестве контролируемых параметров были выбраны:

1. Объем межзерновых пустот $V_{п}$, показатель расслаиваемости P_p и плотность керамзитобетонной смеси ρ_0 .
2. Расход воды для достижения заданной удобоукладываемости смеси.
3. Кубиковая прочность $f_{(28)}$ и плотность керамзитобетона в высушенном до постоянной массы состоянии ρ .
4. Дисперсия прочности S^2_R и плотности S^2_ρ керамзитобетона.

Помимо этого, на первом этапе проводили исследования влияния рецептурных факторов (расхода цемента и агрегатно-структурного фактора) на изменение подвижности смеси во времени. В качестве контролируемого параметра принята подвижность смеси через заданные промежутки времени после ее изготовления OK_t .

Таблица 3

Основные физико-механические характеристики карбонатного песка Орловского месторождения

Гранулометрический состав						Прочность исходной породы $R_{исх.п.}$, МПа	Прочность песка при сдавливании в цилиндре $R_{цп}$, МПа	Насыпная плотность $\rho_{нас}$, кг/м ³	Плотность в цементном тесте $\rho_{ц.т.}$, кг/м ³	Пустотность P , %	Водопоглощение W , %	Модуль крупности M_k	Удельная плотность $\rho_{уд.}$, г/см ³	Содерж. отдельно глинистых частиц, %
Частные остатки на контрольных ситах %														
2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	менее 0,14									
17,4	2,4	17,0	15,7	17,4	19,8	0,9	0,6	1160	2390	42	5,4	2,38	2,99	0,48

На втором этапе исследовали прочностные и деформативные характеристики керамзитобетона на карбонатном песке при нагрузках различной длительности и интенсивности, сцепление арматуры с бетоном, а также работу сжатых бетонных и изгибаемых железобетонных конструкций, в том числе и предварительно напряженных. В экспериментальных исследованиях, проводимых по методике планированного эксперимента, в качестве основных контролируемых параметров были выбраны:

1. Кубиковая прочность $f_{(28)}$, призмная прочность $f_{сид}$ и модуль упругости $E_c(t)$ в возрасте 7, 28, 115, 300, 500 суток.

2. Предельные деформации сжатия $\epsilon_{сш}$ керамзитобетона при загрузении кратковременной нагрузкой.

3. Параметрические уровни микротрещинообразования $R^o_{сш}$ и $R^v_{сш}$ при загрузении кратковременной нагрузкой.

4. Относительные деформации усадки $\epsilon_{сш,и}$ (t, t_w). Начальный отсчет времени t_w соответствовал окончанию времени схватывания бетона.

5. Относительные деформации ползучести $\epsilon_{сш,и}$ (σ, t, t_0) керамзитобетона, загруженного в возрастах $t_0 = 7, 28, 115$ суток, нагрузкой, равной $0,2f_{сд}S; 0,6f_{сд}S; 0,8f_{сд}S$.

Подбор оптимального состава конструкционных легких бетонов производился расчетно-экспериментальным методом. В отличие от обычного бетона, для легкого бетона, кроме требований по прочности бетона и удобоукладываемости смеси, необходимо обеспечить требование по заданной плотности бетона [4]. В результате реализации первого этапа экспериментальных исследований (испытание и анализ результатов испытаний) по разработанной методике получены оптимальные по заданным критериям технологические параметры для каждого исследуемого состава керамзитобетона на карбонатном песке, обусловленного рецептурными факторами и уровнем их варьирования.

Результаты проведенных авторами предварительных опытов позволили выбрать следующие факторы и назначить уровни их варьирования:

1. Расход цемента $\Pi, \text{кг/м}^3 - X_1$

Расход цемента на основном (О) уровне принят $\Pi = 375 \text{кг/м}^3$. Интервал варьирования $\pm 175 \text{кг/м}^3$.

2. Агрегатно-структурный фактор $r - X_2$

Значение агрегатно-структурного фактора r на основном (О) уровне было выбрано равным 0,65. Интервал варьирования $\pm 0,35$.

3. Удобоукладываемость смеси $- X_3$.

Значение показателя удобоукладываемости смеси на основном (О) уровне было выбрано равным $Ж = 35$ с. Интервал варьирования ± 31 с.

4. Время перемешивания керамзитобетонной смеси t_n , мин. $- X_4$.

Время перемешивания на основном (О) уровне принято равным $t_n = 5$ мин. Интервал варьирования ± 3 мин.

5. Время виброуплотнения керамзитобетонной смеси t_v , с $- X_5$.

Время вибрирования на основном (О) уровне принято равным $t_v = 105$ с. Интервал варьирования $** 75$ с.

Оптимальный состав конструкционного керамзитобетона должен обеспечить заданную прочность, минимально возможную плотность и минимально возможную стоимость. Очевидно, что два последних требования одновременно не могут быть обеспечены, поскольку снижение плотности керамзитобетона приводит к увеличению его стоимости и наоборот [5].

Для оптимизации керамзитобетона с учетом экономического критерия на базе экспериментальных данных по фактическим составам были рассчитаны их стоимости. Обработка результатов этих расчетов позволила получить с 95% надежностью квадратичное уравнение регрессии, связывающее стоимость 1м^3 керамзитобетона с расходами его компонентов. Полученное уравнение с учетом только статистически значимых коэффициентов имеет такой вид:

$$C = 128,6 + 13,2X_1 - 37,6X_2 + 5,2X_1X_2 - 3,1X_2^2, \quad (1)$$

Как видно из этого уравнения, агрегатно-структурный фактор $r (X_2)$ оказывает несколько большее влияние на стоимость, чем расход цемента (X_1).

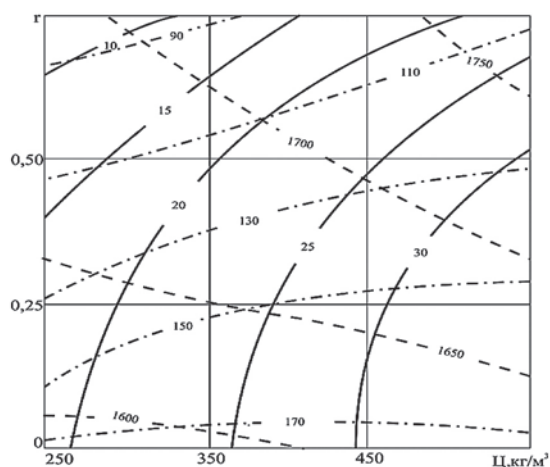
При наличии априорной информации о характере и мощности влияния факторов состава на основные эксплуатационные характеристики бетона наиболее целесообразно проводить подбор оптимальных составов по изолиниям, построенным для каждой из этих характеристик. Изолинии основных характеристик керамзитобетона $f_{(28)}, \rho, C$ строили в осях « Π - r », используя соответствующие уравнения регрессии:

$$f_{(28)} = 26,9 + 14,3X_1 - 7,2X_2 + 3,7X_3 - 2,2X_1^2 - 3,3X_3^2 - 1,3X_1X_2 + 1,7X_4X_5, \quad (2)$$

$$\rho = 1740 + 57X_1 + 156X_2 + 11X_4 - 26X_2^2 - 23X_1X_2 + 8X_4X_5, \quad (3)$$

При этом значения факторов X_3 (удобоукладываемость смеси) принимали на нижнем уровне, соответствующем $OK = 6$ см, а значения факторов

$X_4(t_n)$ и $X_5(t_b)$ фиксировали на нулевых уровнях. Комплексная номограмма (Рис. 1) позволяет для заданной подвижности смеси ($OK = 6$ см) получать оптимальные составы керамзитобетона (за исключением расхода воды).



— изолинии прочности $f(28)$, МПа;
 - - - изолинии плотности ρ , кг/м³;
 - · - · изолинии стоимости C , грн/м³
Рис. 1. Номограмма для подбора оптимальных составов керамзитобетона на карбонатном песке

Методика подбора оптимальных составов включает такие этапы:

1. Вычисление значений прочности керамзитобетона $f_{(28)}$, соответствующих заданному классу бетона по прочности на сжатие с учетом конкретных условий производства (C_{VR}), по формуле:

$$f_{(28)} = B / (1 - 1,64C_{VR}), \quad (4)$$

2. По комплексной номограмме устанавливается группа составов (расходы цемента Ц и значения r), соответствующих прочности $f_{(28)}$.

3. По комплексной номограмме для каждого из составов, соответствующих прочности $f_{(28)}$, определяется плотность керамзитобетона ρ .

4. Для каждого из составов по полученным расходам цемента Ц и значениям r вычисляется предварительный расход воды по уравнению:

$$B = 259 + 5X_1 + 14X_2 - 19X_3 + 14X_2^2 + 9X_1X_2 + 9X_2X_3, \quad (5)$$

5. Для каждого состава по принятому расходу цемента Ц и значению r определяется стоимость бетона C .

6. Если плотность бетона не задана, то назначение оптимального состава производится выбором из установленной группы того состава, который обеспечивает минимальную стоимость бетона. В противном случае из установленной группы составов выбирается состав, соответствующий заданным прочности и плотности. Назначенный состав принимается в качестве исходного оптимального состава.

На основании полученных зависимостей и графиков, а также исходя из требований, предъявляемых к легким бетонам, производили назначение оптимальных составов керамзитобетона на карбонатном песке. Оптимальный состав конструкционного керамзитобетона должен обеспечить заданную прочность, минимально возможную плотность и минимально возможную стоимость. Оптимальные составы керамзитобетона на карбонатном песке прочностью 10-30 МПа приведены в Табл. 4.

Таблица 4

Оптимальные составы керамзитобетона на карбонатном песке

Проектная прочность, МПа	Расход материалов на 1м ³ бетона					Плотность бетона ρ , кг/м ³
	r	Цемент Ц, кг/л	Песок М, кг/л	Керамзит К, кг/л	Вода В, л	
10	1,85	$\frac{250}{80,6}$	$\frac{1194}{506}$	$\frac{211}{468}$	202	1685
15	0,75	$\frac{280}{90,3}$	$\frac{1025}{434}$	$\frac{342}{760}$	178	1675
20	0,75	$\frac{360}{116,1}$	$\frac{975}{413}$	$\frac{325}{722}$	192	1690
25	0,75	$\frac{455}{146,7}$	$\frac{919}{389}$	$\frac{306}{680}$	203	1710
30	0,75	$\frac{540}{174,2}$	$\frac{870}{368}$	$\frac{290}{644}$	210	1730

Из керамзитобетона на карбонатном песке были изготовлены и испытаны опытные партии стеновых камней, стеновых блоков, плит перекрытия и покрытий [6]. Результаты испытаний были такими:

1. Средняя прочность камней СКУ-1 составила 3,01 МПа, СКУ-2 – 3,08 МПа, контрольных кубов – 3,12 МПа, призм – 3,0 МПа, морозостойкость – F25.

2. Среднее значение прочности блоков – 8,3 МПа, кубов и призм – 10,6 и 9,7 МПа, модуля упругости – 7650 МПа, коэффициента Пуассона – 0,23, появления трещин при нагрузке – 0,92 $N_{разр.}$, плотность в высушенном до постоянного веса состоянии – 1140 кг/м³.

3. Плиты перекрытий и покрытий – предварительно-напряженные, по серии 1.141-1, вып. 63, марки П63.15-8Ат-Vл, сплошного сечения, из керамзитобетона, класса по прочности на сжатие – С12/15, плотностью D1600. Средние результаты испытаний: прочность кубиковая – $f = 16,3$ МПа, призмная – $f_{cd} = 14,2$ МПа, $E_c = 13630$ МПа, $\rho = 1570$ кг/м³. Контрольная разрушающая нагрузка – $q_p^k = 1310$ кг/м², опытная разрушающая нагрузка на девятом этаже составила $q_{разр.}^{om} = 1616$ кг/м², контрольный прогиб при контрольной нагрузке $q_f^k = 593$ кг/м² составил $f_k = 14,8$ мм. Фактический прогиб при контрольной нагрузке q_f^k составил $f_k^{om} = 7,95$ мм. Первые трещины появились при нагрузке $q^{om} = 1422$ кг/м². Результаты исследова-

ний доказали возможность применения керамзитобетона на карбонатном песке и в монолитных несущих и ограждающих конструкциях.

Выводы. 1. Экономическая эффективность применения керамзитобетона на карбонатном песке очевидна, поскольку сырьем для бетона служат бросовые отходы камнепиления известняков-ракушечников.

2. Легкие бетоны на местных пористых заполнителях юга Украины как крупных, так и мелких, могут быть рекомендованы для изготовления бетонных и железобетонных конструкций с прочностью бетона 5-30 МПа.

3. Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность легких бетонов на пористых заполнителях, значительную экономию портландцемента, целесообразность использования перечисленных ранее легких бетонов для сборных и монолитных конструкций жилых и общественных зданий.

4. Для оптимизации составов керамзитобетона на карбонатном песке рекомендуется использовать разработанную методику комплексного подхода, которая позволяет получить экономические по стоимости составы.

5. Исследования доказали возможность применения керамзитобетона на карбонатном песке в монолитных несущих и ограждающих конструкциях.

Список литературы:

1. ДСТУ Б В.2.7-27-95. Будівельні матеріали. Пісок із вапняків-черепашників для будівельних робіт. Технічні умови. Київ, 1996. 8 с.
2. Костюк А.И., Столевич А.С., Макаров С.В. Влияние структуры на прочностные и деформативные свойства керамзитобетона на карбонатном песке. Строительные конструкции : Респ. межведомств. науч.-техн. сб. Киев : Будівельник. 1991. С. 104–107.
3. ДСТУ Б В.2.7-232:2010. Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань. Київ, 2010. 43 с.
4. Шорт А. Легкие бетоны. Проектирование и технология / под редакцией Ярмановского В.Н. Москва : Стройиздат, 1981. 240 с.
5. Вознесенский В.А. Современные методы композиционных материалов. Киев : Будівельник, 1983. 144 с.
6. Столевич А.С., Макаров С.В., Столевич И.А., Мадии К.М., Кравченко С.А. Конструкционные легкие бетоны. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса : Зовнішрекламсервіс. 2005. Вип. 17. С. 246–255.

Kravchenko S.A., Stolevich I.A., Kostyuk A.I., Stolevich O.I. OPTIMIZATION OF PROPERTIES OF EXPANDED CLAYDITE-CONCRETE MIXES AND CONCRETES ON CARBONATE SAND

Properties of expanded claydite-concrete on carbonate sand, concrete mixes and concrete were studied. The method of selecting optimal concrete compositions for monolithic load-bearing and enclosing structures of residential and public buildings and structures is given. Optimizing the structure of light concrete is difficult, due to the influence of many factors. This well-known position is particularly important for modern materials, which require a structure that provides a set of specified properties.

Taking into account the principle "from material to structure through technology and economy" recommended in the case of light concrete, it is advisable to use a comprehensive approach to improve the claydite-concrete

and claydite-reinforced concrete structures in their design. This approach includes the following stages: studying the properties of raw materials; strength and deformative properties of expanded clay concrete under short-term and long-term load action; joint work of reinforcement and concrete; technology for manufacturing structures based on optimal compositions; studying the work of structural elements and structures and issuing recommendations for their calculation.

However, the difference in the properties of aggregates, their variability, the influence of prescription factors and manufacturing technology of structural elements does not allow to unify some of the design parameters of light concretes. This leads to significant losses in the efficiency of their use, and makes it difficult to introduce lightweight concrete into construction practice on a large scale.

Key words: *concrete, properties, carbonate sand, claydite-concrete, planned experiment.*

УДК 624. 014
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/35>

Чичулін В.П.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Чичуліна К.В.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РАМ ЗА НАЙБІЛЬШ ЙМОВІРНИМ МЕХАНІЗМОМ РУЙНУВАННЯ

У статті приведені основні етапи оцінки надійності сталевих рам за найбільш ймовірним механізмом руйнування. Визначено ряд припущень під час визначення надійності сталевих статично невизначених рам за методом граничної рівноваги. Оцінку надійності сталевих статично невизначених рам, які працюють у пластичній стадії, запропоновано здійснювати з достатньою достовірністю, досліджуючи один найбільш ймовірний механізм руйнування конструкції. Запропонована методика розрахунку дозволяє отримати саме цей ймовірний механізм руйнування конструкції. Для визначення зусиль у кінцевій фазі руйнування застосовується метод граничної рівноваги. В обчисленнях ймовірнісних характеристик рам використовується істинний механізм руйнування. Доведено, що коли істинний механізм близький до елементарного (балкового або поверхового), ймовірність відмови його вище, ніж для істинних механізмів з більш складною структурою. Розрахунок сталевих статично невизначених рам методом граничної рівноваги в початковій стадії виконується в детерміністичній постановці. В процесі обчислень отримано значення граничних моментів у перетинах рами для граничної фази руйнування для істинного механізму. Зазначено, що істинним механізмом називається такий механізм, для якого робота зовнішніх сил з його створення буде найменшою. Для пружно-пластичного розрахунку плоских рам написана програма мовою FORTRAN, у якій виконуються два режими обчислень. Перший, під час якого для строго фіксованих і заданих співвідношень характеристик жорсткості, визначається величина граничного моменту і розподіл моментів у перетинах для істинного механізму руйнування. Другий, коли при заданій кількості співвідношень жорсткостей (n) проводиться оптимізаційний розрахунок рами для отримання мінімального за величиною розподілу моментів за рахунок зміни співвідношення жорсткостей, в результаті виходить конструкція мінімальної ваги. Визначена необхідність розглядати всі найбільш ймовірні механізми руйнування для більш повного врахування несучої здатності всіх елементів конструкції під час проектування нових і реконструкції існуючих будівель.

Ключові слова: надійність, сталеві рами, ймовірність, руйнування.

Постановка проблеми. Розглядаючи загальні відомості оцінки надійності сталевих рам, відмітимо, що розподіл зусиль під час пластичного руйнування не залежить від історії навантаження, від поведінки конструкції до настання її повного пластичного руйнування. Тому для розрахунку сталевих статично невизначених рам, виконаних з пружно-пластичного матеріалу, можна розглядати тільки фазу вичерпання несучої здатності конструкцій, їх пластичне руйнування. Це положення використовується в розрахунку за методом граничної рівноваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом питанням теорії надійності присвячено праці [1–3], в яких систематизовані методика оцінки надійності окремих конструктивних систем виробничих будівель. Зокрема, в праці [1] представлено ймовірнісний метод оцінки надій-

ності конструкцій. Він враховує випадковий характер навантажень і міцності сталі, спільну дію навантажень, специфічний характер роботи та відмов сталевих елементів, вузлів і також сталевих конструктивних систем загалом. На основі розробленого методу були виконані чисельні розрахунки надійності широкого кола таких конструкцій, як підкранові балки, ферми, кроквяні балки, колони та рами. В результаті були обґрунтовані коефіцієнти норм проектування і був досягнутий економічний ефект. У роботі [4] аналізується напружено-деформований стан сталевого каркаса багатопрольотної виробничої будівлі з урахуванням деформацій просідаючої основи. Головним завданням цієї роботи було виконання оцінки експлуатаційної надійності сталевих конструкцій каркаса. Також особливості напружено-деформованого стану сталевих каркасів та окремих

конструктивних частин представлено в працях [5–6]. Зокрема, в [5] викладені сучасні принципи компонування, розрахунку і конструювання сталевих каркасів одноповерхових виробничих будівель. Представлено схеми каркасів, конструктивні рішення несучих та огорожуючих конструкцій. Окремо розглянуті етапи формування розрахункових схем поперечних рам.

Постановка завдання. Під час визначення надійності сталевих статично невизначених рам за методом граничної рівноваги в цій роботі необхідно прийняти деякі припущення:

1. Прикладання навантажень належить до квазістатичного типу. Динамічні дефекти і повторно-змінне завантаження не розглядалися.

2. Матеріал конструкції ідеально пружно-пластичний і підпорядковується діаграмі Прандтля. Можна відзначити, що ідеальна пластичність є першим наближенням для реальної поведінки конструкції за межею пружності, і відповідний цьому метод граничної рівноваги цілком придатний для вирішення завдань визначення несучої здатності. Розглядаючи реальну роботу статично невизначеної сталеві рами, можна зробити висновок, що вона близька до ідеальної пружно-пластичної. Розподіл міцності матеріалу був нормальним, що відповідає дослідним даним, отриманим під час випробування сталевих зразків на розтягнення.

3. Деформації під час руйнування малі, внаслідок чого рівняння рівноваги складають для недеформованої схеми. Відомо, що це припущення завжди приймається за пружного розрахунку конструкцій і не викликає сумнівів в незначності похибок. Передбачається, що під час розгляду одно-, дво- і триповерхових багатопролітних рам горизонтальні деформації невеликі.

4. Перерізи елементів мають ідеальну форму, для такого перетину пластичний переріз настає одночасно по всій площі, в результаті чого зона пластичного шарніра обмежується точкою. Допущення дозволяє вважати, що механізм руйнування являє собою кінематичний ланцюг, що складається з твердих частинок, з'єднаних в певних місцях шарнірами. Це припущення набагато полегшує кінематичний розгляд системи, тим ближче до реальності, ніж перетину елементів ближче до ідеального перетину, що в металевих конструкціях найбільш прийнятно, тому що використовуються в основному тонкостінні профілі, близькі до двотаврів.

5. Основними діючими зусиллями є згинальні моменти, і основою для визначення несучої здатності є критерій міцності. Дія поперечних сил під час утворення механізму руйнування не врахову-

ється, оскільки вплив їх невеликий. Урахування дії поздовжньої сили для колон можливе і розглядається як частка в граничному згинальному моменті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час визначення надійності конструкцій повинен мати місце обґрунтований підхід. Цей підхід враховує всі аспекти, що визначають її несучу здатність і виражають реальну роботу під діючими навантаженнями. За даними проведених імовірнісних розрахунків і експериментальних досліджень можна прийняти ряд вищеперерахованих припущень, збільшуючи достовірність результатів. Оцінку надійності сталевих, статично невизначених рам, які працюють у пластичній стадії, можна здійснювати з достатньою достовірністю, досліджуючи один найбільш ймовірний механізм руйнування конструкції. Запропонована методика розрахунку дозволяє отримати цей один найбільш ймовірний (істинний) механізм руйнування конструкції. Для визначення зусиль у кінцевій фазі руйнування застосовується метод граничної рівноваги, що можливо виразити у вигляді рівності віртуальних робіт зовнішніх A_{sx} і внутрішніх сил A_{in} :

$$A_{sx} = A_{in}, \quad (1)$$

$$\sum_j P_j f_j = \sum_k M_{pl,k} V_k, \quad (2)$$

де P_j – значення j -ї зовнішньої навантаження у вигляді зосередженої сили, розподіленого навантаження або моменту;

$M_{pl,k}$ – пластичний момент в k -м перетині під час утворення пластичного шарніру;

f_j – повороти або переміщення вузлів;

v_k – повороти стрижнів в k -м перетині.

Для статичного формулювання завдання визначення внутрішніх сил під час вичерпання несучої здатності рами з усіх статично допустимих приймається те, для якого робота внутрішніх сил досягає найменшого значення. Математичну модель задачі розрахунку пружно-пластичної системи, що характеризується одним параметром $\min M_o$, від одноразового простого завантаження, можна виразити:

$$\left. \begin{aligned} \mu_i \cdot M_o - M_i &\geq 0 \\ \mu_i \cdot M_o + M_i &\geq 0 \end{aligned} \right\} i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

де M_i – момент, діючий в i -м небезпечному перерізі;

M_o – параметр граничного згинального моменту;

α_i – задані складники вектору коефіцієнтів співвідношень характеристик несучої здатності системи;

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} M_i = P_j, \quad (j=1, 2, \dots, (n-k)) \quad (4)$$

де α_{ij} – елементи матриці умов рівноваги;
 P_j – складники вектору зовнішніх навантажень;
 k – ступінь статичної невизначеності системи;
 n – кількість передбачуваних небезпечних перетинів.

$$M_o \geq 0,$$

Умова (3), що розглядається, являє собою задачу лінійного програмування, яка вирішується симплекс-методом. Для пружно-пластичного розрахунку плоских рам була написана програма мовою FORTRAN, у якій виконуються два режими обчислень. Перший, за якому для строго фіксованих і заданих співвідношень характеристик жорсткості, визначається величина граничного моменту і розподіл моментів у перетинах для істинного механізму руйнування. Другий, коли за заданої кількості співвідношень жорсткостей (" n ") проводиться оптимізаційний розрахунок рами для отримання мінімального за величиною розподілу

моментів за рахунок зміни співвідношення жорсткостей, у результаті виходить конструкція мінімальної ваги. Зупинимося на першому режимі, в якому виявляється істинний механізм руйнування (найбільш імовірний). Для виконання розрахунків статично невизначених сталевих рам симплекс-методом необхідно скласти елементарні рівняння рівноваги (в статичному формулюванні рівняння) за заданих геометричних розмірів конструкції, співвідношенні характеристик жорсткості, величиною і напрямком зовнішніх навантажень. У зв'язку з різною методикою складання рівнянь у літературі наводимо узагальнений варіант їх складання (рис.1–2).

Розрахунок сталевих статично невизначених рам методом граничної рівноваги в початковій стадії виконується в детерміністичній постановці. В процесі обчислень отримуємо значення граничних моментів у перетинах рами для граничної фази руйнування для істинного механізму. Істинним механізмом називається такий механізм, для якого робота зовнішніх сил з його створення буде найменшою. Для цього розрахунку істинним механізмом буде той, для якого значення граничного моменту M_o буде найменшим. Імовірнісні характеристики міцності і навантаження вводяться на завершаль-

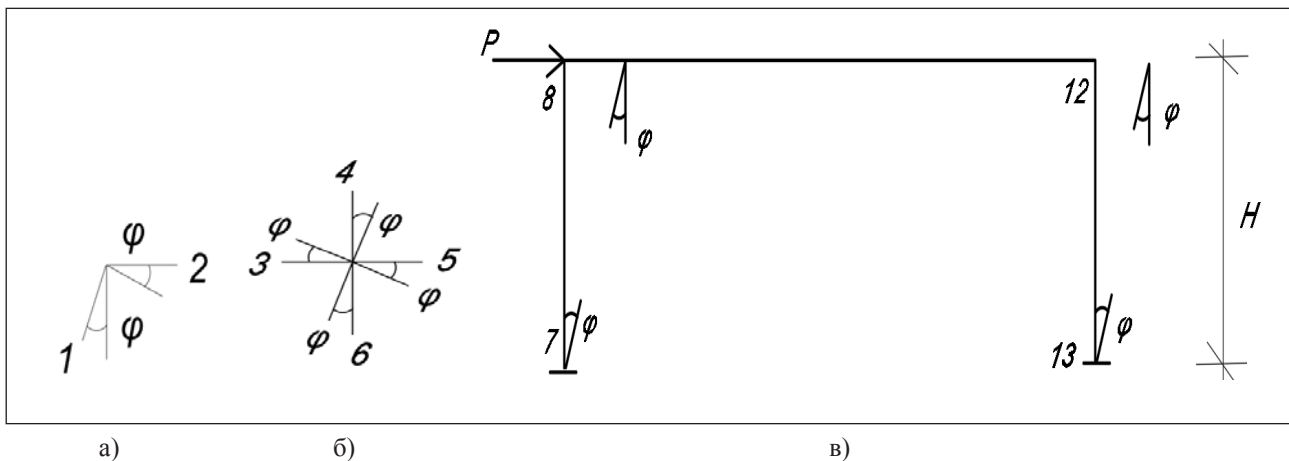


Рис. 1. Вузлові (сума моментів у вузлі): а) $M_1 + M_2 = 0$; б) $M_3 + M_4 + M_5 + M_6 = 0$; в) поверхві (зсувні), (поперечна сила по поверхам або прольотам): $M_7 - M_8 - M_{12} - M_{13} = P H$

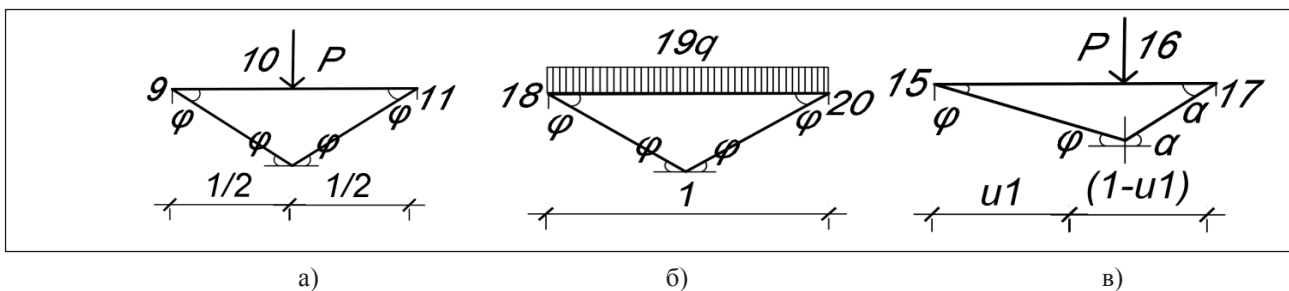


Рис. 2. Балочні (значення згинального моменту для перерізу на стрижні через моменти на кінцях): а) $M_9 + 2M_{10} + M_{11} = PL/2$; б) $M_{18} + 2M_{19} + M_{20} = qL^2/2$; в) $M_{15} + M_{16} + uM_{17} = PL(1-u)$

ному етапі розрахунку ймовірності відмови системи загалом. На основі спільного рішення отримана методика розрахунку надійності статично невизначених рам, у якій умови для шарнірів пластичності мають вигляд рівнянь, що описують гіперплощини в $(k + 1)$ – у вимірному гіперпросторі:

$$\sum_{j=1}^k M_{ij} x_j + q M_{io} \leq M_{i,pl} \quad (i=1, 2, \dots), \quad (5)$$

де $M_{i,pl}$ – граничний момент в i -м перетині;

M_{ij} – момент в i -му перерізі основної системи від зайвого невідомого $x_j = 1$;

M_{io} – момент в i -м перетині від зовнішніх навантажень q , параметр яких приймається $q = 1$.

Перетин гіперплощин визначає вершину багатогранника умов, для яких визначається максимальне значення навантаження.

$$q = q_{max}. \quad (6)$$

З рішення $(k + 1)$ лінійних рівнянь (5) з підстановкою в праву частину середніх граничних моментів $M_{r, pl}$ і переходом у сферу випадкових параметрів отримуємо математичне очікування міцності рами загалом у просторі параметра навантаження:

$$\bar{q} = \sum_{r=0}^{k+1} \frac{A_{r,k+1}}{D} \overline{M_{r,pl}} = \sum_{r=1}^{k+1} \frac{A_{r,k+1}}{D} \mu_r \bar{M}_{0,pl}, \quad (7)$$

де D – визначник системи рівнянь;

$A_{r,k+1}$ – алгебраїчне доповнення елементів $M_{r,pl}$ визначника D ;

$\bar{M}_{0,pl}$ – середнє значення параметра граничного моменту рами;

μ_r – складники вектору коефіцієнтів співвідношень граничних моментів рами;

r – номер шарніра пластичності.

Стандарт міцності рами в просторі параметра навантаження визначається:

$$\hat{q} = \sum_{r=0}^{k+1} \frac{A_{r,k+1}}{D} \hat{M}_{r,pl} = \sum_{r=1}^{k+1} \frac{A_{r,k+1}}{D} \mu_r \hat{M}_{0,pl}, \quad (8)$$

Вирази (7) і (8) визначають чисельні характеристики випадкової міцності рами загалом у просторі параметра навантаження залежно від випадкових характеристик випадкової міцності окремих елементів у разі одноразового завантаження рами, коли все навантаження і граничні моменти пропорційні одному параметру. Розподіл пластичних моментів у рамі $M_{r,pl}$ і величину граничних пластичних моментів $M_{o,pl}$ визначають симплекс-методом за програмою SIMPLEX.

Таблиця 1

Рівняння сумісності для рами (рис. 2)

N	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Q
μ	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	
1.		1	1							1					0
2.				1	1										0
3.							1	1							0
4.									1			1	1		0
5.			1	1				1	1						80
6.		1	1										1	1	80
7.					-1	2	1								150
8.										-1	2	1			450

Таблиця 2

Табличний вигляд нерівності (5)

	1	3	6	7	8	9	q	μ
	1	-1						2
*	2	1			1	1	-80	2
	3		-1					1
	4		1	1	1		-80	1
*	5		-0,5	-1	0,5		115	1
*	6			1				1
*	7				-1			1
*	8					-1		2
*	9						-1	2
*	10	-0,5	0,5		-0,5	-1	0,5	265

Таблиця 3

Табличний вигляд системи рівнянь

	1	2	3	4	5	6	q	μ
	1				1	1	-80	2
	2		-0,5	-1	0,5		115	1
	3			1				1
	4				-1			1
	5					-1		2
	6						-1	2
	7	-0,5	0,5		-0,5	-1	0,5	265

Якщо параметр навантаження є випадковою величиною \bar{Q} , то резерв міцності рами буде дорівнювати:

$$\bar{S} = \bar{q} - \bar{Q} > 0, \quad (9)$$

математичне очікування резерву міцності

$$\bar{S} = \bar{q} - \bar{Q} > 0, \quad (10)$$

середнє квадратичне відхилення резерву міцності

$$s = \sqrt{\bar{q}^2 + \bar{Q}^2} \quad (11)$$

Залежність розрахункових характеристик навантаження та граничних пластичних моментів від відповідних характеристик випадкових параметрів:

$$Q = \bar{Q} + \gamma_Q \hat{Q}, \quad (12)$$

$$M_{0,pl} = \bar{M}_{0,pl} - \gamma_q \hat{M}_{0,pl}, \quad (13)$$

де $M_{0,pl}, \bar{M}_{0,pl}, \gamma_q \hat{M}_{0,pl}$ – розрахункове, математичне очікування, стандарт значення граничного моменту;

Q, \bar{Q}, \hat{Q} – розрахункове, математичне очікування, стандарт значень параметра навантаження відповідно;

γ_Q, γ_q – кількість стандартів відхилень від середнього для розрахункового навантаження і міцності.

Розглянемо раму рис.3. Параметр навантаження в рамі приймається безрозмірним і дорівнює 1.0. Граничний момент відповідає (Рис. 3, б) істинному механізму руйнування $M_{0,pl} = 42,5 \text{ кНм}$. Рівняння сумісності для рами (рис.2) мають вигляд (табл.1).

Змінність (коефіцієнти варіації) для навантаження і міцності відповідно $V_Q=0.2$ і $V_q=0.1$, відхилення від розрахункового навантаження і міцності від середнього $\gamma_Q=5$ і $\gamma_q=3$.

Згідно з формулам (12, 13) математичне очікування і середнє квадратичне відхилення параметру навантаження і граничного моменту відповідно:

$$\bar{Q} = 0,5, \hat{Q} = 0,1, \bar{M}_{0,pl} = 60,7 \text{ кНм}, \hat{M}_{0,pl} = 6,07 \text{ кНм}.$$

Для складання рівнянь (5) необхідно визначити основну систему (рис. 3, в), з умовними шарнірами в перерізах 1, 3, 6, 7, 8, 9 згідно з істинним механізмом руйнування. Епюра моментів від одиничного параметру навантаження $q=(20, 50, 150)$ представлена на рис. 3, г.

Завантажимо основну систему одиничними моментами від відхилених в'язей (6-шарнірів – 6-завантажень) і отримаємо для кожного перерізу значення M_{ij} . З епюри моментів (рис. 3, в) для кожного небезпечного перерізу візьмемо стовбчик $M_{i,0}$. Нерівність (5) має вигляд (табл. 2).

У цих нерівностях відмічено зірочками (*) перерізи, в котрих виникають шарніри пластичності. Якщо видалити інші перерізи, то система нерівностей перетворюється на систему рівнянь (табл.3).

З цих рівнянь розрахуємо визначник $\Delta=340$, а також розрахуємо алгебраїчне доповнювання Δ_q по стовпчику M_i .

Математичне очікування і стандарт параметру міцності розраховують:

$$\bar{q} = \frac{\bar{M}_0 (0,5x^2 + 1x1 + 1x1 - 1x2 + 1x2 + 1x3)}{340} = 0,0235 \bar{M}_0 = 1,428$$

$$\hat{q} = 0,0294 \hat{M}_0 \sqrt{(1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 4 + 9)} = 0,0125 \hat{M}_0 = 0,076$$

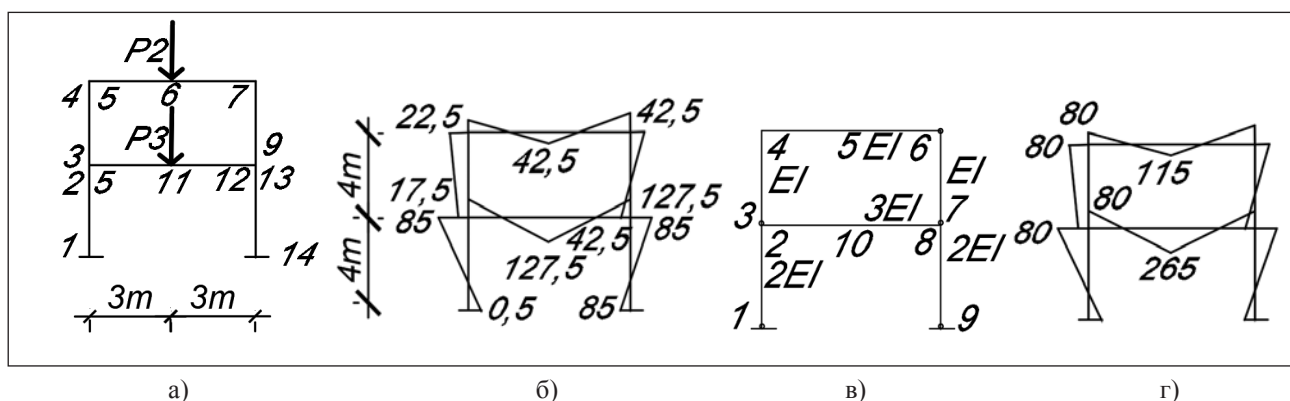


Рис. 3. Схема рами та епюри моментів: а) схема рами; б) точки виникнення пластичних шарнірів та значення пластичних моментів; в) основна система рами; г) епюра моментів основної системи від параметру навантаження $q_1=0 (20, 50, 150)$

Характеристика безпеки буде дорівнювати:

$$\beta = \frac{(1,428 - 0,5)}{\sqrt{(0,01 + 0,057)}} = 7,4$$

З огляду на те, що міцність і навантаження розподіляються по нормальному закону, імовірність відмови рами загалом буде дорівнювати $Q_s=0,589 \times 10^{-14}$, що суттєво менше імовірності відмови окремого елемента $Q_i=5,06 \times 10^{-8}$, запроєктованого за нормами. Змінимо граничний момент $M_o=48$ кНм, при цьому характеристика безпеки для рами складає $\beta=5,396$, що близько до проектної $\beta=5,325$ згідно з нормами. Величина запасу за несучою здатністю рами загалом за параметром M_o складає 26,4%. Під час аналізу результатів розрахунку безвідмовності статично невизначених сталевих рам, обчислених за методом граничної рівноваги в обчисленнях імовірнісних характеристик рам використовуються істинний механізм руйнування. Числові значення ймовірності відмови і схеми істинних механізмів руйнування показані в таблиці. За результатами розрахунку ймовірностей відмови ряду сталевих статично невизначених рам можна відмітити, що ці ймовірності коливаються від $3,99 \text{ E-}11$ до $1,6 \text{ E-}16$. Діапа-

зон зміни ймовірностей не дуже великий. Відзначимо також, що якщо істинний механізм близький до елементарного (балкового або поверхового), ймовірність відмови його вища, ніж для істинних механізмів з більш складною структурою.

Висновки. Порівнюючи відповідну вірогідність по одному найбільш вірогідному механізму і по ряду механізмів, можна помітити, що так звані верхня і нижня оцінки вірогідності відмови досить близькі між собою. Це положення дозволяє достовірно використати для оцінки вірогідності відмови системи один найбільш вірогідний механізм руйнування. Визначення надійності систем загалом по одному механізму чисельно цілком виправдано, але реально можуть існувати механізми, що мають вірогідність появи, близьку до найбільш вірогідного механізму. Тому відповідальність елементів, що входять до цих механізмів, також значна, як і елементів, що входять до істинного механізму. У зв'язку з цим є необхідність розглядати всі найбільш імовірні механізми руйнування для більш повного врахування несучої здатності всіх елементів конструкції під час проектування нових і реконструкції наявних будівель.

Список літератури:

1. Пичугін С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий. *Монография*. 2011. 455 с.
2. Пичугін С.Ф. Методика врахування просторової роботи сталевих каркасів виробничих будівель. *Каталог наук. розроблень ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка*. 2011. 33 с.
3. Пичугін С.Ф. Питання надійності сталевих каркасів виробничих будівель. *Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури* : зб. наук. праць. *Будівельні конструкції будівель та споруд: проектування, виготовлення, реконструкція та обслуговування*. 2011. Вип. 2011_4(90). С. 146–153.
4. Сайгак Н.Г., Жаданова К.Ф., Кокошуев П.В. Оцінка експлуатаційної надійності сталевих конструкцій каркасу промислової будівлі з урахуванням деформацій просідаючої основи. *Металеві конструкції*. 2009. № 2, Т. 15. С. 123–131.
5. Нілов О.О., Лаврінченко Л.І. Металеві конструкції: одноповерхові виробничі будівлі. Основи розрахунку. Позацентрово-стиснуті колони. *Навч. посіб. для студ., що навчаються за спец. «Промислове і цивільне будівництво»*. 2004. 211 с.
6. Дорофеев В.С., Пушкар Н.В., Пашинський В.В. Напружено-деформований стан сталевих каркасів при температурних впливах : монографія. 2014. 159 с.

Chichulin V.P., Chichulina K.V. ASSESSMENT OF FRAME RELIABILITY BASED ON THE MOST PROBABILITY FAILURE MECHANISM

The article presents the main stages of assessing the reliability of steel frames by the most likely mechanism of destruction. A number of assumptions are defined for determining the reliability of steel statically indeterminate frames using the limit equilibrium method. It is proposed to evaluate the reliability of steel statically indeterminate frames that work in the plastic stage with sufficient confidence, examining one of the most likely mechanisms of structural failure.

The proposed calculation method allows us to obtain exactly this probable mechanism of structural failure. The ultimate equilibrium method is used to determine the forces in the final phase of destruction. Calculating the probability characteristics of frames, using the true mechanism of destruction. It is proved that when the true mechanism is close to the elementary one (beam or floor), the probability of failure is higher than for true mechanisms with a more complex structure. The calculation of steel statically indeterminate frames by the method of limiting equilibrium in the initial stage is performed in a deterministic setting. In the process

of calculations, the value of the limiting moments in the frame sections for the limiting phase of destruction for the true mechanism is obtained. It is indicated that the true mechanism is the one for which the work of external forces to create it will be the least. For the elastic-plastic calculation of flat frames, a program is written in FORTRAN, in which two calculation modes are performed. The first, in which for strictly fixed and specified ratios of stiffness characteristics, the value of the limiting moment and the distribution of moments in sections for the true fracture mechanism is determined. Second, when the frame is optimized for a given number of stiffness ratios ($\leq n$) to obtain the minimum moment distribution by changing the stiffness ratio, the result is a minimum weight design. It is necessary to consider all the most probable mechanisms of destruction for a more complete account of the load-bearing capacity of all structural elements in the design of new and reconstruction of existing buildings.

Key words: *reliability, steel frame, probability, failure.*

ГЕОДЕЗІЯ

UDC 528.4:332.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/36>

Wen Mingming

Guangdong Ocean University

Mamonov K.A.

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Frolov V.O.

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

LAND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE REGION: ANALYSIS AND PRACTICE OF THE USE OF THE TERRITORIES OF THE COASTAL CITIES OF CHINA¹

The relevance of the study of land management systems in the region is determined. The aim of the study is to determine the directions and features of the use of land management systems. To achieve this goal, the following tasks are solved: analyze existing land management systems; determine the directions and features of the formation and use of the land administration system; to identify the features of the formation of a land management system, taking into account the experience of mainland China and its coastal cities (Guangdong, Hong Kong, Macau). The analysis of modern land management systems is carried out and it is proposed to apply land administration at the regional level. As a result of the study, it was determined that the largest share in international practices is occupied by the characteristics: significant development of rental relations on a long-term basis (20 countries studied); the intended purpose of the land plot (19); taking into account the interests of stakeholders interacting in the field of land relations (19); taking into account the functional features of the land (19); the permanent use of cadastral information (18); the development of the land administration system (16); formation of the ecological balance of territories (11).

It has been determined that land management in mainland China is characterized by the prevalence of their use in agriculture, where large farms operate. However, in coastal cities, for example, Guangdong, Hong Kong, and Macau, the peculiarities of land management are a significant amount of their use in the logistics and trade infrastructure, industrial production with agricultural development opportunities. In addition, free trade zones, where modern land management systems are created, are important for the development of land relations.

Key words: *land management systems, region, land administration, land use experience in coastal cities of China.*

Introduction. In the context of globalization processes, an increase in the population of the Earth, significant imbalances that arise between countries increases the importance of land resources that ensure regional development. Modern land management systems aimed at improving the efficiency of their use, taking into account regional characteristics. However, those presented to the system are not always used, which impedes the territorial development of countries. In this context, to solve the problematic

aspects of land use, the implementation of the land administration system is of particular importance. In addition, the experience of the formation of land relations in coastal cities (Guangdong, Hong Kong, Macau), where modern technologies of territorial development are applied, is noteworthy. Thus, the study of the current land management systems in the region is relevant.

Analysis of existing research. The results of the study of areas and features of land management, taking into account regional characteristics, are presented in the developments [1–10]. However, the questions of determining the directions and features

¹ This article is supported by the program for Guangdong Ocean University's "Innovation Strong School" in 2020 (230420023) and by the program for scientific research start-up funds of Guangdong Ocean University.

of the application of modern land management systems in the region remain unresolved.

The aim of the study is to determine the directions and features of the use of land management systems.

Research objectives. To achieve this goal, the following tasks are solved:

- analyze existing land management systems;
- determine the directions and features of the formation and use of the land administration system;
- to identify the features of the formation of a land management system, taking into account the experience of mainland China and its coastal cities (Guangdong, Hong Kong, Macau).

Main part. In modern conditions, various land management systems are used:

- classical (France, Germany, Austria, Italy, Spain): it is formed on the basis of the implementation of the “general to private” principle, where general principles are developed and state measures are taken to create a land management system, implemented on specific land plots, and the quality of agricultural land is determined crop yields on arable land and forage land productivity [7]. It allows you to determine the main directions of the formation and implementation of land management, to build a unified system where changes occur “from top to bottom”. The disadvantage of the classical system is the significant influence of government on the formation and implementation of land policy, the complexity of its implementation, in particular, given the need for their implementation at the level of specific land management;

- transitional (USA, Australia, Canada): it is determined by focusing on the formation and use of a specific land plot, the assessment of its spatial parameters, the principle of “private to general” has been implemented [7]. It takes into account the directions and characteristics of land use at the level of the land plot, allows for specific changes that affect the formation of national policies. However, there are certain problems in determining and accounting for territorial, economic, environmental and social requirements [2];

- complex multifunctional (Sweden, Finland, Latvia, Lithuania, Estonia, Netherlands): aimed at creating a multi-purpose cadaster, the formation and use of which is carried out by applying geographic information and navigation systems, takes into account changes occurring at different levels of land use, where interaction between infrastructure of a multifunctional land management system, spatial data infrastructure, spatial activity information and state, municipal and privatized reporting sectors [2].

It allows you to build a unified system of state management of land relations, given the multifunctionality of the interaction of spatial data, the structure of land relations, the interaction of various groups of stakeholders using modern geographic information and navigation systems. The disadvantage of this system is the complexity of its formation and use, the need to improve the system of spatial and information support.

Presented land management systems in developed countries are being transformed into a modern integrated land administration system. The presented system allows for the interaction between the functions of land administration: land ownership, assessment, use, development of land. In this context, land relations management is ensured, taking into account the peculiarities of land ownership, use and development, and the results of their assessment. So, the principle of multifunctionality of land relations at all levels of land management is being decided.

The land administration system is defined as one area of the land plot, real estate, the amount of space, air above the surface, everything that is under and near the object.

In the context of the definition of land administration, the point of view presented in [4] deserves attention. It is characterized as “processes related to land ownership, land value, land use and land development, carried out by the government (power) using public or private sector institutions”. The land administration system includes:

- institutional arrangements;
- regulatory framework;
- processes, standards, land information;
- management and dissemination of systems and technologies necessary to support distribution, land markets, assessment, management of the use and development of interests in land [4].

The system of land administration is based on a set of international regulatory documents:

- 1) land administration guidelines: with special reference to countries in transition;
- 2) United Nations-FIG Bathurst Declaration on Land Administration for Sustainable Development;
- 3) land administration in the UNECE region;
- 4) land administration for sustainable development;
- 5) ISO 19152: 2012 Geographic information;
- 6) INSPIRE. D2.8.I.6 Data on Specifications Cadastral Parcels [5–10].

The implementation of the integrated land administration system in Ukraine, according to experts, is determined by the problematic aspects that are

associated with: the lack of a common system in the management of land relations and the use of land resources; departmental fragmentation of structures whose activities are related to land information; each structure collects the data it needs; separate maintenance of land and urban development cadasters and a register of rights to real estate, which complicates the development of a unified land policy, the processes of preparing common decisions and the provision of services, duplication of data; unsystematic, unrelated separate solutions to issues of ownership, assessment, use, development of land by various organizational structures; the limited use of modern information technologies, including geographic information technologies, creates obstacles to the implementation of a unified policy and the interconnected effective work of departments, services and users [4].

To implement the integrated system of land administration in international practices, geographic information systems are used, it is a comprehensive toolkit that allows analysis, taking into account the spatial, urban, investment and environmental features of land ownership, assessment, use and development of land.

The development of the land administration system is associated with the determination of land ownership. In Western countries, private property, or simply property, is called the free, unlimited right to use a thing. For land, unlimited right is as follows: personal use of land; transfer of the right to use to another person free of charge or for a fee (rent); inheritance of land; sale or pledge of land. This form of ownership is valid for commodities produced and used by a person.

In the regulatory framework of Western European countries, a balance is required between the rights of the owner and the requirements expressing a common interest in the organization of space. This balance between the rights of the owner and the requirements of taking into account common interests is of particular importance in the territorial development of the regions.

In most European countries, private ownership of land is developed. In countries such as Sweden, Germany, France, Italy, Denmark at the present stage, in particular, 35–65% of urban land is privately owned [1]. In Spain, almost all land is privately owned [11]. Earth in the center. London is sold inactive, because almost all of it is privately owned [12]. In the city of Montreal – 95% of the land is private [3]. Along with this, in Israel 93% of the land belongs to the state, and the remaining 7% – to foreign embassies and institutions of various religious denominations, this is a sign that there is no private ownership of land [13]. In China, all land is state property.

Describing the system of property relations, it should be noted that in the United States – the younger the state since its inception, the higher the share of federal land ownership in cities [14].

The system of state and municipal government in Sweden, Germany, France, Italy, Denmark, Spain and the United States, defines, basically, a two-level system of regulation of land circulation on the basis of state and local laws.

Land law at the national level regulates the basic provisions of the rights and obligations of land owners, as well as the powers of municipalities and districts on relations with owners and control over the use of urban land. Regional or municipal law governs taxation and land use. Municipal authorities, as a rule, have a wide range of rights and opportunities to manage land resources, including the regulation of the tax base, zoning of the territory, by types of permitted use, and control over the intended use of these lands.

Characterizing the presented system, the most decentralized is the land administration of France, where each municipality and city department builds its own real estate management procedure, owns and manages property. This system is considered effective, but it has led to corruption. In the 90s, the “Sapin Law” was adopted, which is aimed at preventing corruption and ensuring transparency in economic and public administration [15].

Cities of Switzerland are seen as an example of efficient land use. State-owned real estate is divided into administrative and financial.

In Canberra (Australia) and Hong Kong, all land is owned by city authorities. Moreover, in these cities there is a free market for the right to long-term lease of land (99 and 50 years, respectively). Long-term lease of land provides for the automatic extension of the contract, or the preemptive right of the present tenant to extend the lease term. Land lease rights are freely bought and sold and can be used as collateral for a mortgage loan. The state may transfer the rights to use, develop, inherit, transfer and receive benefits from land to private individuals and legal entities [15]. Thus, the relationship between the land lessor (state) and the tenant (physical) corresponds to the relationship between the state and the land owner.

In Finland and Israel, land is owned by the city and leased. However, the functions of urban planning and management of land leases are independent of one character. The planning department determines the possibilities for changing the intended use of land, and the management department holds tenders for the right to conclude lease agreements. The purpose of this separation of functions is to exclude the possibility

of a department (company) that leases or sells land to influence the decision of the planning committee.

In Canberra, due to a lack of specialists in efficient land management, it was proposed to create a quasi-state or private company that would be relatively independent and manage state lands. Moreover, she obeyed the law as another private investor [16].

The generalization of international experience in the application of the land administration system indicates the development of institutional and regulatory areas for the protection of land rights, their use. Moreover, the development of rental relations is of particular importance, especially for the development of urban areas of the regions. It is proved that rental relations in the field of land use most fully meets the interests of interested parties and contributes to the development of territories, especially in the settlements of the regions.

To ensure the territorial development of the use of land in the regions, the solution of problematic issues related to the justification of the categorical apparatus for the definition of the terms “land” and “real estate” is of particular importance.

In international practice, real estate is considered as a single integrated concept, including land, real estate, everything that is located on, under, above, next to the land. This approach allows us to develop a unified approach to the formation, allocation, assessment, use and development of land, creates the conditions for the introduction of a land administration system for their use, and solves a complex of institutional problems associated with the formation of a unified system of land relations management.

Summarizing the foregoing, the dissertation defines the characteristics that determine the territorial development of land use in the international practice of developed countries (Table 1).

Thus, as a result of the study, it was found that the largest share in international practices is occupied by the characteristics:

- significant development of long-term rental relations (20 countries studied: Germany, the Netherlands, Great Britain, Italy, Israel, China, Bulgaria, Luxembourg, France, Portugal, the USA, Denmark, Argentina, Belgium, Spain, Norway, Sweden, Switzerland, Australia, Finland);

- intended purpose of the land plot (19 – Germany, the Netherlands, Great Britain, Italy, Israel, Bulgaria, Luxembourg, France, Portugal, the USA, Denmark, Argentina, Belgium, Spain, Norway, Sweden, Switzerland, Australia, Finland);

- taking into account the interests of stakeholders interacting in the field of land relations (19 – Ger-

many, the Netherlands, Great Britain, Italy, Israel, China, Bulgaria, Luxembourg, France, Portugal, the USA, Denmark, Argentina, Belgium, Spain, Norway, Sweden, Switzerland, Australia, Finland);

- taking into account the functional features of the land (19 – Germany, the Netherlands, Great Britain, Italy, Israel, China, Bulgaria, Luxembourg, France, Portugal, the USA, Denmark, Argentina, Belgium, Spain, Norway, Sweden, Switzerland, Australia, Finland);

- permanent use of cadastral information (18 – Germany, the Netherlands, Great Britain, Italy, Israel, China, Luxembourg, France, Portugal, the USA, Denmark, Belgium, Spain, Norway, Sweden, Switzerland, Australia, Finland);

- development of a land administration system (16 – Germany, the Netherlands, Great Britain, Italy, Israel, Luxembourg, France, Portugal, the USA, Denmark, Belgium, Spain, Norway, Sweden, Switzerland, Finland);

- formation of the ecological balance of territories (11 – Germany, the Netherlands, Great Britain, Italy, France, Belgium, Spain, Norway, Sweden, Switzerland, Finland).

Along with this, at a low or mediocre level, the following are taken into account:

- systematic accounting of agroclimatic features of land (1 – United Kingdom)

- determination of hemorphological features of land (1 – France)

- systematic formation of areas of economic valuation of land (2 – United Kingdom, the USA);





















- development of 3D cadaster (5 – the Netherlands, Israel, Denmark, Norway, Sweden);

- significant influence of state authorities (6 – the Netherlands, Great Britain, Israel, China, Australia, Finland);

- a high level of agricultural land attraction in the sphere of rental relations (8 – Germany, the Netherlands, Great Britain, Italy, France, the USA, Denmark, Australia).

It should be noted that when considering the land relations management system in China, it was determined that it occupies one of the leading places in terms of arable land – 92 500 000 Ha or 9.9% of the total land fund. Most of the land fund is in state ownership, the management of which is aimed at improving the efficiency of its use and is carried out at the national, regional and local levels. Land administration of China is implemented by the Ministry of Land and Natural Resources, which includes various structural units: the State Bureau of Land Monitoring, the State Geodetic Administration, the State Marine

Characteristics that determine the territorial development of land use in the international practice of countries (developed by the author)

Country	Formation of the ecological balance of territories	Significant government influence	Land purpose accounting	Taking into account the interests of stakeholders interacting in the field of land relations	Significant development of long-term rental relationships	High level of attraction of agricultural land in the field of rental relations	Systemic formation of areas of economic valuation of land	Systematic accounting of agroclimatic features of land	Determination of morphological features of land	Consideration of the functional features of the land	Permanent application of cadastral information	3D cadaster development	Development of a land administration system
	+		+	+	+	+				+	+		+
	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+
	+		+	+	+	+				+	+		+
		+	+	+	+					+	+	+	+
		+			+						+		
			+	+	+					+			
			+	+	+					+	+		+
	+		+	+	+	+			+	+	+		+
			+	+	+					+	+		+
			+	+	+	+	+			+	+		+
			+	+	+	+				+	+	+	+
			+	+	+					+			
	+		+	+	+					+	+		+
	+		+	+	+					+	+		+
	+		+	+	+					+	+	+	+
	+		+	+	+					+	+	+	+
	+		+	+	+					+	+		+
		+	+	+	+	+				+	+		
	+	+	+	+	+					+	+		+
Total	11	6	19	19	20	8	2	1	1	19	18	5	16

Administration, and the State Administration for Land Supervision [17].

In China, the land code has not been developed, it affects the management of land resources, but their coding is carried out [18]. Therefore, the development and implementation of a land administration system for the formation of a geographic information system is of particular importance, taking into account the peculiarities of land relations in China.

In accordance with the Law of China “On Land Management” it is determined that the owners of agricultural land are agricultural production cooperatives and other collective economic organizations [17]. However, the importance of small units operating in the field of land relations is decreasing. It is also a limiting factor for farmers to invest.

Unlike mainland China, Hong Kong has more open economic relations, affects the provision of land management. Features of this process is the emergence in the territory of coastal cities (including Hong Kong), bonds of zones and territories, which have a high level of investment attractiveness. In general, coastal areas include eleven administrative units, occupying 1 297 thousand square meters. km., where 435 million citizens live. Most of the employed population works in agriculture. However, the share of the employed population in industrial activity is growing.

Land administration of coastal cities (Guangdong – Hong Kong – Macau) is aimed at developing trade relations with the formation of modern transport and

logistics centers [19]. A feature of land management, in particular the territory of Guangdong, is the creation of the Guangdong Free Trade Zone (GDFTZ), the functioning of which is aimed at:

- the creation of an international, market-oriented and regulated business environment based on pilot reforms from three to five years;
- the establishment of a new and open economic system to deepen Guangdong – Hong Kong – Macau cooperation;
- the creation of new advantages in international economic cooperation;
- the creation of a free trade park with a regulated environment that meets high international standards to attract investment and promotes trade, provides a safe and highly efficient use of land resources [20].

Conclusions. As a result of the study, an analysis of modern land management systems was carried out and land administration was proposed at the regional level. It was determined that land management in mainland China is characterized by the prevalence of their use in agriculture, where large farms operate. However, in coastal cities, for example, Guangdong, Hong Kong, and Macau, the peculiarities of land management are a significant amount of their use in the logistics and trade infrastructure, industrial production with agricultural development opportunities. In addition, free trade zones, where modern land management systems are created, are important for the development of land relations.

References:

1. Занадворов В.С., Занадворова А.В. Экономика города. Вводный курс : учебное пособие. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2003. 272 с.
2. Свиридова Л.А. Світовий досвід державного адміністрування використання та охорони земель із врахуванням вимог екологічної безпеки. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2016. № 4. С. 74–83.
3. Галушко В.П., Білик Ю.Д., Даниленко А.С. та ін. Формування ринку землі в Україні / за ред. А.С. Даниленка, Ю.Д. Білика. 2-ге вид., переробл. та допов. Київ : Урожай, 2006. 280 с.
4. Шипулін В. Д. Система земельного адміністрування: основи сучасної теорії : навчальний посібник. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. 225 с.
5. Land administration in the UNECE region. Development trends and main principles. Geneva : United Nations, Economic Commission for Europe, 2005, 112 p.
6. United Nations-FIG Bathurst Declaration on Land Administration for Sustainable Development : Development and Impact, 1999. 12 p.
7. Land administration in the UNECE region. Development trends and main principles. New York and Geneva : United Nations, 2005. 112 p.
8. Williamson I., Enemark S., Wallace J., Rajabifard A. Land administration for sustainable development. California : Esri Press, 380 New York Street, Redlands, 2010. 506 p.
9. ISO 19152: 2012 Geographic information. Land Administration Domain Model (LADM). 2012. 118 p.
10. INSPIRE. D 2.8. I. 6. Data on Specifications Cadastral Parcels. Technical Guidelines 3.1. 168 p.
11. Недвижимость в Испании. *Prian.ru : Поиск недвижимости в 73 странах мира* : веб-сайт. URL: <http://prian.ru/article/15474.html>.
12. Недвижимость Лондона. *Cgrproductions.com* : веб-сайт. URL: <http://cgrproductions.com/page63.php>.
13. Ривлин В. Резервация, гетто и контрационные города. *Журнал «Самиздат»* : веб-сайт. URL: http://zhurnal.lib.ru/w/wlad_r/rezerwaciigettoikoncentracionnyegoroda.shtml.

14. Federal Lands in the US. URL: <http://strangemaps.wordpress.com/2008/06/>.
15. Leasing public land : policy debates and international experiences / ed. by S.C. Bourassa and Y.-H. Hong. Massachusetts : Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, 2003. p. 303.
16. Managing Government Property Assets : international experiences / ed. by O. Kaganova and J. McKellar. Washington : the Urban Institute Press, D.C., 2006. p. 438.
17. Петрук О.В. Реформування земельних відносин у Китаї та В'єтнамі : досвід для України. *Світовий досвід державного управління. Актуальні проблеми державного управління*. 2016. № 1 (49). С. 196–202.
18. Пасечник О.С. Порівняльно-правовий аналіз регулювання земельних відносин у сфері використання землі Україна – Китай. *Scientific World* : вебсайт. URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/december-2012>.
19. 吴松弟, 中国百年经济拼图:港口城市及其腹地与中国现代化, 2006.
20. China Guangdong Pilot Free Zone. *HKTDC Research* : web-site. URL: <http://china-trade-research.hktdc.com/business-news/article/Fast-Facts/China-Guangdong-Pilot-Free-Trade-Zone/ff/en/1/1X000000/1X0A2V1E.htm>.

Вень МінМін, Мамонов К.А., Фролов В.О. СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ РЕГІОНУ: АНАЛІЗ ТА ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ ПРИМОРСЬКИХ МІСТ КИТАЮ

Визначено актуальність дослідження систем управління земельними ресурсами регіону. Метою дослідження є опрацювання напрямів й особливостей використання систем управління земельними ресурсами. Для досягнення поставленої мети розв'язуються наступні завдання: проаналізувати існуючі системи управління земельними ресурсами; визначити напрями й особливості формування та використання системи земельного адміністрування; виявити особливості формування системи управління земельними ресурсами, враховуючи досвід материкового Китаю та його приморських міст (Гуандун, Гонконг, Макао). Проведено аналіз сучасних систем управління земельними ресурсами й запропоновано на регіональному рівні застосовувати земельне адміністрування. У результаті дослідження визначено, що найбільшу питому вагу в міжнародних практиках займають наступні характеристики: значний розвиток орендних відносин на довгостроковій основі (20 досліджених країн); цільове призначення земельної ділянки (19); врахування інтересів стейкхолдерів, що взаємодіють у сфері земельних відносин (19); врахування функціональних особливостей земель (19); перманентне застосування кадастрової інформації (18); розвиток системи земельного адміністрування (16); формування екологічного балансу територій (11).

Визначено, що управління земельними ресурсами в материковому Китаї характеризується превалюванням їхнього використання в сільському господарстві, де функціонують великі господарства. Проте в приморських містах, наприклад у Гуандун, Гонконзі, Макао особливостями управління земельними ресурсами є значний обсяг їхнього використання під логістично-торговельною інфраструктурою, промисловим виробництвом із можливостями розвитку сільського господарства. Крім того, важливого значення для розвитку земельних відносин мають вільні зони торгівлі, де створюються сучасні системи управління земельними ресурсами.

Ключові слова: системи управління земельними ресурсами, регіон, земельне адміністрування, досвід використання земельних ресурсів приморських міст Китаю.

Дорожко Є.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАСКРІЗНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

У статті наведено обґрунтування доцільності єдино форматної наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань для задач проєктування ремонтних робіт автомобільних доріг. Обробка результатів геодезичних вимірювань в єдино форматній основі передбачає повне поєднання форматів проміжних і кінцевих результатів геодезичних вимірювальних робіт і проєкту капітального ремонту автомобільних доріг. Принцип наскрізного проєктування передбачає передачу результатів одного етапу проєктування на наступний в єдиному форматі й одному проєктному середовищі.

Проведено аналіз функціональних можливостей сучасних програмних комплексів ArcGIS, Digitals, BricsCAD, Robur, Autodesk Civil 3D і CREDO, призначених для обробки результатів геодезичних вимірювань і проєктування капітального ремонту автомобільних доріг.

Функціональні можливості програмних комплексів ArcGIS, Digitals і BricsCAD дозволяють виконувати досить широке коло завдань, пов'язаних з автоматизованою обробкою результатів геодезичних вимірювань і побудовою цифрових моделей місцевості, але це не поширюється на автоматизоване проєктування автомобільних доріг. Тому для зазначених програмних комплексів неможливе застосування технології наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проєктування капітального ремонту автомобільних доріг. Функціональні можливості програмних комплексів Robur, Autodesk Civil 3D і CREDO «ДОРОГИ» підтримує можливість наскрізної єдино форматної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проєктування капітального ремонту автомобільних доріг.

Розроблення технології наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проєктуванні капітального ремонту автомобільних доріг розглянуто на основі програмного комплексу CREDO «ДОРОГИ».

У статті наведено огляд алгоритмів процесу отримання та автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час створення вихідних матеріалів для розробки проєкту капітального ремонту автомобільної дороги.

Ключові слова: автомобільна дорога, геодезичні вимірювання, програмний комплекс, капітальний ремонт, камеральна обробка.

Постановка проблеми. Основними факторами успіху в сучасному будівництві й капітальному ремонті автомобільних доріг є скорочення терміну виконання проєктних і будівельних робіт, зниження вартості проєктних і будівельних робіт і підвищення якості їхнього виконання. До числа найбільш ефективних технологій, що дозволяють виконати зазначені фактори, належить так звана технологія наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проєктування капітального ремонту автомобільних доріг і нового будівництва.

Автоматизована обробка результатів геодезичного забезпечення є набором відповідних методик і технологій. Однак процес обробки ускладнюється тим, що різні проєктні організації та фірми

використовують програмні комплекси, що мають індивідуальні особливості формування вхідних і вихідних даних. Тому актуальним завданням обробки результатів геодезичних робіт є забезпечення загальної наскрізної технології всього обчислювального процесу в єдино форматній основі, яка передбачає повне поєднання форматів проміжних і кінцевих результатів геодезичних вимірювальних робіт і проєкту капітального ремонту автомобільних доріг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Принцип наскрізного проєктування передбачає передачу результатів одного етапу проєктування на наступний в єдиному форматі й одному проєктному середовищі [1]. Водночас усі зміни, що вносяться на будь-якому етапі, мають відбиватися

у всіх частинах проєкту. Дотримання такого принципу особливо важливе на стадії обробки результатів геодезичних вимірювань під час розроблення проєкту капітального ремонту автомобільних доріг [2; 3]. Побудована під час наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань цифрова модель місцевості є основою не лише для проєктування капітального ремонту автомобільних доріг і нового будівництва, а й використовується на всіх стадіях життєвого циклу автомобільної дороги, від планування до інженерних вишукувань, до проєктування, до будівництва, до моніторингу й експлуатації та знову до планування [4].

До останнього часу технологія наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань для задач проєктування капітального ремонту автомобільних доріг в літературних джерелах не розглядалася.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка технології єдино форматної наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проєктування капітального ремонту автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу дослідження. Можливість розробити автоматизовану технологію обробки результатів геодезичних вимірювань на основі використання систем автоматизованого проєктування виникла після появи на ринку програмного забезпечення інструментальних геоінформаційних систем, зокрема, CREDO, MapInfo Professional, Arc Gis, Панорама та інших.

Під час камеральної обробки результатів геодезичних вимірювань обсяг даних стає дуже великим. Останнє пов'язано зі специфікою таких робіт – необхідністю формалізації та приведення різноформатних даних в єдине поле інформації. Необхідно забезпечити виключення суміщення різних вхідних і проміжних форматів даних і вивід кінцевих результатів без втрати їхньої точності, особливо під час експорту даних проєктній організації для розробки проєкту капітального ремонту автомобільних доріг.

Також потрібно забезпечити можливість оперативного проведення виправлень і доповнень у результатах геодезичних вимірювань під час подальшого проєктування та проведення додаткових геодезичних вимірювальних робіт, комп'ютерного аналізу, геоінформаційної обробки, передачі даних за допомогою Internet, архівації та зберігання даних [1–3].

Автоматизований режим збору інформації з геодезичного обладнання (електронних тахеоме-

трів й інших.) також передбачає автоматизований режим її обробки. Автоматизація дозволяє багаторазово збільшити продуктивність обробки результатів геодезичних вимірювань шляхом збільшення швидкості їхнього виконання, в багато разів скоротити ймовірність появи помилок у процесі камеральної обробки. У разі використання однієї програми замість декількох надається можливість різко скоротити обсяг послідовності дій і кількості операцій. Підвищується можливість оперативного проведення виправлень і доповнень при наступних геодезичних роботах, проєктуванні, комп'ютерному аналізі, геоінформаційній обробці, архівації та зберіганні даних, отриманих у тому числі за допомогою глобальної мережі Internet.

Виходячи з конкретних особливостей геодезичного забезпечення проєкту, в користувача з'являється можливість вибирати й регулювати послідовність дій технологічних процесів їхньої автоматизованої обробки на тих програмних продуктах, які використовуються в підприємстві, забезпечуючи таким чином ресурсозаощаджувальний режим. Це дозволяє підвищити економічну ефективність процесу обробки даних і формування форм вихідних і звітних матеріалів.

На сучасному етапі розвитку комп'ютерних технологій перед геодезичним забезпеченням проєктних робіт виникли нові завдання та з'явилися нові можливості, зумовлені застосуванням передових технічних і технологічних досягнень. Водночас обов'язковою вимогою є представлення результатів у цифровій формі, що забезпечує комп'ютерний аналіз й автоматизовану обробку даних. Нові технічні й технологічні можливості базуються на сучасних методах і засобах збору й комп'ютерної обробки просторових даних [2].

У геодезії існує два підходи до автоматизації обробки інформації – використання спеціалізованого програмного забезпечення та використання універсальних програмних комплексів із метою автоматизації обробки результатів геодезичних вимірювань [2]. В основному спеціалізоване програмне забезпечення розробляється для розв'язання досить вузького кола завдань, а розширення функціональних можливостей спеціалізованого програмного забезпечення майже неможливе. Тому якщо розв'язання конкретного завдання лежить в межах можливостей того чи іншого спеціалізованого програмного забезпечення, то завдання з його використанням розв'язується. Але якщо спочатку спеціалізоване програмне забезпечення не створювалося для

роботи з конкретним типом завдань, то розв'язати задачу з використанням такої системи буде вельми проблематично. Таких питань не виникає під час використання універсальних програмних комплексів з обробки інформації, тому що в цьому випадку алгоритм передбачає виконання розрахунків, транспортування інформації «з нуля», що забезпечує наскрізну автоматизовану обробку результатів геодезичних вимірювань. Однак постає запитання іншого характеру. Розробка якісної технології наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань – це досить трудомісткий процес, що займає багато часу. Звичайно, це нова технологія потім окупається, але тільки при досить великому обсязі робіт подібного типу. Тому необхідно чітко уявляти можливості різних програмних комплексів для того, щоб віддати перевагу тому чи іншому з них при розв'язанні конкретної задачі. Необхідно також враховувати фактори, пов'язані з економічними показниками під час вибору одного або декількох програмних продуктів і, як наслідок, – з витратами на навчання фахівців, що неминуче веде до зростання вартості робіт. Виникають додаткові складнощі з організації необхідної кількості автоматизованих робочих місць.

Для розробки єдино форматної наскрізної автоматизованої технології обробки результатів геодезичних вимірювань і створення вихідних

матеріалів для розробки проектів капітального ремонту автомобільних доріг проаналізовано функціональні можливості програмних комплексів ArcGIS, Digital, BricsCAD, Robur, Autodesk Civil 3D, CREDO [5–8]. На основі проведеного аналізу встановлено, що:

– функціональні можливості програмних комплексів ArcGIS, Digital і BricsCAD задовольняють досить широке коло завдань, пов'язаних з опрацюванням аерофотознімків, землеустроєм, топографією, побудовою цифрових моделей місцевості, розробкою проектних рішень в архітектурі, промисловому будівництві, машинобудіванні, проектуванні інженерних мереж, електриці, автоматизації й інших сферах проектування, але не поширюється на автоматизоване проектування автомобільних доріг, що унеможливорює застосування технології наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проектування капітального ремонту автомобільних доріг;

– функціональні можливості програмних комплексів Robur, Autodesk Civil 3D та CREDO «ДОРОГИ» підтримує можливість наскрізної єдино форматної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проектування капітального ремонту автомобільних доріг.

Подальше розроблення технології наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних



Рис. 1. Алгоритм технології наскрізного автоматизованого процесу обробки результатів геодезичних вимірювань

вимірювань під час проектування капітального ремонту автомобільних доріг розглянуто на основі програмного комплексу CREDO «ДОРОГИ».

Алгоритм технології наскрізного автоматизованого процесу обробки результатів геодезичних вимірювань і створення вихідних даних для проектування капітального ремонту автомобільних доріг на основі програмного комплексу CREDO «ДОРОГИ» передбачає отримання інформації застосуванням традиційних методів польових геодезичних вимірювань, а саме шляхом виконання тахеометричного знімання. Алгоритм технології наскрізного автоматизованого процесу обробки результатів геодезичних вимірювань представлено на рисунку 1.

Для автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань спочатку необхідно провести польові інженерно-геодезичні вишукування. Наступним є етап автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань, під час якого виконують окремо побудову цифрової моделі ситуацій і цифрової моделі рельєфу. Побудована таким чином цифрова модель місцевості є основою для автоматизованого проектування капітального ремонту або реконструкції.

Польові інженерно-геодезичні вишукування поділяються на підготовчі й безпосередньо вимірювальні роботи. На стадії підготовчих робіт виконують рекогносцирування ділянки місцевості, розбивку й закріплення опорних точок полігону. Вимірювальні роботи складаються з вимірювання відстані між вершинами опорних точок полігону, вимірювання кутів між вершинами опорних точок полігону, планово-висотної прив'язки опорних точок полігону й знімання ситуації та рельєфу місцевості.

Автоматизована обробка результатів геодезичних вимірювань поділяється на побудову цифрової моделі ситуації та цифрової моделі рельєфу. Побудова цифрової моделі ситуації полягає у визначенні положення точок об'єктів, геометричній побудові об'єктів місцевості, призначенні об'єктам місцевості відповідних характеристик і параметрів і подальшому їхньому графічному оформленні.

Побудова цифрової моделі рельєфу полягає в моделюванні поверхні рельєфу й створенні й редагуванні елементів поверхні.

Запропонований алгоритм технології наскрізного автоматизованого процесу обробки результатів геодезичних вимірювань дозволить [2]:

- забезпечити виключення можливості появи різних форматів даних під час автоматизованого процесу обробки даних;

- підвищить можливість оперативного проведення виправлень і доповнень під час наступних геодезичних вимірювань;

- забезпечить економічний ефект процесів обробки результатів геодезичних вимірювань і формування вихідних даних не менше ніж на 10 % без втрати точності.

Для забезпечення можливості автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань необхідно застосовувати електронні тахеометри, для цього підходять як роботизовані тахеометри, так і напівроботи або прості.

Технологію наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань розглянемо на основі програмного комплексу CREDO «ДОРОГИ». В основі інтерфейсу лежить стандартний інтерфейс Windows, адаптований відповідно до специфіки системи. Найбільша кількість побудов і налаштувань виконується в Панелі управління, оскільки цей елемент інтерфейсу несе величезне навантаження під час роботи з даними системи. На першому етапі виконується імпорт результатів тахеометричного знімання в програмний комплекс CREDO «ДОРОГИ». Цифрова модель рельєфу моделюється у вигляді трикутних граней за алгоритмом Делоне. Для істотного підвищення вірогідності моделі при побудові триангуляції використовуються структурні лінії. Вершинами трикутних граней є рельєфні точки (пікети) з координатами X, Y та Z. Грані називаються ребрами триангуляції. Побудовану поверхню можна зображувати за допомогою звичайних горизонталей.

Цифрова модель ситуації містить площинні (ділянки земельних угідь, водойми, населені пункти, майданчики, окремі будівлі й споруди тощо), лінійні (дороги, водотоки, лінії узбережжя, лінії електропередач і інженерних комунікацій та інше) й точкові об'єкти [7–9]. Деталі порядку побудови цифрової моделі ситуації та цифрової моделі місцевості в програмному комплексі CREDO «ДОРОГИ» наведено в роботах [9; 10].

Розроблена за наведеною послідовністю цифрова модель місцевості є основою для подальшого розроблення проекту капітального ремонту автомобільної дороги або проекту реконструкції.

Висновки. Застосування технології наскрізної єдино форматної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань під час проектування капітального ремонту автомобільних доріг дозволяє скоротити терміни виконання проектних рішень, знизити вартість проектних робіт і підвищити якість розроблених проектних рішень.

Принцип наскрізного проектування дозволяє виконувати передачу результатів одного етапу проектування на наступний в єдиному форматі й одному проектному середовищі. Водночас усі зміни, що вносяться на будь-якому етапі, мають відбиватися у всіх частинах проекту.

Список літератури:

1. Мазепин П.Г. Шаламов А.В. Сквозное автоматизированное проектирование в CAD/CAM системах : учебное пособие. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2002. 83 с.
2. Бударова В.А. Интеграция пространственных данных и географических информационных систем для устойчивого развития территорий : монография. Тюмень : РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», 2015. 129 с.
3. Бударова В.А. Технология «сквозной» обработки результатов геодезического обеспечения 3D сейсморазведки на территориях месторождений нефти и газа с применением геоинформационных систем. *Геодезия и картография*. 2010. № 5. С. 19–21.
4. Величко Г.В. Прикладные аспекты проблем эффективности BIM-технологий объектов автотранспортной инфраструктуры. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. № 86. Т. 2. С. 173–183.
5. Федоров Д.П. Digitals. Использование в геодезии, картографии и землеустройстве. Москва : ООО «Аналитика», 2015. 354 с.
6. Топоматик ROBUR. Автомобильные дороги. Версия 7.0 : руководство пользователя. Санкт-Петербург : Топоматик ROBUR, 2007. 44 с.
7. Назаров А.С., Неумывакин Ю.К., Перский М.И. Автоматизированная обработка материалов топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ (на примере комплекса CREDO) : учебное пособие для вузов. Москва : СП «Кредо-диалог», 2009. 272 с.
8. Пуркин В.И. Основы автоматизированного проектирования автомобильных дорог (на базе программного комплекса Credo) : учебное пособие для вузов. Москва : СП «Кредо-диалог», 2007. 216 с.
9. Дорожко Є.В. Побудова цифрової моделі ситуації за результатами геодезичних вимірювань. *Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Серія «Технічні науки та архітектура»*. 2017. Вип. 139. С. 60–62.
10. Дорожко Є.В. Перетворення паперового картографічного матеріалу в цифрову модель місцевості. *Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Серія «Технічні науки та архітектура»*. 2018. Вип. 7 (146). С. 214–217.

Dorozhko Ye.V. DEVELOPMENT OF CROSS-CUTTING AUTOMATED PROCESSING TECHNOLOGY FOR GEODETIC MEASUREMENT RESULTS IN THE DESIGN OF HIGHWAY OVERHAUL

The article substantiates the feasibility of a single-format through-through automated processing of the results of geodetic measurements for the problems of designing road repair works. The processing of geodetic measurements in a single-format basis implies a complete combination of intermediate and final results of geodetic measuring works and the project of major overhaul of roads. The principle of cross-cutting design involves the transfer of the results of one design phase to the next in a single format and one design environment.

The functional capabilities of modern software systems ArcGIS, Digitals, BricsCAD, Robur, Autodesk Civil 3D and CREDO, intended for processing the results of geodetic measurements and designing of overhaul of highways, have been carried out.

ArcGIS, Digitals and BricsCAD software capabilities allow a wide range of tasks to be performed with regard to automated geodetic measurement and digital terrain modeling, but does not extend to automated road design. Therefore, for these software complexes it is impossible to use the technology of end-to-end automated processing of the results of geodetic measurements in the design of major repairs of roads. Functionality of Robur, Autodesk Civil 3D and CREDO "ROADS" software complexes supports the possibility of end-to-end single-format automated processing of geodetic measurements in the design of major road repairs.

Development of the technology of end-to-end automated processing of the results of geodetic measurements in the design of major repairs of highways was considered on the basis of CREDO software "ROADS".

The article provides an overview of the algorithms of the process of obtaining and automated processing of the results of geodetic measurements when creating the starting materials for the development of the project of overhaul of the highway.

Key words: highway, geodetic measurements, software complex, overhaul, camber processing.

Поморцева О.Є.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС

У статті описані нові підходи до проектування транспортного руху у великих містах за допомогою геоінформаційних систем. Україна входить до списку країн з найбільшим показником попиту на громадський транспорт. Це своєю чергою потребує поліпшення існуючих та створення нових транспортних маршрутів. Сучасні транспортні системи досить складні, і це вимагає широкого залучення математичних методів, новітніх технічних засобів контролю і управління. Основні критерії, які необхідно враховувати під час формування маршрутної системи, це: зниження витрат часу пасажирів на поїздки, скорочення кількості пересадок пасажирів, економія витрат за рахунок оптимізації кількості зупинок на маршруті, підвищення швидкості руху.

Час перебування пасажирів у дорозі можна скоротити шляхом виключення проміжних зупинок – формуванням «експрес-маршрутів». Під час планування нових транспортних маршрутів у великих містах використовувалося моделювання за допомогою формування міжрайонних кореспонденцій у транспортних системах. Для моделювання було використано ентропійний підхід. Було знайдено матрицю реалізацій, у якій при заданих обмеженнях і перевагах сумарна ймовірна міра реалізації максимальна. Зупинки громадського транспорту протягом експрес-маршруту проектувалися з урахуванням відстані від місця проживання або роботи пасажирів. Проектування зупинок виконувалося за допомогою побудови буферних зон радіусом 500 метрів навколо точок інтересу. Також під час проектування зупинок було виконано прив'язку до інших видів громадського транспорту та місць роботи.

Розробка нових маршрутів складається з вибору і обґрунтування раціональної траси і проміжних зупинок. За допомогою геоінформаційної системи було запроєктовано «експрес-маршрут» від станції метро «Холодна гора» до станції метро «Пушкінська» у місті Харкові. Використання геоінформаційних технологій (програмного продукту ArcGis) допомогло комплексно вирішити поставлене завдання. Підвищення ефективності проектування транспортного маршруту дозволить заощадити значні кошти та покращити обслуговування пасажирів.

Ключові слова: геоінформаційна система, база геоданих, організація руху, експрес-маршрут, точка інтересу.

Постановка проблеми. Україна входить до списку країн з найбільшим показником попиту на громадський транспорт, особливо на автобуси, а це своєю чергою зумовлює необхідність поліпшення існуючих та створення нових транспортних маршрутів. Тому розробка «експрес-маршрутів» та оптимізація вже існуючих дозволить покращити обслуговування пасажирів шляхом скорочення витрат часу на очікування транспортного засобу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Практика показує, що рівень розвитку суспільства прямо пов'язаний з рівнем розвитку транспортної інфраструктури. В транспортній галузі, як і в інших галузях, головним завданням є підвищення продуктивності. Критерієм продуктивності є середня швидкість пересування пасажирів містом. Перевезення людей по місту транспортними засобами набуває з кожним роком масштабних проблем.

Серед усіх видів транспорту найбільшим попитом користуються автобуси (63%). За ними слідує метро і приміська залізниця (по 16%), які обслуговують масові пасажиропотоки в великих мегаполісах. Трамваї найменш популярні (5%) [1], це пояснюється обмеженістю їх поширення і фактичною наявністю тільки в певній кількості великих міст. Будь-які пасажирські перевезення організовують на певних маршрутах, зумовлених розміром і напрямком пасажиропотоків [2]. Метою міської політики в сфері пасажирських перевезень є гарантоване та ефективне задоволення потреб населення у безпечних та якісних послугах пасажирських перевезень [3]. Основними критеріями, що враховуються під час формування маршрутної системи, є зниження витрат часу пасажирів на поїздки, скорочення кількості пересадок, економія витрат шляхом випрямлення маршрутів і підвищення швидкості руху на них [4; 5].

Прогнозування руху починається із збирання даних про поточний трафік. Дані про трафік поєднуються з іншими відомими даними, такими як населення, зайнятість, сезонність пересування тощо, з метою розробки моделі попиту на трафік для поточної ситуації. Геоінформаційні (ГІС) технології полегшують доступ до динамічних даних і тим самим спрощують вирішення цієї задачі [6].

Постановка завдання. Практично у будь-якому місті можна знайти приклади, коли довжина навіть самого оптимального маршруту перевищує геометрично найкоротшу відстань між пунктами відправлення і призначення. Причина цього – невдала організація руху і недосконале прокладання самого маршруту.

У сучасних ГІС існує цілий ряд інструментів, за допомогою яких можна вирішувати транспортні задачі. Зокрема, планування руху транспортних засобів, розробка нових транспортних маршрутів та зупинок протягом маршруту. Ці роботи складні для автоматизації, а використання ГІС під час розв'язання цих завдань дозволить отримати більш якісний результат. Під час розробки нових, більш досконалих автобусних маршрутів слід враховувати економічну доцільність та всі складники, які надалі призведуть до покращення обслуговування пасажирів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробка нових автобусних маршрутів – вибір і обґрунтування раціональної траси, напрямків руху, кінцевих пунктів і проміжних зупинок повинно проводитися з особливою ретельністю і необхідним техніко-економічним обґрунтуванням, оскільки система автобусних маршрутів значно впливає як на умови і зручність перевезення пасажирів, так і на швидкість і безпеку руху. Вибір напрямків руху автобусів, а також кінцевих і проміжних пунктів маршруту здійснюється відповідно до потреб населення в перевезеннях. При цьому пасажиропотік повинен бути досить стійкий протягом усього маршруту та не залежати від пори року.

Основними критеріями, що враховуються під час формування маршрутної системи, є зниження витрат часу пасажирів на поїздки, скорочення кількості пересадок пасажирів, економія витрат за рахунок оптимізації кількості зупинок на маршруті і підвищення швидкості руху [7]. Великий вплив на організацію перевезень пасажирів і підвищення ефективності використання пасажирського транспорту надає нерівномірність розподілу пасажиропотоків у часі. Коливання пасажиропотоків відрізняються певною

закономірністю. Визначними факторами вибору маршруту переміщення пасажирів транспортною мережею є сумарний час, що витрачається на підхід до зупинки, очікування транспортного засобу, поїздки з пункту відправлення до пункту призначення, пересадку, переміщення від зупинки до місця призначення. Критерій часу, за інших рівних умов, визначає ефективність організації доставки пасажирів і є основним під час вибору виду транспорту, способу пересування. Тобто основним завданням організації руху міського пасажирського транспорту є забезпечення мінімальних часових витрат на поїздки. Скорочення часу перебування пасажирів у дорозі можна досягти шляхом виключення проміжних зупинок, тобто шляхом формування «експрес-маршрутів», які будуть зупинятися тільки на великих пасажироутворюючих пунктах. Під час планування відкриття нових транспортних маршрутів у великих містах і мегаполісах нерідко практикується моделювання за допомогою формування міжрайонних кореспонденцій у міських транспортних системах.

Для моделювання міжрайонних кореспонденцій часто використовується ентропійний підхід, згідно з яким структура випадкового розміщення виникає в процесі масової поведінки, і який є рішенням задачі максимізації ентропії розміщення за наявності стримуючих обмежень. Отримане в результаті розміщення можна інтерпретувати як найбільш ймовірне серед усіх розміщень, прийнятних з погляду стримуючих обмежень і переваг. Універсальність ентропійного підходу полягає в тому, що він дає можливість знайти матрицю реалізацій (розподілів людей по пунктах призначення руху), у якій при заданих обмеженнях і перевагах сумарна ймовірна міра реалізацій максимальна.

Оцінка часу очікування при різних способах організації руху транспортних засобів на маршруті

Підвищення якості обслуговування пасажирів міським транспортом можлива за рахунок мінімізації витрат часу очікування пасажирів транспортних засобів на зупинках на початку поїздки і під час здійснення пересадок. При невідомому розкладі руху транспортних засобів на маршруті тривалість очікування є для пасажирів випадковою величиною, передбачити яку заздалегідь неможливо. За наявності інформації про фактичний час прибуття транспортного засобу на зупинку очікування пасажирів посадки в транспортний засіб першого з відповідних маршрутів буде визначатися тільки особистим ставленням пасажирів до

свого вільного часу у поїзді загалом. Під час розробки нового «експрес-маршруту» було враховано, що шлях пасажирів до зупинки описується найпростішим потоком і має властивості стаціонарності, ординарності і відсутності післядії, а також тим, що пасажир не має інформації про розклад руху. Тому вважали прибуття транспорту на зупинку через рівні інтервали часу без відхилень від графіка. За таких умов середній час очікування пасажирів приймає мінімальне значення, яке дорівнює половині інтервалу.

Під час розгляду іншого варіанту зазвичай виходить так, що відхилення часу прибуття транспорту на зупинку розподіляється за стандартизованим нормальним законом. А неможливість з'єднання автобусів призводить до того, що стандартне відхилення цієї величини розраховується згідно з правилом трьох сигм. Під час спостереження за роботою міського пасажирського транспорту було виявлено, що в багатьох випадках транспортні засоби відправляються від кінцевої зупинки слідом за попереднім транспортним засобом у разі наповнення салону до якогось критичного рівня. В такому разі транспорт відправляється від кінцевої зупинки слідом за попереднім через час, за який салон наповниться до заданого рівня I § 1.

Стаціонарне математичне очікування часу перебування пасажирів на зупинці розраховується як:

$$M(t) = \frac{M(I^2)}{2M(I)} = \frac{I}{2} \times \left(1 + \frac{1}{I}\right), \quad (1)$$

де l – заданий рівень наповнення автобусу, пас.;
 I – інтенсивність потоку пасажирів, пас./хв.

Якщо рівень наповнення салону $l = 10$, а параметр найпростішого потоку $I = 60$ пас./година, тоді середній інтервал відправлення транспортного засобу від зупинки дорівнюватиме 10 хвилин.

Для такого випадку математичне очікування часу перебування пасажирів транспортного засобу на зупинці буде 5 хвилин 30 секунд. Оскільки функція має монотонний характер, то обмеження по часу відправлення транспортного засобу скорочує час очікування пасажирів.

Формування швидкісних маршрутів у міській транспортній системі

Час перебування транспортного засобу під час перевезення від початкового до кінцевого пункту на маршруті M , що включає послідовність дуг із суміжними вершинами, визначається за формулою:

$$T_M = \sum_{(i,j) \in M} T_{ij}(l_{ij}) + k \times T_i^{cp}, \quad (2)$$

де $T_{ij}(l_{ij})$ – час, необхідний транспортному засобу на подолання відстані l_{ij} ;

l_{ij} – довжина перегону (i,j) ;

$L = \sum_{(i,j) \in M} l_{ij}$ – протяжність маршруту M ;

i,j – номери зупинок на маршруті;

$(i,j) \in M$ – ділянка між двома суміжними пунктами маршруту M ;

$k = |M|$ – кількість проміжних зупинок на маршруті;

T_i^{cp} – середній час, що витрачається на посадку і висадку пасажирів на проміжній зупинці на маршруті.

У середньому відстань між зупинками на міському громадському транспорті становить 0,4–0,6 км, при цьому протягом усього маршруту існують різні за обсягом пасажиропотоки. На кожній зупинці транспортний засіб здійснює зупинку і виробляє посадку і висадку пасажирів, тим самим збільшуючи час перебування пасажирів в салоні рухомого складу.

Скорочення часу перебування пасажирів можна досягти за рахунок виключення проміжних зупинок, тобто шляхом формування «експрес-маршрутів», які будуть зупинятися тільки на великих пасажироутворюючих пунктах. Тоді час перебування пасажирів на маршруті буде зменшуватися. Економія від створення «експрес-маршруту» буде складатися з економії часу пасажирів в вартісному вираженні і збільшення доходів від експлуатації транспортного засобу.

Нехай C_{nac} – вартість одиниці часу пасажирів, Δd_{mc} – чистий дохід від експлуатації транспортного засобу в одиницю часу. Нехай відомі величини $P_{M_e}^{min}$ та $P_{M_e}^{max}$ – відповідно мінімальне і максимальне завантаження «експрес-маршруту» під час перевезення, $P^{гран}$ – гранична місткість транспортного засобу експрес-маршруту M_e . Тоді економічно доцільний «експрес-маршрут» M_e буде визначатися під час вирішення завдання:

$$(T_{II}^M - T_{II}^{M_e}) \times \Delta C_{nac} + \Delta d_{mc} \times \Delta T_{mc}^{M_e} \rightarrow \min M_e \quad (3)$$

при обмеженнях:

$$P_{M_e}^{min} \leq \sum_{(i,j) \in M_e} P_{ij} \leq P_{M_e}^{max} \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in M_e} P_{ij} \leq P^{гран}, \quad (5)$$

де $i \in M_e, j \in M_e, i_k \in M_e$ – вершини мережі, за якими проходить «експрес-маршрут».

Обмеження (4) – визначає межі беззбитковості організації «експрес-маршруту», (5) – гранично

допустима кількість пасажирів в транспортному засобі по пунктам проходження за умови використання пасажиром одного транспортного засобу для поїздки. За інших рівних умов фактичне число пасажирів «експрес-маршруту» може тільки збільшуватися за рахунок пересадки пасажирів від транспортних засобів, які підвозять до зупинок «експрес-маршруту». Кількість використуваних автобусів на цьому маршруті залежить від обсягу пасажиропотоку і його розподілу по мережі.

На рис. 1 представлена блок-схема формування «експрес-маршруту». Вихідною інформацією для формування «експрес-маршрутів» є відомості про пасажиропотік – матриця кореспонденції пасажиропотоку.

Забезпечення ефективного проектування транспортних маршрутів міста, зокрема розміщення зупинок, у межах перспективної концепції сталого розвитку транспорту є складною задачею, що вимагає використання сучасних технологій, зокрема геоінформаційних. Саме ці технології допомагають не тільки враховувати різнобічні фактори, а й просторові дані та відображати їх на карті місцевості. Для вирішення завдання з планування розміщення зупинок необхідно враховувати розміщення торгово-розважальних центрів, лікарень, магазинів, житлових масивів, підприємств і навчальних закладів, станцій метрополітену, місць масового відпочинку. Все це було враховано під час створення бази геоданих за допомогою програмного забезпечення ArcMap.

За допомогою ГІС було запроєктовано «експрес-маршрут» від станції метро «Холодна гора» до станції метро «Пушкінська» у місті Харкові. Послідовність планування розміщення зупинок продемонстровано на рисунку 2, де колами відображено буферні зони, а крапками – точки інтересу (POI) [8]. До точок POI відносять різні об'єкти інфраструктури, у тому числі різноманітні елементи транспортної системи: станції метро, зупинки громадського транспорту, вокзали, аеропорти та інші транспортні вузли.



Рис. 1. Блок-схема формування експрес-маршруту транспорту

Зупинки громадського транспорту проектувалися з урахуванням того, що відстань від місця проживання або роботи до зупинки не повинна перевищувати 500 метрів. Проектування зупинок виконувалося за допомогою побудови буферних зон навколо місць роботи та станцій метрополітену – це шість хвилин пішохідної доступності. Зупинки було запроєктовано на перетині цих буферних зон. Таким чином, на прикладі зупинки «Архітектора Бекетова» наочно видно, що в буферній зоні зупинки знаходяться станція метро «Архітектора Бекетова» та чимало офісів та магазинів – основних місць роботи та відпочинку



Рис. 2. Схема планування зупинок на транспортному маршруті

харків'ян (див. рис. 2). Зупинки повинні бути пов'язані з іншими видами громадського транспорту та підприємствами. Завдання з планування зупинок виконувалося за допомогою геоінформаційної системи ArcMap.

Висновки. Проектування регулярності і швидкості пересування транспортних маршрутів за допомогою ГІС-технологій дозволило оцінити час очікування пасажирів транспортних засобів на зупинках за різних способів організації руху та дозволило зменшити витрати часу на очікування.

Було запроєктовано розташування зупинок на запропонованому «експрес-маршруті», який проходить у Холодногірському та Київському районах міста Харкова. Ентропійний підхід дозволив визначити економічну доцільність розробки нового експрес-маршруту. Використання ГІС технологій, а саме програмного продукту ArcGis, для комплексного вирішення цих завдань надасть змогу заощадити значні кошти, покращити обслуговування пасажирів міста за рахунок розробки нових, більш досконалих автобусних маршрутів.

Список літератури:

1. Пасажирський транспорт. URL: <https://traffic.od.ua/news/worldtrans/1198424>.
2. Poile C., Safayeni F. (2016) Using computational modeling for building theory: A double-edged sword. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, № 19 (3), p. 8.
3. Технологія перевезень пасажирів у міському сполученні. URL: <http://studall.org/all-28722.html>.
4. Горбачов П.Ф., Чижик В.М. Аналітична оцінка мінімальних та максимальних витрат часу пасажирів на зупинці міського маршруту. *Автомобільний транспорт*. 2012. С. 67–71.
5. Поморцева О.Є. Використання геоінформаційної системи у проектуванні інфраструктури міста. *Сучасні методи, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Люблін, Республіка Польща, 2017)*. Люблін, 2017. С. 223–226.
6. Федоров В.П., Буличова Н.В., Пахомова О.М., Лосин Л.А. Модель формування міжрайонних кореспонденцій в транспортних системах великих міст. Санкт-Петербург : Изд-во ТОВ «Г-ПРЕСА». 2008. С. 16–17.
7. Буренніков Ю.А., Біліченко В.В., Буренніков Ю.Ю., Цимбал С.В. Стан та перспективи розвитку маршрутної мережі пасажирських перевезень (на прикладі м. Вінниці). *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: збірник тез доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції (Вінниця, 24–26 жовтня 2011) р.* Вінниця, 2011. С. 20.
8. Поморцева О.Є., Герасименко М.Д. Розробка туристичного маршруту за допомогою геоінформаційних технологій. *Системи обробки інформації*. 2019 р. Випуск 1 (156), Харків. С. 37–43.

Pomortseva O.E. INCREASING EFFICIENCY OF DESIGNING A TRANSPORT ROUTE USING A GIS

The article describes new approaches to the design of vehicles and technologies using geographic information systems. Public transport in Ukraine is popular. Buses are especially popular. There are drawbacks to the operation of transport. There are deficiencies in passenger service. This requires the creation of new transportation routes. The population is constantly growing in large cities. Effective transport routes need to be designed. This is an important task. Economic feasibility must be considered.

Modern transport systems are complex. It is necessary to use mathematical methods. It is necessary to use computers, new approaches in calculations and management. These tasks must be solved in steps. There are a number of criteria that must be met. Reducing travel time, reducing the number of transfers, reducing costs – these are the criteria. The time spent by the passenger on the road must be reduced. Creating an express route for the bus will allow this.

Such a route will stop at large passenger-forming points. Routes are developed for large cities. The formation of inter-district correspondence is used. When modeling inter-district correspondence, an entropy approach is used. There are limitations. The random placement structure solves the problem of maximizing entropy. The entropy approach is universal. It consists in finding an implementation matrix. The total possible measure of implementation will be maximum. Public transport stops along the route also need to be designed. Stops were designed taking into account the distance from the place of residence and work. Buffer zones with a radius of 500 meters were taken into account. The geographic information system made it possible to show buffer zones on the map. The geographic information system allowed to attach zones to points of interest. Stops were designed at the intersection of these buffer zones. Stops must be linked to other modes of transport.

The development of new routes is a phased process. It is necessary to develop a route and intermediate stops. Using the geographic information system, an “express route” was developed from the Kholodnaya Gora metro station to the Pushkinskaya metro station in Kharkov. The task was solved comprehensively. ArcGis software allowed us to solve the problem as a whole. It is necessary to develop routes efficiently. This will save money. This will help to better serve passengers.

Key words: *geographic information system, geodatabase, traffic management, express route, point of interest.*

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.391.823

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/39>**Макаренко В.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лукашев О.Ю.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ТОПОЛОГІЇ DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА РІВЕНЬ СТВОРЮВАНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД

У статті наведені результати дослідження основних параметрів DC/DC-перетворювачів, реалізованих за різними топологіями. Оскільки існує велика кількість схемних рішень імпульсних перетворювачів енергії, то основною метою статті було виявлення залежності рівня кондуктивних електромагнітних завад, створюваних при їх роботі, від топології схеми.

Для порівняльного аналізу різних перетворювачів всі досліди проводилися при значенні вихідної напруги 20 В і струмі навантаження 0.2 А, незалежно від того який він – понижуючий, підвищуючий або універсальний. Аналіз роботи перетворювачів у процесі моделювання в середовищі LTspice при інших значеннях вихідної напруги та струму підтвердив отримані при заданих параметрах результати. Для виключення впливу параметрів силових ключів і діодів в усіх розроблених моделях використовувалися ідеалізовані ключі та діоди, а частота комутації в усіх дослідках дорівнювала 100 кГц. Управління значенням вихідної напруги здійснювалося шляхом регулювання тривалості імпульсів управління.

Запропоновані в роботі моделі, розроблені для роботи в середовищі LTspice XVII, дозволяють досліджувати коефіцієнт корисної дії, спектри кондуктивних завад, які створюються при роботі перетворювача, та рівень пульсації вихідної напруги.

Дослідження проводилися для трьох груп DC/DC-перетворювачів залежно від співвідношення вхідної напруги до вихідної. Було розглянуто понижуючі, підвищуючі та понижуючо-підвищуючі перетворювачі. Для кожної з моделей експериментально знаходилися мінімальні та максимальні значення вхідної напруги, за яких перетворювач забезпечував задані параметри вихідної напруги та струму. В межах діапазону зміни вхідної напруги вимірювалися значення коефіцієнта корисної дії, рівень пульсації вихідної напруги та спектр кондуктивних завад струму, який споживається від джерела вхідної напруги.

Проведені дослідження дозволили встановити, як змінюються рівень електромагнітних завад і коефіцієнт корисної дії кожного з перетворювачів в межах робочого діапазону вхідної напруги. Порівняння рівня завад здійснювалося за рівнем найбільшого складника в спектрі струму, що споживається від джерела вхідної напруги.

В результаті проведених досліджень встановлено, що рівень електромагнітних завад, створюваних DC/DC-перетворювачем, здебільшого залежить від обраної топології. Порівняння отриманих для різних моделей результатів для кожної з груп перетворювачів дозволило зробити низку висновків і рекомендацій щодо вибору їх топології.

Ключові слова: кондуктивна завада, спектр, топологія, перетворювач, гальванічна розв'язка, трансформатор, пульсації напруги, моделювання, спектральний складник.

Постановка проблеми. Основним завданням при проектуванні DC/DC-перетворювачів є забезпечення низького рівня вихідних пульсацій напруги та струму (voltage / current ripple), високий коефіцієнт корисної дії (ККД) та оптимізація масо-габаритних характеристик пристрою. Ще

одним важливим параметром будь-якого перетворювача є рівень електромагнітних завад (ЕМЗ), який створюються при роботі таких перетворювачів.

Якщо дослідження вказаних вище параметрів проводилося для окремих типів перетворювачів,

то порівняльний аналіз впливу топології різних типів перетворювачів на рівень ЕМЗ в доступних джерелах відсутній. Отже, проведення такого дослідження дозволить більш обґрунтовано підходити до вибору топології DC/DC-перетворювача для вирішення конкретних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різноманітні методи зменшення ЕМЗ та ККД DC/DC-перетворювачів (такі як технологія розширення спектру чи використання демпферів) описано в джерелах [1–3], але рішення, пов'язані зі зменшенням ЕМЗ шляхом вибору оптимальної топології, фактично не розглядалися. Так, у роботі [4, с. 3] на прикладі топології понижуючого синхронного перетворювача розкривається залежність між режимом управління силовими ключами та ККД перетворювача. Проте дослідження, чи є ця топологія з групи понижуючих перетворювачів найкращою в групі з точки зору рівня створюваних кондуктивних завад, відсутнє. В роботі [5, с. 5] на прикладі повномостового підвищуючо-понижуючого перетворювача проведено аналіз впливу топології вхідного та вихідного фільтрів на рівень ЕМЗ, але не розглянуто вплив топології на рівень ЕМЗ. Отже, дослідження впливу топології перетворювачів на їх енергоефективність та рівень ЕМЗ дозволить сформулювати рекомендації щодо її вибору для досягнення найкращого результату.

Постановка завдання. Провести аналіз впливу топології імпульсних перетворювачів напруги на рівень ЕМЗ, створюваних при його роботі, при одночасному аналізі його найважливіших параметрів, а саме коефіцієнта корисної дії, рівня пульсацій вихідної напруги та діапазону зміни вхідної напруги. На основі проведених досліджень сформулювати рекомендації щодо доцільності використання тієї чи іншої топології перетворювача.

Оскільки теоретичний розрахунок рівня ЕМЗ, створюваний імпульсними перетворювачами напруги, здебільшого практично не можливий, то порівняти властивості перетворювачів можна за допомогою імітаційного моделювання, використовуючи spice-симулятори. Отже, однією з задач дослідження є створення таких моделей перетворювачів, які дозволять досліджувати не тільки форму сигналів, їх значення, але й рівень ЕМЗ, тобто спектр кондуктивних завад, які розповсюджуються проводами від джерела живлення до входу перетворювача.

Матеріал і результати дослідження. Найчастіше для управління силовими ключами DC/DC-перетворювачів використовується широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). Зміна тривалості

імпульсів управління при фіксованому періоді дозволяє регулювати рівень напруги на виході, а автоматичне регулювання тривалості імпульсів залежно від рівня напруги вхідного сигналу та струму навантаження дозволяє забезпечити стабільну роботу перетворювача в широкому діапазоні вхідної напруги.

Будь-який DC/DC-перетворювач містить у своєму складі котушки індуктивності (за виключенням перетворювачів на комутованих конденсаторах), конденсатори і транзисторні ключі. Індуктивність котушки залежить від значення максимального вихідного струму, вхідної та вихідної напруги, частоти комутації силового ключа та рівня пульсацій вихідної напруги. Індуктивність котушок для досліджуваних перетворювачів з урахування рекомендацій наведених у [6, с. 2], розрахована за формулою:

$$L = (U_{\text{вх.макс}} - U_{\text{вих}}) \cdot \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх.макс}}} \cdot \frac{1}{f_{\text{sw}}} \cdot \frac{1}{I_{\text{вих.макс}} - K_{LIR}}$$

де $U_{\text{вих}}$ – напруга на виході перетворювача, K_{LIR} – коефіцієнт пульсацій струму, протікаючого через котушку індуктивності, f_{sw} – частота комутації силових ключів перетворювачів.

Значення частоти комутації силових ключів перетворювачів було обрано однаковим для розглянутих у статті перетворювачів і становило 100 кГц. Значення коефіцієнта K_{LIR} було обрано рівним 0.3, що є компромісом між коефіцієнтом корисної дії перетворювача та тривалістю перехідного процесу при різких змінах вихідного струму. Ємність вихідного конденсатора фільтра розраховано за формулою [6, с. 3]:

$$C = \frac{L}{(\Delta U + U_{\text{вих}})^2 - U_{\text{вих}}^2} \cdot \left(I_{\text{вих.макс}} + \frac{\Delta I_{\text{IND}}}{2} \right)^2,$$

де ΔU – максимально допустима амплітуда пульсацій вихідної напруги, а ΔI_{IND} розраховується за формулою:

$$\Delta I_{\text{IND}} = K_{LIR} \cdot I_{\text{вих.макс}}$$

Значення величини пульсацій вихідної напруги ΔU було обрано однаковим для всіх перетворювачів і дослідів – 100 мВ. В якості ключів було обрано ідеальні компоненти, робота яких не залежить від пікових значень напруги та струму.

На Рис. 1 наведені функціональні схеми понижуючих DC/DC-перетворювачів з різною топологією. Для аналізу роботи перетворювачів всі моделі для дослідження були розроблені для використання в середовищі LTspice XVII.

На Рис. 2 наведена модель понижуючого (чоперного) перетворювача напруги. Для прискорення процесу аналізу в моделі, наведеній на Рис. 2, використані ідеалізовані елементи (аналогічно в усіх розглянутих у статті моделях), параметри яких не змінюються при зміні струму або напруги, а задаються користувачем. Оскільки метою дослідження є порівняння рівня ЕМЗ, то вплив параметрів силових ключів і діодів потрібно виключити, що і реалізується ідеалізованими компонентами.

Початок і тривалість процесу моделювання, а також час початку збереження отриманих результатів задає директива **.tran**. Час початку збереження результатів повинен перевищувати час перехідного процесу після початку роботи перетворювача. Для його вимірювання на першому кроці моделювання задається нульовий час затримки для фіксації результатів моделювання і по часових діаграмах сигналів знаходиться тривалість перехідного процесу. На другому кроці час початку збереження результатів задається на 10-20% більше часу перехідного процесу і проводяться всі дослідження.

Директиви **.model** задають основні параметри ключів (SW) і діодів (D). Для моделювання використані ідеалізовані ключі та діоди, параметри яких фіксовані. Внутрішній опір відкритого ключа та діода дорівнює 0.1 Ом, а падіння напруги на діоді – 0.4 В.

Директива **.four** дозволяє виконати аналіз Фур'є сигналів вхідного струму I(V1) та вихідної напруги V_{OUT}. За допомогою директиви **.meas** обчислюється ККД перетворювача шляхом обробки отриманих при симуляції вихідних даних. Результат присвоюється змінній **eff**, яка відповідає співвідношенню середньоквадратичного значення потужності, що споживається навантаженням, до потужності, що споживається від джерела живлення за формулою: $eff = P_{out}/P_{in}$.

Для коректного порівняння результатів моделювання значення вихідної напруги та струму навантаження задаються однаковими для всіх типів перетворювачів і становлять $U_{вих} = 20$ В, $I_{вих.макс} = 0.2$ А. Діапазон зміни вхідної напруги визначався експериментально для кожного типу перетворювача. Функція ідеального перетворення напруги для цього типу перетворювача визначається за формулою:

$$\frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{t_{on}}{T_s} = D,$$

де T_s – період слідування імпульсів управління, t_{on} – тривалість імпульсу, D – відношення тривалості імпульсів до періоду слідування.

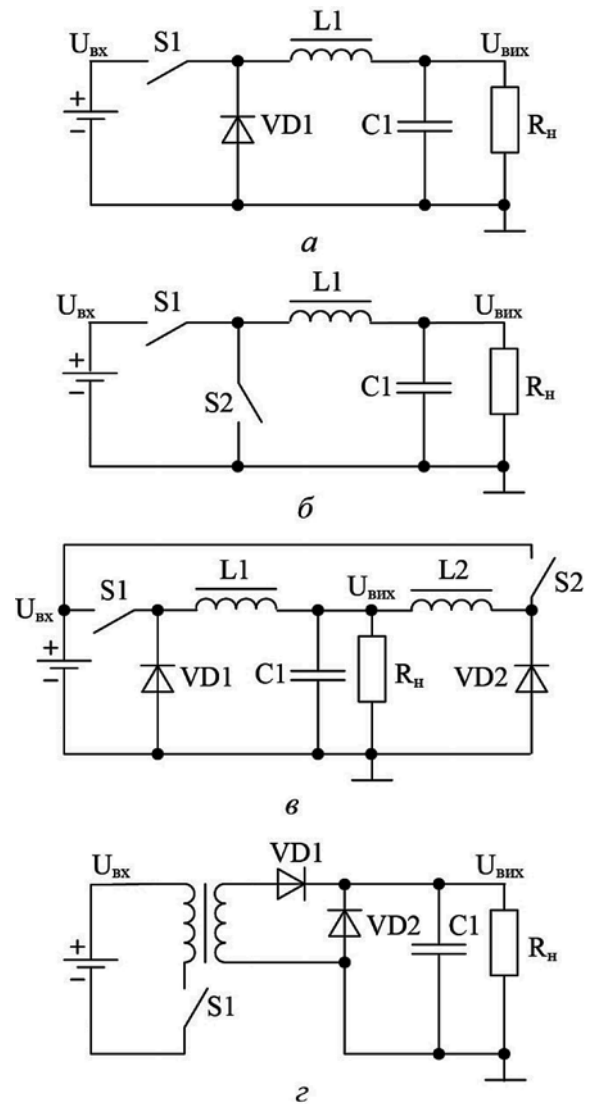


Рис. 1. Функціональні схеми чоперного (а), синхронного (б), двотактного (в) та прямоходового (г) понижуючих перетворювачів

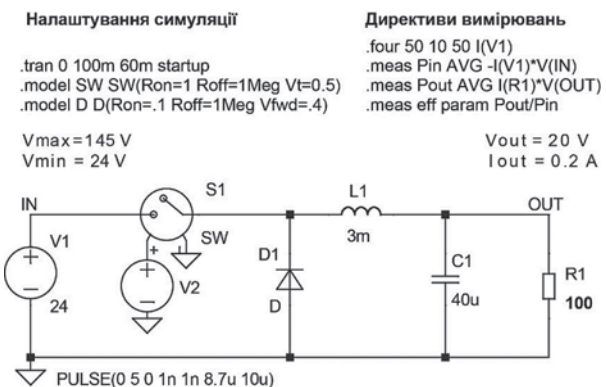


Рис. 2. Модель найпростішого понижуючого (чоперного) DC/DC-перетворювача

Щоб визначити оптимальну з точки зору ЕМЗ топологію в групі понижуючих перетворювачів, було проведено дослідження з метою порівняння

рівня спектральних складників завади для різних перетворювачів понижуючого типу при максимальному та мінімальному значеннях вхідної напруги. Рівень ЕМЗ оцінювався за рівнем найбільшого спектрального складника струму, споживаного від джерела живлення (Рис. 3).

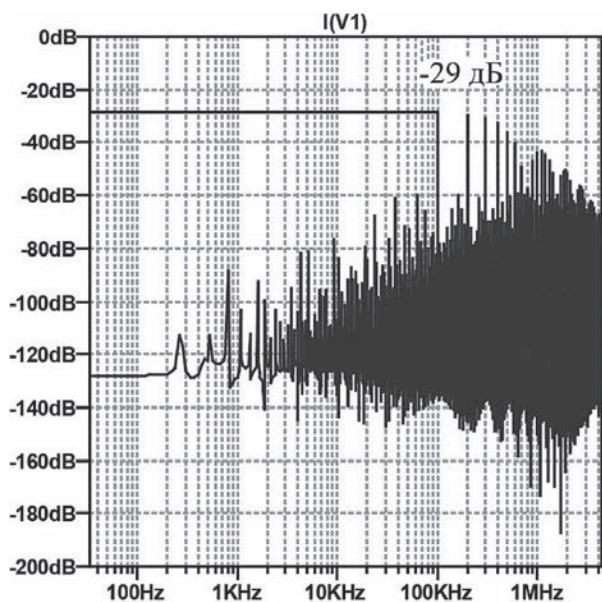


Рис. 3. Спектр вхідного струму понижуючого (чоперного) перетворювача при мінімальній вхідній напрузі

Для кожної з досліджуваних моделей проводилися вимірювання вхідних і вихідних струмів та напруги при мінімальному та максимальному значеннях вхідної напруги. Тривалість імпульсу управління силовими ключами знаходилась експериментально для досягнення максимально широкого діапазону зміни вхідної напруги. В Табл. 1 наведені результати вимірювання

параметрів понижуючих DC/DC-перетворювачів при максимальній та мінімальній вхідній напругах.

Рівень пульсації напруги на виході в жодному з дослідів не перевищував розрахункового, а саме 100 мВ. Це підтверджує правильність розрахунків номіналів елементів досліджуваних моделей. За результатами моделювання найнижчий рівень ЕМЗ має синхронний понижуючий перетворювач.

При максимальній вхідній напрузі рівень завади на 3 дБ, а при мінімальній близько на 1 дБ нижчий порівняно з класичним (чоперним) понижуючим перетворювачем. Спектри сигналів струму, споживаного від джерела живлення, для найгіршого та найкращого випадку наведені на Рис. 4 та 5.

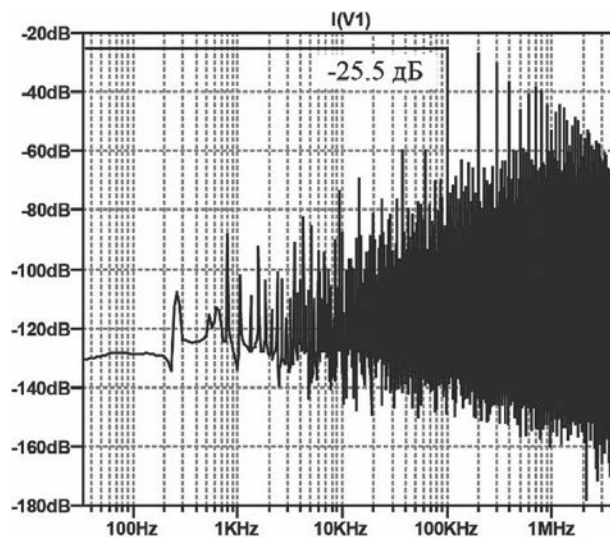


Рис. 4. Спектр струму на вході двофазного понижуючого перетворювача при максимальній вхідній напрузі

Таблиця 1

Результати дослідження перетворювачів понижуючого типу

Топологія	U _{вх} ^н (макс. /мін.) В	ККД, %	Максимальний рівень гармонік завади, дБ		Пульсації вихідної напруги ΔU _{п-п} , мВ	U _{вих} /I _{вих} , В/А
			на вході	на виході		
Понижуючий (чоперний) перетворювач	145	97.7	-28.2	-105	10	20/0.2
	24	98.8	-29	-121	0.1	20/0.2
Синхронний понижуючий перетворювач	202	97.4	-31	-85.5	4	20/0.2
	22.5	98.9	-30	-104	10	20/0.2
Двофазний понижуючий перетворювач	105	97.8	-25.5	-132	1	20/0.2
	24	99.2	-28.2	-115	0.5	20/0.2
Прямоходовий	141	92.5	-27.6	-105	1	20/0.2
	22.9	92.2	-30.5	-123	0.5	20/0.2

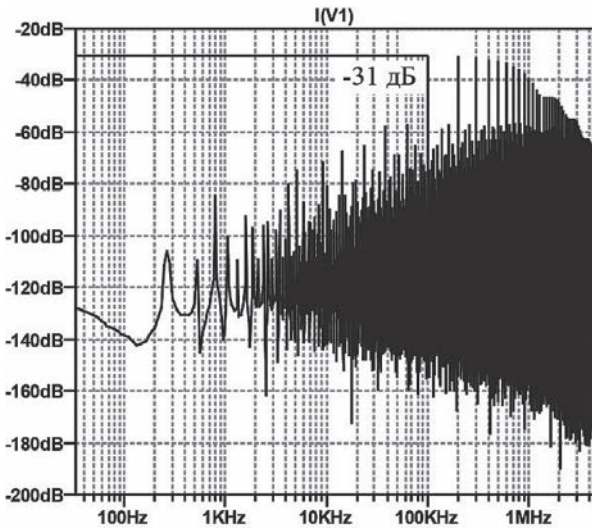


Рис. 5. Спектр струму на вході синхронного понижуючого перетворювача при максимальній вхідній напрузі

Для розробки моделей та аналізу підвищуючих перетворювачів використані функціональні схеми, наведені на Рис. 6.

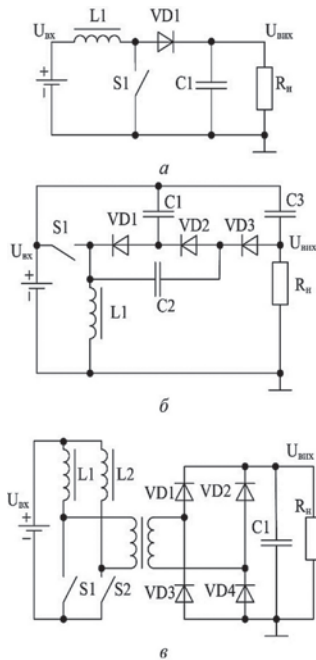


Рис. 6. Функціональні схеми класичного (а), з додатковим конденсатором (б) та із гальванічною розв'язкою (в) підвищуючих DC/DC-перетворювачів

Модель класичного підвищуючого перетворювача для аналізу в середовищі LTspice XVII наведена на Рис. 7.

Функція ідеального перетворення напруги для цього типу перетворювача визначається за формулою:

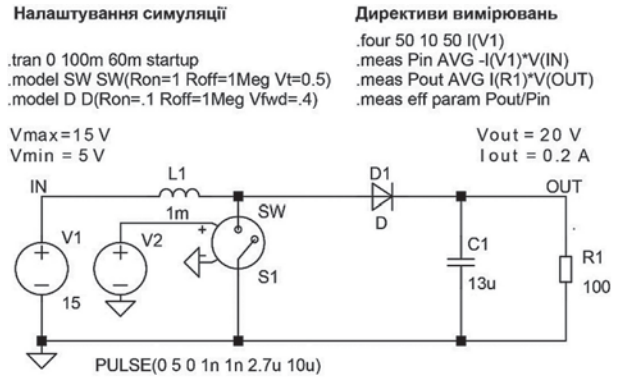


Рис. 7. Модель для дослідження класичного підвищуючого DC/DC-перетворювача

$$\frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{T_s}{T_s - t_{\text{on}}} = \frac{D}{1 - D}$$

Результати вимірювання параметрів прямоходового DC/DC-перетворювача при максимальній і мінімальній вхідній напругах наведені в Табл. 2.

Так, перетворювач із додатковим конденсатором має найнижчий ККД, забезпечує найнижчий рівень ЕМЗ, що на 15-20 дБ менше, ніж в інших перетворювачів.

Спектри сигналів струму на вході підвищуючого перетворювача із додатковим конденсатором і класичного підвищуючого перетворювача наведені на Рис. 8 і 9.

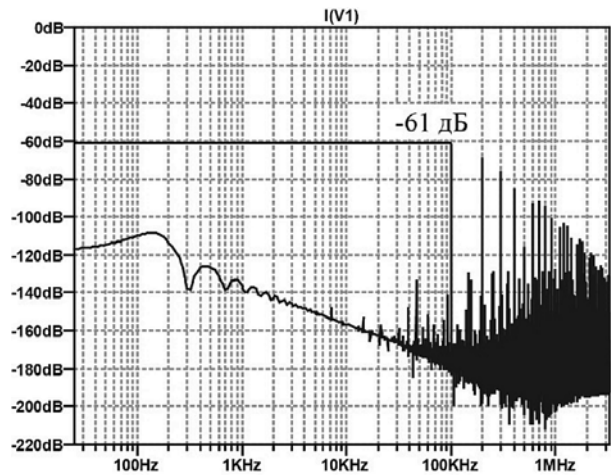


Рис. 8. Спектр струму на вході підвищуючого перетворювача із додатковим конденсатором при максимальній вхідній напрузі

Навіть характер спектру значно відрізняється для вказаних типів перетворювачів. У підвищуючого перетворювача із додатковим конденсатором спектр спадає зі швидкістю 6 дБ/октаву, починаючи з частоти 200 Гц, що і забезпечує найнижчий

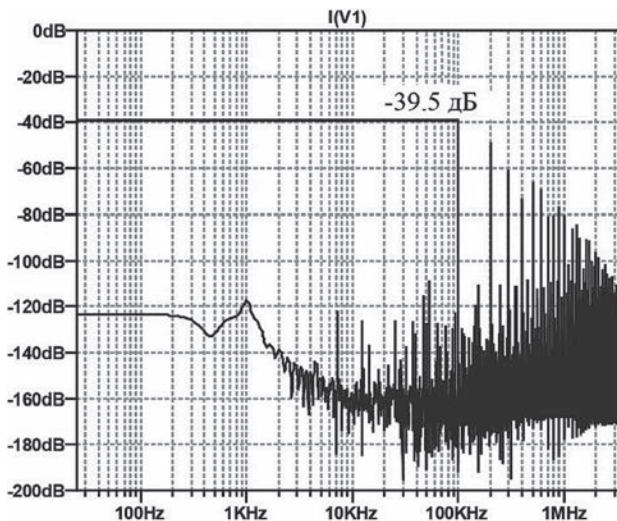


Рис. 9. Спектр струму на вході класичного підвищуючого перетворювача при максимальній вхідній напрузі

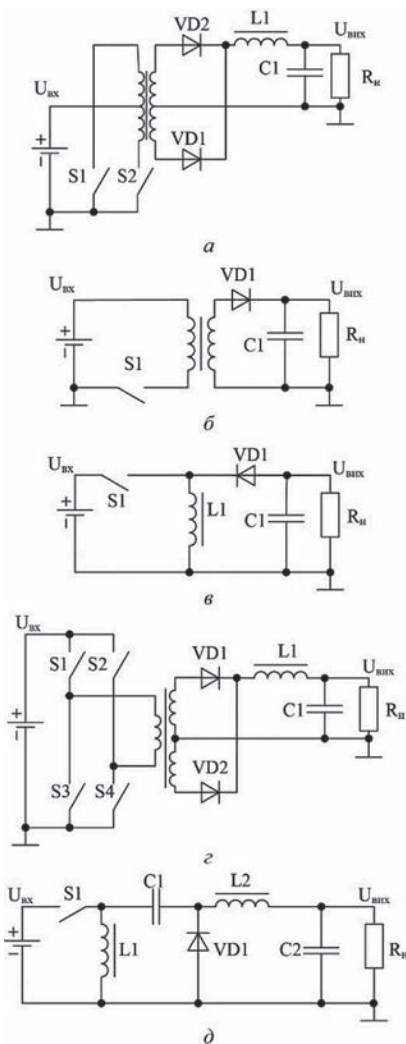


Рис. 10. Функціональні схеми двотактного (а), зворотньо-ходового (б), інвертуючого (в), повномостового (г) та Zeta (д) підвищуючо-понижуючих перетворювачів

рівень завади. Понижуючо-підвищуючі перетворювачі залежно від коефіцієнта заповнення імпульсів управління можуть як підвищувати, так і знижувати вихідну напругу відносно вхідної.

На Рис. 10 наведені функціональні схеми понижуючо-підвищуючих перетворювачів деяких типів.

Модель двотактного прямоходового понижуючо-підвищуючого перетворювача для аналізу в середовищі LTSpice XVII наведена на Рис. 11.

```

Налаштування симуляції
.tran 0 100m 60m startup
.model SW SW(Ron=1 Roff=1Meg Vt=0.5)
.model D D(Ron=.1 Roff=1Meg Vfwd=.4)

Vmax=102 V
Vmin = 15 V

Директиви вимірювань
.four 50 10 50 I(V1)
.meas Pin AVG -(V1)*V(IN)
.meas Pout AVG I(R1)*V(OUT)
.meas eff param Pout/Pin

Vout = 20 V
Iout = 0.2 A
    
```

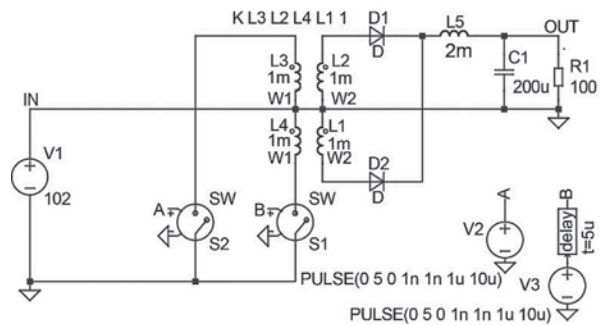


Рис. 11. Модель двотактного прямоходового понижуючо-підвищуючого перетворювача

Функція ідеального перетворення напруги для цього типу перетворювача визначається за формулою:

$$\frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = 2 \frac{W_2}{W_1} \left(\frac{t_{\text{on}}}{T_s} \right) = 2D \frac{W_2}{W_1},$$

де W_2 та W_1 – кількість витків обмоток трансформатора.

Результати вимірювання параметрів понижуючо-підвищуючих DC/DC-перетворювачів при максимальній і мінімальній напругах вхідного сигналу наведені в Табл. 3.

Всі перетворювачі цієї групи мають низький рівень пульсацій напруги на виході і не перевищують розрахунковий максимум у 100 мВ. З точки зору ККД всі перетворювачі, крім інвертуючого та повномостового, при мінімальній вхідній напрузі мають високий рівень ефективності (вище 96%) на всьому діапазоні зміни вхідної напруги. З точки зору ЕМЗ кращим є двотактний понижуючо-підвищуючий перетворювач. При мінімальній вхідній напрузі в режимі підвищення вхідної напруги він створює рівень завад на 20 дБ менше відносно зворотньо-ходового перетворювача в

такому ж режимі роботи. Найгірший результат було отримано при мінімальному значенні вхідної напруги для перетворювача типу Zeta. Спектри сигналів струму на вході для перетворювача типу

Zeta та двотактного перетворювача наведені на Рис. 12 і 13.

На Рис. 14 наведені графіки залежності рівня гармонік завади від рівня вхідної напруги

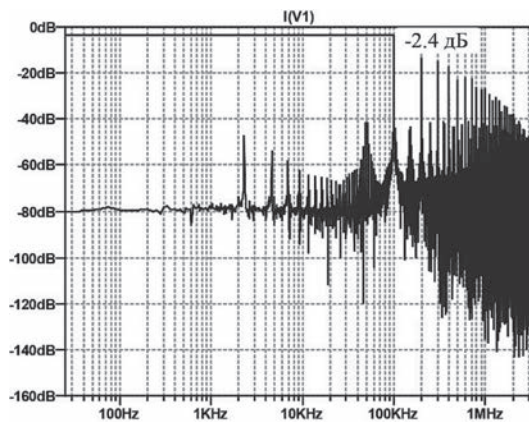


Рис. 12. Спектр струму на вході підвищуючо-понижуючого перетворювача типу Zeta при мінімальній вхідній напрузі

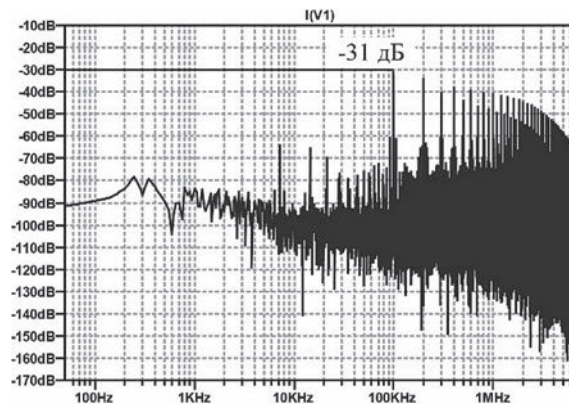


Рис. 13. Спектр струму на вході підвищуючо-понижуючого двотактного перетворювача при мінімальній вхідній напрузі

Таблиця 2

Результати дослідження перетворювачів підвищуючого типу

Тип перетворювача	$U_{вх}$, (макс. / мін.) В	ККД, %	Максимальний рівень гармоніки завади, дБ		$\Delta U_{внх'п-п}$, мВ	$U_{внх'}/I_{внх'}$, В/А
			на вході	на виході		
Класичний підвищуючий перетворювач	15	97.4	-39.5	-79	20	20/0.2
	5	81.6	-41.61	-69.7	60	
Підвищуючий перетворювач із гальванічною розв'язкою	10.5	92.0	-45.6	-87.9	10	
	5.76	85.3	-26.2	-82	20	
Підвищуючий перетворювач із додатковим конденсатором	15.8	84.7	-61	-82	10	
	6.7	74.9	-58.6	-71.7	20	

Таблиця 3

Результати дослідження понижуючо-підвищуючих перетворювачів

Тип перетворювача	$U_{вх}$, (макс. / мін.) В	Режим роботи	ККД, % при $U_{вх}$ макс. / мін.	Макс. рівень гармоніки завади, дБ		$\Delta U_{внх'п-п}$, мВ	$U_{внх'}/I_{внх'}$, В/А
				на вході при $U_{вх}$ (макс. / мін.)	на виході при $U_{вх}$ (макс. / мін.)		
Двотактний	102/21	Пониж.	98.6/90.6	-25.7/-30.3	-133/-280	1	20/0.2
	19/15	Підвищ.	92.3/96.1	-30.5/-31	-220/-159	1	
Зворотньо-ходовий	184/21	Пониж.	97.8/97.8	-30/-14	-88/-73	10	
	19/4.3	Підвищ.	97.6/97	-13.4/-11	-72.1/-69	80	
Інвертуючий	184/21	Пониж.	96.8/95.9	-30/-14.8	-98/-82.9	5	
	19/4.3	Підвищ.	95.2/51.1	-13.6/-11	82.1/-79.1	10	
Повномостовий	65/21	Пониж.	96.2/94.3	-21.6/-17.8	-120/-134	90	
	19/15	Підвищ.	94.3/94.0	-18.1/-26.6	-138/-150	3	
Zeta перетворювач	34/21	Пониж.	92.4/90.0	-14.9/-11.2	-65.5/-63.3	80	
	19/6	Підвищ.	88.3/69.2	-9.3/-2.4	-63/-61	100	

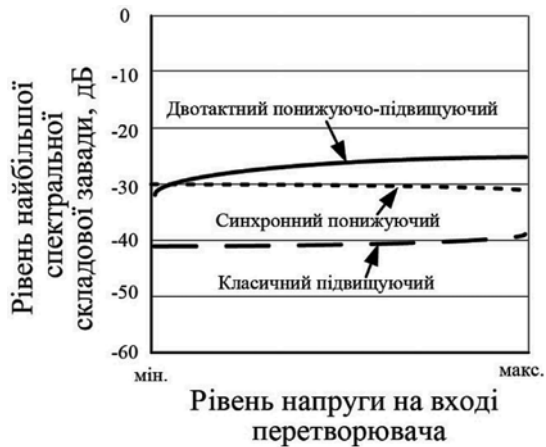


Рис. 14. Залежності рівня гармонік завади від рівня вхідної напруги в спектрі вхідного струму

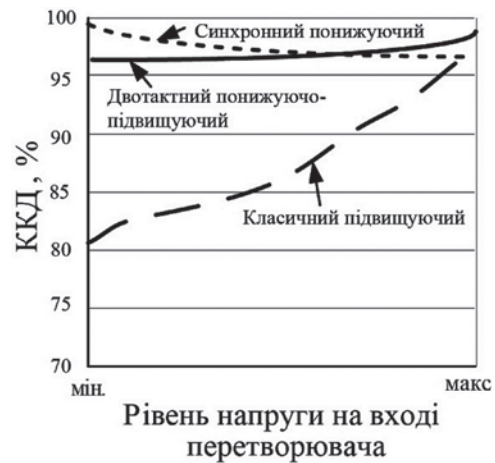


Рис. 15. Залежності ККД від рівня вхідної напруги перетворювачів різного типу

в спектрі вхідного струму для різних типів перетворювачів із найкращими показниками ЕМЗ, а на Рис. 15 – залежність ККД тих же перетворювачів від рівня вхідної напруги.

З наведених графіків вбачається, що найвища залежність ККД від вхідної напруги спостерігається у підвищуючого DC/DC-перетворювача, в той час як у перетворювачів іншого типу ця залежність виражена набагато менше. Рівень ЕМЗ здебільшого залежить від типу перетворювача –понижуючого, підвищуючого чи універсального, а в межах одного типу ця залежність менш виражена, крім універсального перетворювача. Аналіз роботи перетворювачів у процесі моделювання в середовищі LTspice при інших значеннях вихідної напруги та струму підтвердив отримані при заданих для дослідів параметрах результати.

Висновки. Під час досліджень було проаналізовано три функціонально різні групи імпульсних перетворювачів постійної напруги. За результатами аналізу можна зробити висновки про потенційні можливості перетворювачів, побудованих за різною топологією:

1. Рівень створюваних DC/DC-перетворювачем завад здебільшого залежить від його топології.
2. Найкращі параметри як за рівнем ЕМЗ, так і за ККД і діапазоном вхідної напруги забезпечує

синхронний перетворювач у групі понижуючих перетворювачів.

3. У групі підвищуючих перетворювачів найнижчий рівень ЕМЗ забезпечує перетворювач із додатковим конденсатором, але ККД такого перетворювача не перевищує 85% у найкращому випадку. Більш збалансований за параметрами класичний підвищуючий перетворювач. Він забезпечує ККД до 97.4%, але рівень ЕМЗ більший на 17 дБ порівняно з перетворювачем із додатковим конденсатором.

4. У групі підвищуючо-понижуючих перетворювачів найкращі характеристики за всіма параметрами забезпечує двотактний прямоходовий перетворювач.

5. Перетворювачі з двома ключами забезпечують більш високий ККД незалежно від того, встановлено максимальне чи мінімальне значення вхідної напруги. Це пояснюється тим, що наявність двох ключів покращує відбір вхідної потужності протягом всього робочого циклу.

6. Наведені в роботі результати дозволяють оцінити потенційні можливості перетворювачів, реалізованих за різними топологіями, і зробити обґрунтований вибір топології залежно від вимог до перетворювача.

Для більш точної оцінки потенційних можливостей перетворювачів постійної напруги необхідно додатково провести дослідження залежності рівня ЕМЗ від швидкості перемикання силових ключів і від типу транзисторів для їх реалізації.

Список літератури:

1. Макаренко В.В. Топология импульсных преобразователей постоянного напряжения. *Электронные компоненты и системы*. 2007. № 1. С. 27–32.
2. Макаренко В., Пилинский В. Анализ эффективности использования технологии Spread Spectrum для снижения уровня кондуктивных помех DC/DC-преобразователей. *Електротехнічні і комп'ютерні системи*. 2017. № 24. С. 98–104.

3. Fang Lin Luo, Hong Ye. *Advanced DC/DC converters*. CRC Press. 2004. 762 p.
4. Nowakowski R., Ning T. Efficiency of synchronous versus nonsynchronous buck converters. *Analog Applications Journal*. 2009. P. 15–20.
5. Nadler A. EMC & Efficiency Optimization of High Power DC/DC Converters. *Würth Elektronik*. 2018. 12 p.
6. Мельниченко А. Методика расчета понижающего преобразователя напряжения. *Электронные компоненты и системы*. 2011. № 11. С. 24–29.
7. Кадацкий А.Ф., Русу А.П. Анализ принципов построения и режимов работы импульсных преобразователей электрической энергии. *Практическая силовая электроника*. 2016. № 2(62). С. 10–24.
8. Петров С. Двухтактный повышающий преобразователь: развитие топологии. *Силовая электроника*. 2015. № 1. С. 44–50.

Makarenko V.V., Lukashev O.Yu. THE INFLUENCE OF DC/DC CONVERTER TOPOLOGY ON THE LEVEL OF CREATED ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE

The article presents the results of the study of the basic parameters of DC/DC converters, implemented according to different topologies. Since there are a large number of circuit solutions of impulse energy converters, the main purpose of the article was to identify the dependence of the level of conductive electromagnetic interference created during their operation on the circuit topology.

For comparative analysis of different converters, all experiments were carried out at a value of the output voltage of 20 V and a load current of 0.2 A, regardless of whether it is a step-down, step-up or universal. The analysis of the operation of the converters in the process of modeling in the LTspice environment at other values of the output voltage and current confirmed the results obtained at the given parameters, the results. In order to eliminate the influence of the parameters of the power switches and diodes in all the developed models, idealized switches and diodes were used, and the switching frequency in all experiments was equal to 100 kHz. The output voltage was controlled by controlling the duration of the control pulses.

Models designed to work in LTspice XVII offer the ability to investigate the efficiency, the conductive noise spectra of the converter, and the level of output voltage ripple. Studies were conducted for three groups of DC/DC converters depending on the ratio of the input voltage to the output. Down, up, down and down converters were considered.

For each model, there were experimentally minimum and maximum values of the input voltage at which the converter provided the specified parameters of the output voltage and current. At the boundaries of the range of change of the input voltage, the values of the efficiency, the level of ripples of the output voltage and the range of conductive noise interferences consumed from the source of the input voltage were measured.

The conducted researches have allowed to establish how the level of electromagnetic interference and the efficiency of each of the converters within the working range of the input voltage are changing. Noise level comparisons were made on the level of the largest component in the current spectrum.

Key words: *conductive interference, spectrum, topology of converter, galvanic isolation, transformer, voltage ripple, modelling, spectral component.*

Макаренко В.В.

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

Савченко Ю.Г.

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

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДЛИШКОВОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АНАЛОГОВОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

У статті наведені результати дослідження шляхів побудови надійних систем обробки аналогових сигналів з використанням елементів невисокої надійності. Проведений порівняльний аналіз методів побудови надійних систем з використанням резервування окремих елементів систем за різними алгоритмами.

Запропоновано виявляти несправність в одному з каналів системи з резервуванням шляхом порівняння огинаючої цих сигналів. Інші методи виявлення різниці у сигналах резервних та основного каналів обробки аналогової інформації або потребують дуже значних апаратних та обчислювальних витрат, що призводить до подорожчання системи та зниження її надійності, або не дозволяють достовірно встановити цю різницю. Це пояснюється тим, що завжди існує розбіжність амплітудно-частотних і фазо-частотних характеристик вузлів, виконаних по однакових схемах.

Показано, які труднощі виникають при виявленні непрацездатної ланки системи аналогової обробки інформації на ранній стадії, що пов'язано з необхідністю виділення огинаючої аналогового сигналу. При виділенні огинаючої використовуються фільтри нижніх частот для послаблення складників сигналу, що призводить до інерційності системи виявлення несправності. Показано, яким чином можна виділити огинаючу сигналу довільної форми без використання фільтрів нижніх частот.

Запропоновано дві структури систем із резервуванням: одна – з повною обробкою сигналів у кожному з основних і резервного каналів, інша – з обробкою сигналу на виході всієї системи резервування. Наведена модель для дослідження властивостей системи резервування для обробки аналогової інформації. Результати моделювання підтвердили раціональність підходу з точки зору спрощення системи виявлення несправностей і управління резервними каналами. На основі проведених досліджень сформульовані висновки.

Ключові слова: надійність, резервування, відмовостійкість, огинаюча, детектор, моделювання, Multisim.

Постановка проблеми. Методи забезпечення відмовостійкості з використанням резервування очевидні з точки зору підтвердження досягнутого рівня відмовостійкості. Цим і пояснюється їх широке застосування при створенні сучасних відмовостійких комп'ютерів і комп'ютерних систем. Однак застосування подібних методів для підвищення надійності аналогових систем обробки інформації не висвітлені в літературі і інших публікаціях з проблем надійності. В той же час використовуються системи як з аналоговою, так і цифровою обробкою сигналів. Тому пошук прийнятних методів підвищення надійності аналогових систем є важливим завданням інжинірингу при створенні надійних систем із ненадійних елементів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі методи введення структурної надлишковості [1, 2] виникли та широко застосовуються здебільшого для створення високонадійної цифрової апаратури у випадках, коли її обслуговування (ремонт і відновлення компонентів є проблематичним або за умов експлуатації взагалі виявляється неможливим). В цьому випадку процедури (алгоритми) відновлення сигналів є досить простими та легко можуть бути реалізовані апаратно або програмно, навіть коли компонентами структури є комп'ютери або інші досить складні цифрові пристрої. Загалом різноманіття таких алгоритмів, які натеper застосовуються практично, зовсім невелике і за рівнем популярності може бути обмежене двома процедурами,

які підтримуються зокрема апаратурою фірми Tandem [3].

Мабуть, перше місце за розповсюдженням слід віддати вже класичним мажоритарним структурам (лінія Integrity). В цьому випадку один компонент структури замінюється трьома компонентами (Рис. 1а), а вихідні сигнали компонентів подаються на так званий відновлюючий орган (ВО), який утворює вихідний сигнал структури як результат «голосування» входів за правилом простої більшості. Така організація структури за рахунок 3-кратної надлишковості дозволяє зберегти працездатність структури при відмові будь-якого з трьох компонентів і з цієї точки зору є відмовостійкою.

Відновлюючий орган у структурі лінії Integrity для однобітових сигналів виконує так звану мажоритарну логічну функцію:

$$y = x_1 \# x_2 \# x_3 = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3,$$

де символи x_1, x_2, x_3 y – двійкові сигнали, які приймають значення 0 або 1.

Структура лінії Tandem NonStop передбачає 4-кратну надлишковість (Рис. 1б), а обробка сигналів відбувається одночасно двома «парами». При неспівпадінні значень сигналів в одній із пар відповідна пара миттєво відключається від утворення результату на виході структури. При застосуванні методу в цифровій апаратурі, наприклад для однобітових сигналів, реалізація процедури відновлення не викликає проблем і може (як один із варіантів) бути реалізована теж мажоритарною функцією:

$$y = x_1 \# x_2 \# x_3 \# x_4 = x_1x_2x_3 + x_1x_2x_4 + x_1x_3x_4 + x_2x_3x_4.$$

Така спрощена функція відновлення в явному вигляді не враховує вимогу «миттєвого відключення» пари з неспівпадаючими сигналами. Реалізація цієї вимоги не завжди є простою і залежить від подальшого використання вихідних сигналів структури. Наприклад, коли йдеться про керуючі сигнали, які надходять на реальні фізичні об'єкти, то участь сигналів від пари з неспівпадаючими сигналами має бути надійно заблокована.

Постановка завдання. Метою досліджень є пошук технічних рішень для створення сучасних відмовостійких систем обробки аналогової інформації.

Матеріал і результати досліджень. Структурна надлишковість може бути введена на таких рівнях організації системи:

- на рівні елементів;
- на рівні функціональних блоків;
- на рівні підсистем.

Перспективним є введення структурної надлишковості на рівні функціональних блоків. Принцип побудови системи з такою надлишковістю зводиться до такого:

- система розбивається на функціональні блоки;
- надлишковість розподіляється між блоками;
- кожний блок будується по мажоритарному принципу – у вигляді непарного числа паралельних однотипних гілок, виходи яких подаються на відновлюючий орган, який приймає рішення за правилом більшості.

ВО перешкоджає проходженню сигналів з помилками в наступні блоки шляхом підключення іншої паралельної гілки до виходу замість тієї, в якій виникли помилки. Розподіл надлишковості повинен бути таким, щоб забезпечувалася однакова надійність усіх резервованих блоків. Такий вид резервування належить до роздільного при постійно включеному резерві [2].

Автори розглядають, як подібні структури можуть бути використані у випадках відновлення аналогових, а не цифрових (двійкових) сигналів. Зрозуміло, що насамперед необхідно визначити власне функції, які виконують відновлюючі органи, та способи їх реалізації.

Необхідно також звернути увагу на принципову відмінність між цифровими (двійковими) та аналоговими сигналами. У випадку мінімально можливого рівня резервування, коли один пристрій (схема) замінюється двома пристроями, коли сигнали на їх виходах стають різними, цей факт легко виявити та зафіксувати. Але коли це двійкові сигнали 0 та 1 або 1 та 0, не існує способу визначити, який з них правильний, а який – хибний. Тому про

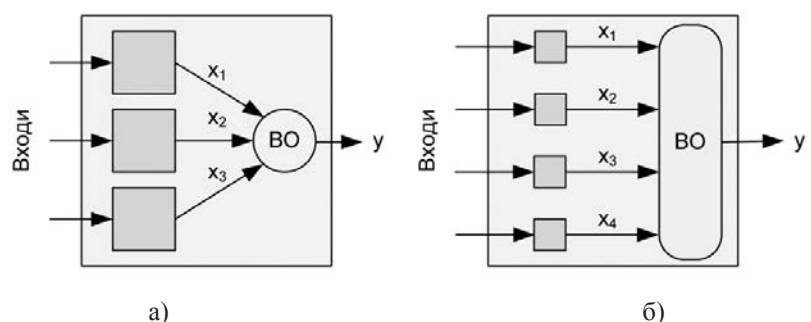


Рис. 1. Класичні мажоритарні структури лінія Integrity (а) та лінія Tandem NonStop (б)

відновлення правильного сигналу не може бути й мови, і 2-кратна надлишковість застосовується лише як засіб функціонального контролю технічного стану обладнання та підвищення достовірності результатів обробки сигналів. Саме тому рівень 2-кратної надлишковості для забезпечення відмовостійкості не розглядається.

Інша справа – аналогові сигнали. Виявити «неправильний» сигнал, який свідчить про несправність відповідної схеми, для аналогових сигналів здебільшого можна на основі аналізу їх фізичних параметрів. Тобто при мінімально можливому рівні надлишковості (2-кратному) вже можливо визначити, який із двох пристроїв формує хибний сигнал.

Слід зазначити, що основною проблемою при побудові систем відновлення аналогових сигналів є виявлення зникнення (пропадання) аналогового сигналу в каналі його обробки для включення резервного каналу. За основу в якості критерію можна прийняти миттєве значення огибаючої аналогового сигналу. Такий критерій дозволить з великою вірогідністю виявити зникнення модульованих аналогових сигналів з амплітудною (АМ), частотною (ЧМ) чи фазовою (ФМ) модуляцією.

Однак для немодульованих аналогових сигналів ця задача ускладнюється тим, що в сигналі можуть бути паузи, тобто коли рівень сигналу знижується до рівня шуму. У випадку таких сигналів потрібно вводити інерційний елемент, який дозволить залишати в роботі основний канал обробки сигналів, а не перемикати його на резервний при зменшенні рівня сигналу нижче заданого порогового значення. В цьому випадку ситуація стає ще складнішою, бо треба знати характер аналогового сигналу. Наприклад, мовний і музичний сигнали значно відрізняються не тільки спектральним складом, а й динамікою зміни огибаючої цих сигналів. Навіть для різних жанрів музики будуть спостерігатися значні відмінності. Якщо це сигнали, які надходять від сенсорів, то в них буде зовсім інша динаміка зміни огибаючої.

Автори розглядають найбільш простий з точки зору «пропадання» випадок сигналу з частотною модуляцією. Для реалізації системи резервування такого сигналу можна спробувати використати структуру лінії Integrity. На Рис. 2 наведена спрощена структура системи резервування ЧМ-сигналів. Система складається з трьох ідентичних блоків обробки аналогових сигналів БО1-БО3, трьох аналогових ключів S1-S3 та блока формування сигналів управління z1-z3.

В кожному з каналів обробки з аналогового сигналу виділяється огибаюча за допомогою детекторів огибаючої ДО1-ДО3. Напруга, сформована на виході детекторів огибаючої, попарно порівнюється між собою за допомогою диференційних підсилювачів ДП1-ДП3. Підсилена різниця напруги сигналів $U_{П1}-U_{П3}$ надходить на входи трьох компараторів К1-К3. Схема управління на основі значення змінних $x1-x3$ на виходах компараторів формує сигнали управління аналоговими ключами S1-S3. Якщо сигнали в кожному з каналів ідентичні, то змінна $z1$ приймає значення логічної «1» і замикається ключ S1. На вихід надходить сигнал з виходу БО1, тобто U_1 .

Автори розглядають найбільш простий з точки зору «пропадання» випадок сигналу з частотною модуляцією. Для реалізації системи резервування такого сигналу можна спробувати використати структуру лінії Integrity. На Рис. 2 наведена спрощена структура системи резервування ЧМ-сигналів. Система складається з трьох ідентичних блоків обробки аналогових сигналів БО1-БО3, трьох аналогових ключів S1-S3 та блока формування сигналів управління $z1-z3$.

В кожному з каналів обробки з аналогового сигналу виділяється огибаюча за допомогою детекторів огибаючої ДО1-ДО3. Напруга, сформована на виході детекторів огибаючої, попарно порівнюється між собою за допомогою диференційних підсилювачів ДП1-ДП3. Підсилена різниця напруги сигналів $U_{П1}-U_{П3}$ надходить на входи трьох компараторів К1-К3. Схема управління на основі значення змінних $x1-x3$ на виходах компараторів формує сигнали управління аналоговими ключами S1-S3. Якщо сигнали в кожному з каналів ідентичні, то змінна $z1$ приймає значення логічної «1» і замикається ключ S1. На вихід надходить сигнал з виходу БО1, тобто U_1 .

Автори розглядають різні випадки співвідношення рівнів сигналів в різних каналах. Перший випадок. Сигнал у першому каналі обробки зменшився за амплітудою або відсутній. Тоді $U_1 < U_2$ і одночасно $U_1 < U_3$. Напруга на виході детекторів огибаючої $U_{Д1} < U_{Д2}$ і $U_{Д1} < U_{Д3}$. Диференційні підсилювачі порівнюють напругу з виходів детекторів огибаючої. За умови, що $U_{Д1} \approx U_{Д2} \approx U_{Д3}$ значення напруги на виході підсилювачів ДП1-ДП3 буде незначним (залежить від коефіцієнта підсилення ДП). Напруга з виходу кожного ДП порівнюється за допомогою компараторів К1-К3 з опорною напругою $U_{ОП1}$, яка формується джерелом опорної напруги (ДОН1).

Для прикладу, який розглядається, різниця $U_{д2} - U_{д1}$ стане більшою ніж $U_{оп1}$ і на виході першого компаратора буде сформована змінна $x_1 = 1$. Аналогічне значення прийме і змінна x_3 . Оскільки $U_{д2} \approx U_{д3}$, то $x_2 = x_4 = 0$. Інші випадки аналізуються аналогічно. Схема управління повинна формувати значення змінних так, як показано в Табл. 1.

На основі даних Табл. 1 можна скласти рівняння для змінних управління ключами спрощеної схеми (без урахування випадку $U_c < U_{оп2}$). Вони приймають такі значення:

$$\begin{aligned} z_{1c} &= \overline{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}, \\ z_{2c} &= \overline{x_1 + x_2 + \overline{x_3} + x_4}, \\ z_{3c} &= \overline{x_1 + x_2 + x_3 + \overline{x_4}}. \end{aligned}$$

Випадок, коли напруга на виході суматора (Σ) стає нижчою за значення напруги на виході другого джерела опорної напруги $U_{оп2}$, відповідає аварійному стану, тобто сигнали в усіх каналах є

нижчими визначеного рівня. Від виходу відключаються всі канали обробки сигналів. Сигнали управління ключами блокуються за допомогою логічних елементів І, на входи яких подається блокуючий сигнал логічного «0», що формується на виході компаратора К5, як показано на Рис. 3.

З урахуванням випадку, коли $U_c < U_{оп2}$, вирази для змінних управління будуть мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} z_1 &= x_5 (\overline{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}), \\ z_2 &= x_5 (\overline{x_1 + x_2 + \overline{x_3} + x_4}), \\ z_3 &= x_5 (\overline{x_1 + x_2 + x_3 + \overline{x_4}}). \end{aligned}$$

Значенням вихідного сигналу відповідають рівнянням:

$$U_{вих} = z_1 U_1 + z_2 U_2 + z_3 U_3$$

Повна функціональна схема системи резервування, яка наведена на Рис. 3, реалізує рівняння,

Таблиця 1

Таблиця відповідності сигналів управління ключами наявності сигналів в каналах обробки

Змінні	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	z_1	z_2	z_3
$U_1 = U_2 = U_3, U_c > U_{оп2}$	0	0	0	0	1	1	0	0
$U_1 < U_2, U_1 < U_3, U_c > U_{оп2}$	0	1	1	0	1	0	1	0
$U_1 < U_3, U_2 < U_3, U_c > U_{оп2}$	0	0	1	1	1	0	0	0
$U_c < U_{оп2}$	*	*	*	*	0	0	0	0

* змінна приймає будь-яке значення

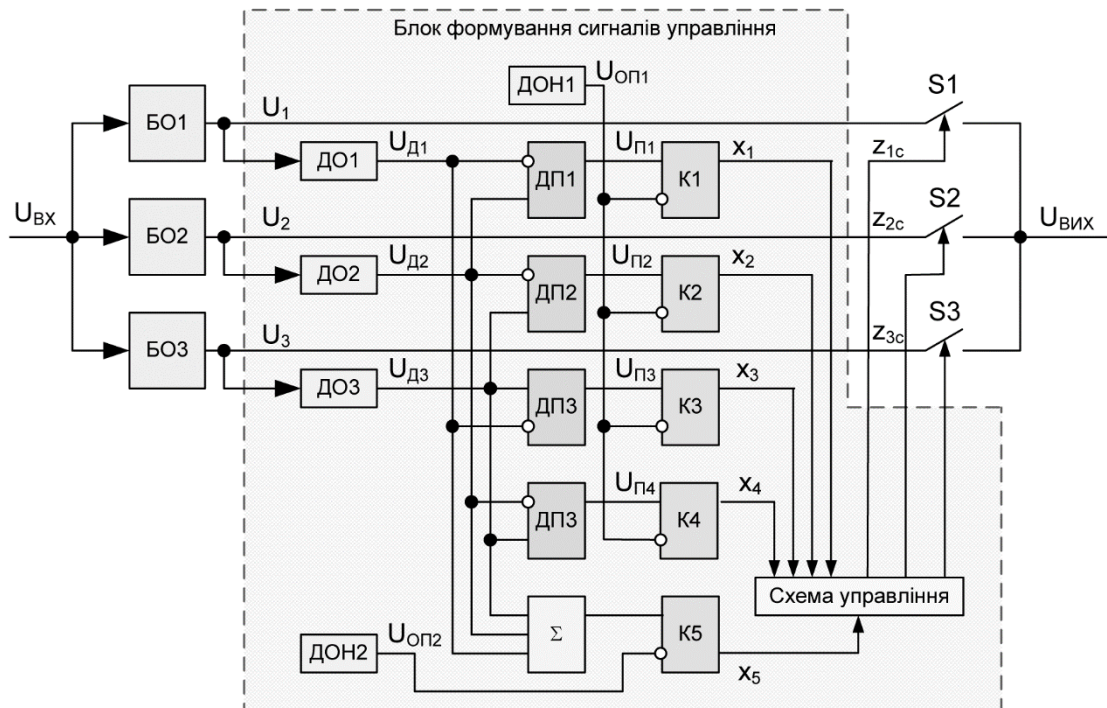


Рис. 2. Спрощена функціональна схема системи резервування ЧМ-сигналі

що описує $U_{\text{вих}}$. Наведена функціональна схема хоч і дозволяє здійснювати резервування аналогових сигналів, але є досить складною і містить значну кількість компонентів. Найбільш складним вузлом такої системи є детектор огинаючої навіть для найбільш простого випадку резервування модульованих сигналів.

Варіант спрощеної функціональної схеми 4-кратного резервування з одним каналом детектування несправності наведений на Рис. 4.

Блоки обробки аналогових сигналів підключаються до виходу системи за допомогою аналогового мультиплексора (AMS). Управляється AMS дворозрядним кодом, який знімається з виходів двійкового лічильника СТ2. При включенні живлення на виході схеми початкового встановлення (СПВ) формується короткий імпульс, що встановлює лічильник СТ2 у початковий стан. Тобто сигнали на його виходах Q0 та Q1 дорівнюють

«0», а AMS під'єднане до виходу системи вихід БО1. Вихідний сигнал AMS подається на детектор огинаючої (ДО), вихід якого під'єднаний до інвертуючого входу диференційного підсилювача. На неінвертуючий вхід ДП подається напруга $U_{\text{оп1}}$ з виходу ДОН1. Якщо перший канал обробки сигналів БО1 справний, то напруга на виході ДП перевищує напругу $U_{\text{оп2}}$, яка формується джерелом опорної напруги ДОН2, а на виході компаратора К формується логічна «1».

Як тільки напруга на виході AMS впаде нижче заданого $U_{\text{оп1}}$ рівня, напруга на виході ДП стане меншою ніж $U_{\text{оп2}}$, а на виході компаратора буде сформовано рівень логічного «0». Це призведе до перемикання лічильника у стан 01 і підключення до виходу сигналу БО2. Час перемикання залежить від швидкодії детектора огинаючої, зумовленої наявністю в його складі фільтра нижніх частот (ФНЧ).

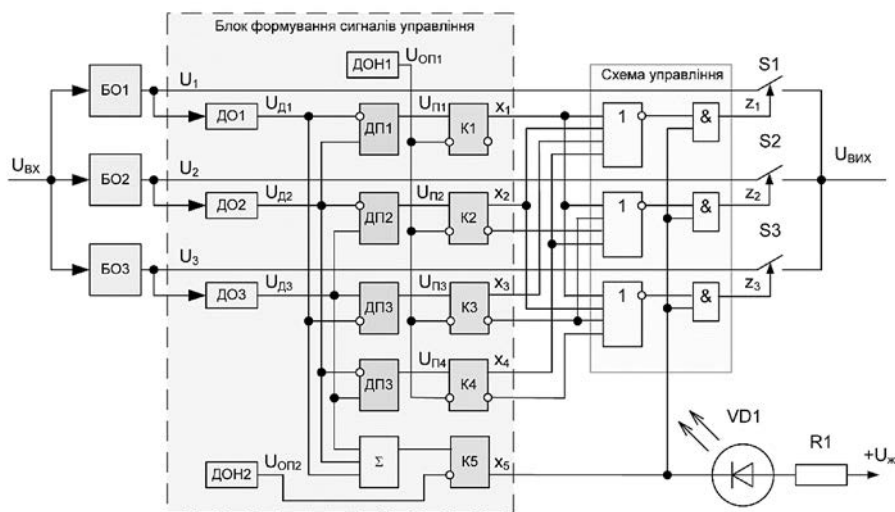


Рис. 3. Повна функціональна схема системи резервування

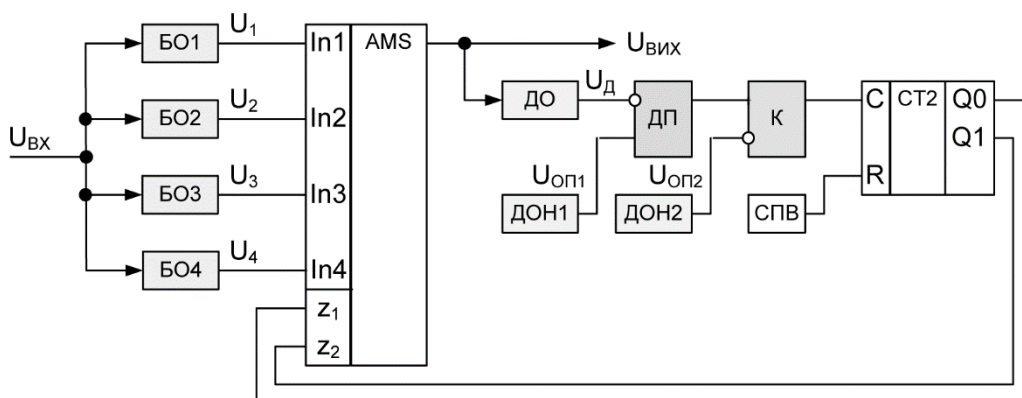


Рис. 4. Спрощена функціональна схема резервування з одним каналом детектування несправності

Вихідна напруга може бути описана рівнянням:

$$U_{вих} = \bar{z}_1 \bar{z}_2 U_1 + z_1 \bar{z}_2 U_2 + \bar{z}_1 z_2 U_3 + z_1 z_2 U_4.$$

Для підвищення швидкодії можна використати для виділення огинаючої будь-якого аналогового сигналу перетворювач Гільберта, алгоритм роботи якого відповідає формулі:

$$U_d = \sqrt{U_c^2 + \hat{U}_c^2},$$

де U_d – напруга на виході перетворювача Гільберта, U_c – напруга на вході перетворювача, \hat{U}_c – спряжена за Гільбертом вхідна напруга.

Щоб сформувати спряжену за Гільбертом напругу, необхідно пропустити вхідний сигнал через широкосмуговий фазообертач сигналу на 90° , що є досить складною задачею. Тому такий підхід вимагає реалізації складного фазообертача. Для перевірки працездатності системи резервування, наведеної на Рис. 4, автори провели імітаційне моделювання такої системи за допомогою spice-симулятора NI Multisim. Модель для дослідження наведена на Рис. 5.

В якості блоків обробки аналогових сигналів використовується чотири операційних підсилювачі U1A-U1D, виходи яких під'єднані до входів аналогового комутатора S1 (ADG409BR). Детектор огинаючої складається з детектора середньоквадратичних значень сигналу U4 (AD737AN) та конденсатора C1, який утворює з внутрішнім опором детектора ФНЧ. Вихідний сигнал детектора огинаючої порівнюється з напругою, яка формується дільником R7, R11 за допомогою операційного під-

силювача U2. Компаратор U8 порівнює вихідну напругу U2 з напругою $U_{он2}$, яка формується за допомогою дільника R12, R10. Потенціометр R10 дає можливість змінювати чутливість системи до рівня сигналу на виході детектора огинаючої.

Вихідний сигнал компаратора подається на вхід двійкового лічильника U3. Для встановлення лічильника в початковий стан при початку симуляції використовується дільник напруги R5, R6, конденсатор C2 та інвертор U5. При включенні живлення починається заряджання конденсатора C2 через резистор R5. Поки напруга на його обкладинках буде меншою за 2.5 В, на виході U5 буде сформована логічна «1» і лічильник буде встановлений у «0». Після того, як напруга на C2 сягне 2.5 В, на виході U5 формується логічний «0», що дозволяє лічильнику працювати. Значення коду на виході лічильника контролюється за допомогою індикаторів X1 та X2. Індикатор світиться при значенні сигналу, що дорівнює логічному «1».

Імітація пропадання сигналу в каналі обробки здійснюється за допомогою перемикачів S2-S5. Коли перемикач розімкнений, аналоговий сигнал проходить на його вихід. При замиканні перемикача сигнал на вході відповідного підсилювача дорівнює нулю, що сприймається системою як несправність. Результати випробувань роботи системи за допомогою 4-канального осцилографа наведені на Рис. 6.

На Рис. 6 верхня діаграма відповідає сигналу на виході системи резервування, друга зверху – сигналу на виході детектора огинаючої, третя зверху – сигналу на виході підсилювача U2, а нижня – сигналу на виході компаратора.

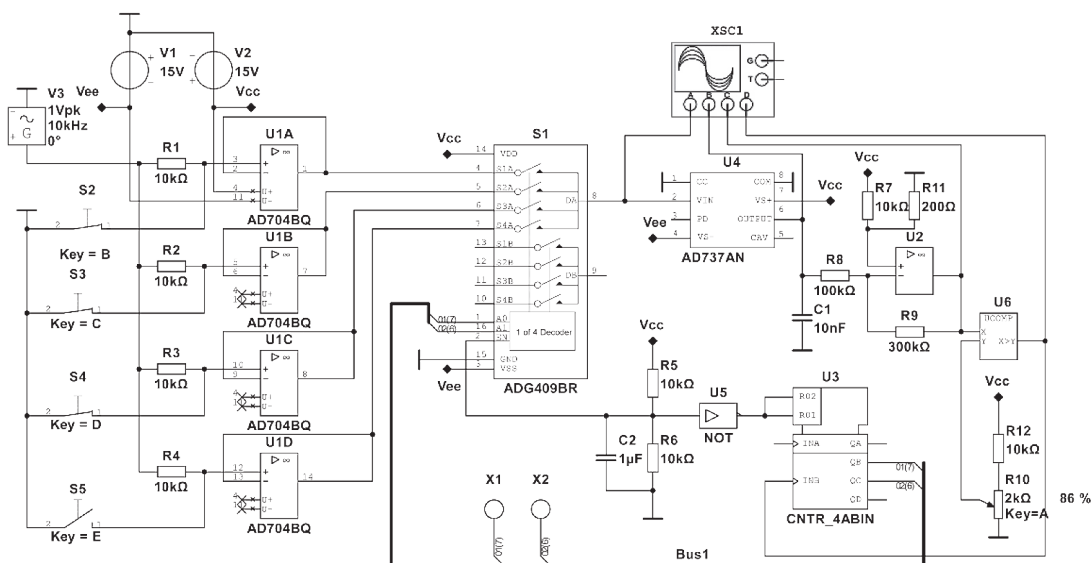


Рис. 5. Модель для дослідження системи з 4-кратним резервуванням

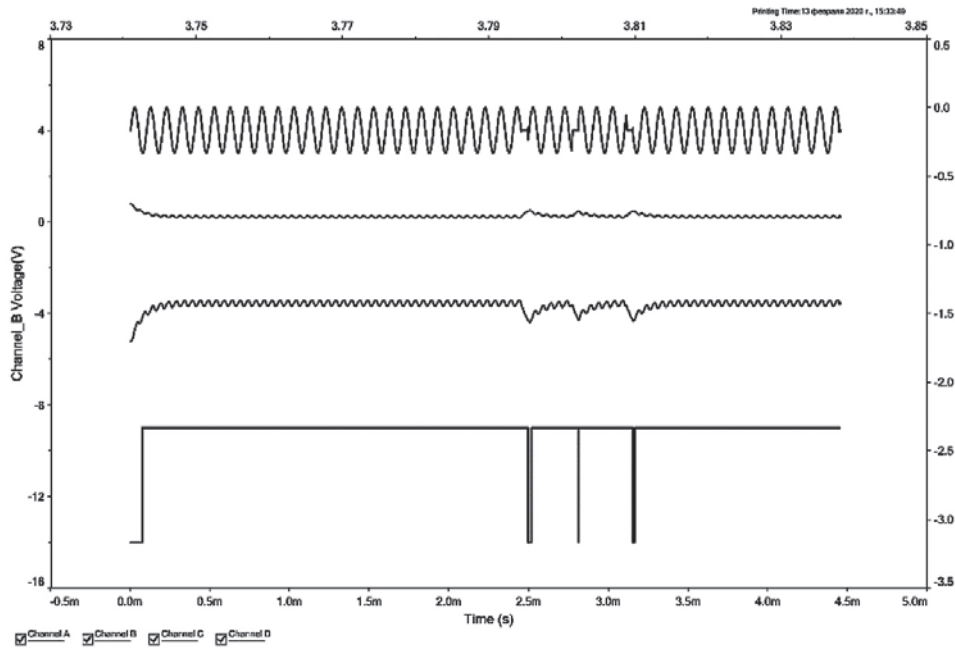


Рис. 6. Результати випробувань системи резервування

Експеримент проводився таким чином. Спочатку всі перемикачі S2-S5 були розімкнуті. На верхній діаграмі (Рис. 6) видно, що сигнал на виході має синусоїдальну форму (початкову ділянку діаграм не слід розглядати, бо вона відповідає перехідному процесу). Після замикавання перемикача S2 сигнал на виході системи спадає до нуля і напруга на виході підсилювача U2 починає спадати. Якщо порівнювати між собою діаграми сигналів на виходах U2 та компаратора, то бачимо, що коли вихідний сигнал спадає за рівнем до порогового рівня спрацьовування компаратора, на виході компаратора формується імпульс, який подається на вхід лічильника. Лічильник змінює код на виході, і аналоговий мультиплексор підключає вихід другого каналу обробки сигналу до виходу системи. На верхній діаграмі видно, що після появи першого з імпульсів на виході компаратора сигнал на виході системи відновлюється.

Аналогічно відключалися сигнали другого та третього каналів обробки, що призводило до перемикання мультиплексора і підключення на вихід сигналу наступного каналу, що ілюструють діаграми на Рис. 6. Сигнал на виході системи зберігається, доки працює хоч один із підсилювачів. Викривлення форми сигналу в момент перемикання на вихід працюючого каналу пов'язано з інерційністю детектора огинаючої. При зменшенні інерційності тривалість перехід-

ного процесу зменшується і викривлення стануть менш помітними.

Висновки. Під час досліджень було проаналізовано методи підвищення надійності електронної апаратури і обрано для реалізації метод загального резервування вузлів із заміщенням. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

1. Найскладнішою процедурою при побудові систем підвищеної надійності для обробки аналогових сигналів із резервуванням є виявлення факту відхилення параметрів каналу обробки сигналів від заданих або від параметрів резервних каналів.
2. Для виявлення факту відхилення сигналів в основному та резервному каналах доцільно виконувати порівняння огинаючої аналогових сигналів цих каналів.
3. Для виділення огинаючої аналогових сигналів необхідно використовувати детектори середньоквадратичних значень і фільтри нижніх частот.
4. Для підвищення швидкості перемикання на резервні канали доцільно зменшувати постійні часу фільтрів нижніх частот.
5. При малих значеннях постійної часу фільтрів нижніх частот погіршується фільтрація низькочастотних складників сигналу, що погіршує точність виявлення відхилень сигналів від заданих значень.
6. Найефективнішим способом виділення огинаючої аналогових сигналів є використання перетворюю-

вача Гільберта. Однак таке рішення потребує реалізації складного ширококутового фазообертача.

Для більш точної оцінки потенційних можливостей систем резервування необхідно додатково

провести пошук оптимальної з точки зору швидкості перемикання системи на резервний канал смуги пропускання фільтру нижніх частот та вибору типу апроксимації його АЧХ.

Список літератури:

1. Острейковский В.А. Теория надежности : Учеб. для вузов / В.А. Острейковский. М. : Высш. шк., 2003. 463 с.
2. Надежность технических систем : Справочник. Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и другие. Под ред. И.А. Ушакова. М. : Радио и связь, 1985. 608 с.
3. А.В. Федухин, П.Д. Сеспедес Гарсия. К вопросу о структурах отказоустойчивых компьютеров фирмы Stratus Computer Inc. *Математичні машини і системи*. 2018, № 4, С. 87–100.

Makarenko V.V., Savchenko Y.G. FEATURES OF USE OF STRUCTURAL EXTRAORDINITY TO ENSURE THE RELIABILITY OF ANALOG ELECTRONIC EQUIPMENT

The article presents the results of the study of ways to build reliable analog signal processing systems using elements of low reliability. A comparative analysis of methods of building reliable systems using redundancy of individual system elements according to different algorithms is carried out.

It is proposed to identify a fault in one of the channels of the redundant system by comparing the envelope of these signals. Other methods of detecting the difference in the signals of the backup and main channels of processing analog information either require very large hardware and computing costs, which leads to a rise in price of the system and a decrease in its reliability, or will not allow to establish this difference reliably. This is explained by the fact that there is always a discrepancy between the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of the nodes, made according to the same schemes.

It is shown what difficulties arise in the detection of an inoperative link of the analog information processing system at an early stage, which is connected with the necessity of allocation of an envelope analog signal. In the selection of the envelope, low-pass filters are used to attenuate the signal components, resulting in inertia of the fault detection system. It is shown how to select an envelope of arbitrary shape without the use of low pass filters. Two structures of redundant systems are proposed. One with full signal processing in each of the main and backup channels and the other with signal processing at the output of the entire backup system.

A model for investigating the properties of a redundancy system for processing analog information is presented. The simulation results confirmed the rationality of the approach in terms of simplifying the fault detection and backup channel management system. Based on the conducted research, conclusions are drawn.

Key words: reliability, redundancy, fault tolerance, envelope, detector, modeling, Multisim.

Фурс Т.В.

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ І ОБ'ЄМНОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ДЕТЕКТОРНИХ PbI_2 -СТРУКТУР

Стаття присвячена дослідженню електропровідності детекторних PbI_2 -структур, виготовлених механічною обробкою, з урахуванням поверхневих явищ, що виникають під час прикладання постійного електричного поля. Розглянуто передумови проходження електричного струму не тільки в об'ємі, а й по поверхні PbI_2 -структур, що реалізується поверхневими дефектами оброблених зразків. Це зумовлювало необхідність визначення поверхневої електропровідності структур, величина якої може бути співмірною з величиною електропровідності в об'ємі матеріалу і навіть її екранувати.

У роботі описано методику виготовлення структур з монокристалічних злиwkів PbI_2 і спосіб нанесення електричних контактів. Для досліджень використано тип омичних контактів, матеріалом яких була електропровідна паста на основі колоїдного графіту, солей паладію і полімерного наповнювача. Методика дослідження електропровідності PbI_2 -структур була пов'язана з вимірюванням вольтамперних характеристик у напівавтоматичному режимі з використанням комп'ютера і стандартного інтерфейсу RS-232 для організації взаємодії з зовнішніми пристроями.

Для вимірювання поверхневих і об'ємних струмів застосовано методику по їх розділенню, що ґрунтувалася на використанні захисного електропровідного кільця, призначеного для усунення впливу поверхневих струмів під час вимірювання об'ємних струмів. Наведено схематичний вигляд PbI_2 -структури з нанесеним на її поверхню захисним електропровідним кільцем та електричні схеми вимірювання об'ємних і поверхневих струмів.

Одержано лінійні залежності об'ємного і поверхневого струмів від прикладеної напруги. За даними розрахунків встановлено, що величина поверхневої електропровідності майже на порядок нижча порівняно з об'ємною провідністю. На основі цього висунуто припущення про зменшення рухливості носіїв струму у поверхневому шарі PbI_2 -структур через наявність дефектів, спричинених механічною обробкою зразків. Зроблено висновок, що стан поверхні оброблених зразків впливає на електричну провідність детекторних PbI_2 -структур.

Ключові слова: PbI_2 , монокристал, детектор, електропровідність, електроди.

Постановка проблеми. Напівпровідникові монокристали дйодиду свинцю (PbI_2) придатні для виготовлення ефективних робочих елементів детекторів електромагнітного випромінювання, зокрема рентгеновського і γ -випромінювання [1–6]. Одним із найважливіших фізичних параметрів детекторного матеріалу є низьке значення питомої електропровідності [7], величина якої залежить від способу та методики одержання. Детекторні PbI_2 -структури виготовляють переважно з монокристалів, розміри і форма яких визначаються способом одержання: від пластинок товщиною 1–2 мм, отриманих з газопарової фази, до монокристалічних злиwkів діаметром 10–30 мм і довжиною до 100 мм, вирощених з розплаву.

Принадібно зауважити, що виготовлення детекторних структур на основі масивних монокристалів PbI_2 , отриманих з розплаву, потребує механічної і хімічної обробки (сколювання, різання), що безумовно відображається на досконалості поверхні та спричиняє вплив на їх структурно-чутливі властивості, насамперед електрофізичні. Адже на сколеній поверхні відбувається порушення періодичності структури, що є, відповідно, структурним дефектом. Вважається, що поверхня кристала PbI_2 – це своєрідний двовимірний кристал, що має дозволені і заборонені енергетичні зони. Обмін зарядами між поверхнею і об'ємом кристала дйодиду свинцю спонукає до вирівнювання рівнів Фермі в об'ємі та на поверхні, що є необхідною умовою рівноваги в кристалі. Цей процес супроводжується переходом на поверхню деякої кількості носіїв струму, в результаті чого поверхня виявляється зарядженою відносно об'єму кристала. В об'ємі чистих (бездомішкових) кристалів кількість центрів рекомбінації носіїв струму є незначною, однак рекомбінація носіїв струму через поверхневі рівні може бути суттєвою. Величина швидкості поверхневої рекомбінації у цьому разі передусім залежить від якості обробки поверхні зразка і досконалості кристалічної структури.

На основі вищевикладеного виникає припущення, що поверхневі явища механічно оброблених монокристалічних зразків PbI_2 можуть екранувати їх об'ємні властивості. Тому постає необхідність подальшого дослідження електропровідності PbI_2 -структур, а саме визначення і оцінки поверхневого складника порівняно з об'ємною з метою врахування впливу цього фактору на ефективність роботи PbI_2 -детектора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. PbI_2 є високоомним іонним напівпровідником, електропровідність якого, відповідно, є низькою. Аналіз наукових публікацій з дослідження PbI_2 свідчить про те, що величина питомої електропровідності цих кристалів залежить від способу і методики їх одержання і варіюється в межах 10^{-10} - 10^{-12} Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$ [8–12]. Чим вищий ступінь чистоти матеріалу, тим нижче значення питомої провідності і ефективніша робота детектора на його основі. Так, монокристали PbI_2 , вирощені з розплаву за методом Бріджмена, мали питому провідність 10^{-10} Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$ [8], 2×10^{-11} Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$ [9], $2,5 \times 10^{-12}$ Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$ [10]. Під час застосування додаткових способів очистки синтезованого PbI_2 питома провідність знижувалась до значень 10^{-12} Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$ [11], 4×10^{-13} Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$ [8].

Однак у попередніх роботах автори не враховували впливу стану поверхні зразків, виготовлених механічною обробкою (сколювання і різання), на величину електропровідності, який є очевидним і може екранувати їх об'ємні властивості.

Постановка завдання. Під час прикладання постійного електричного поля до PbI_2 -структур електричний струм проходить як в об'ємі матеріалу, так і по його поверхні. Причому саме поверхнева провідність може мати значний внесок у провідність структури загалом. Адже поверхня кристала після механічної обробки (сколювання і різання) являє собою зону з максимальним порушенням порядку у розташуванні атомів, що безумовно відображається на процесі електропровідності. При цьому також негативним фактором є наявність адсорбованих домішок на поверхні кристала. Тому для PbI_2 -структур потрібно розрізняти поверхневу і об'ємну електропровідність, значення яких досі не були визначені і становлять мету досліджень цієї роботи. Проведені дослідження спрямовані на оптимізацію методики виготовлення детекторних структур на основі монокристалів PbI_2 , чутливість яких до іонізуючого випромінювання було встановлено раніше [13; 14].

Виклад основного матеріалу дослідження. Вихідним матеріалом для виготовлення детек-

торних структур були монокристали дийодиду свинцю, одержані з розплаву за методом Бріджмена-Стокбаргера [15] у вигляді зливків діаметром 10–25 мм і довжиною 40–80 мм. Із середньої частини монокристалічних зливків PbI_2 пошарово сколювалися пластинки товщиною 1,5–2 мм, з яких вирізалися зразки розміром 3×5 мм 2 . Для видалення поверхневих пошкоджень і забруднень зразки обезжирювалися. Після цієї операції отримували дзеркально-гладку поверхню зразків, що має важливе значення для якісного нанесення електричних контактів і збереження однорідності електричного поля детекторної структури.

Для виготовлення структур використано тип омичних контактів, які призначені для підключення цього напівпровідника до зовнішнього електричного кола. Низька міцність PbI_2 і схильність його до розшарування зумовлювали необхідність створення такого типу контактів, які поряд з достовірними електричними характеристиками забезпечували б достатню механічну міцність у сукупності з мінімальними механічними зусиллями в процесі їх виготовлення. Задовільні властивості для створення омичних контактів і гарантування достовірних результатів показала хімічно інертна електропровідна паста, приготвлена на основі колоїдного графіту, солей паладію та полімерного наповнювача. До пасти, нанесеної на відповідні ділянки поверхні зразків PbI_2 , кріпилися вивідні платинові провідники діаметром 0,05 мм.

У пропонованій роботі дослідження електропровідності PbI_2 -структур проводилося з допомогою простого методу – вимірювання вольтамперних характеристик (ВАХ). Оскільки кристали PbI_2 є високоомними, то для усунення можливих зовнішніх електромагнітних впливів під час вимірювання структури поміщалися в комірці з подвійним металевим екраном. Реєстрація струмів здійснювалася за допомогою пікоамперметра моделі Keithley-6485, що дозволяє фіксувати струми до 10^{-15} А. Обробка результатів здійснювалася у напівавтоматичному режимі з використанням персонального комп'ютера. Для організації взаємодії з зовнішніми пристроями використовувався стандартний інтерфейс RS-232.

З метою визначення електропровідності поверхні і об'єму PbI_2 -структури застосовано методику по розділенню поверхневих і об'ємних струмів [16]. Ця методика заснована на використанні так званого захисного електропровідного кільця, призначеного для усунення впливу поверхневих струмів під час вимірювання об'ємних струмів. Для цього на поверхні зразка PbI_2 розміром

10×10×1,4 мм було нанесено середній контакт з електропровідної пасти діаметром $D_1 = 3$ мм, а навколо нього – захисне кільце цієї ж пастою, внутрішній і зовнішній діаметри якого $D_2 = 6$ мм і $D_3 = 8$ мм відповідно. Схематичний вигляд такої сформованої PbI_2 -структури наведений на рис. 1.

PbI_2 -структуру підключали до джерела напруги та вимірювального приладу так, щоб електричне поле створювало рух носіїв у потрібному напрямі (через об'єм чи поверхневий шар). Під час вимірювання об'ємного струму захисне електропровідне кільце заземлювалось (рис. 2) і електричне поле створювало рух вільних носіїв через товщину зразка [16], у результаті чого реєструвався тільки об'ємний струм.

Величину об'ємної провідності знаходили за формулою:

$$\sigma_v = \frac{I_v \cdot h}{U \cdot S}, \quad (1)$$

де I_v – об'ємний струм;

U – напруга, прикладена до зразка;

$h = 1,4 \cdot 10^{-3}$ м – товщина зразка;

S – площа центрального електрода.

Для вимірювання поверхневих струмів заземлювався один з електродів, а струм вимірювався між захисним кільцем і центральним електродом (рис. 3). У цьому разі електричне поле створювало рух електричних носіїв у тонкому поверхневому шарі PbI_2 .

Величину поверхневої електропровідності, врахувавши геометричні параметри контактів, визначали за формулою:

$$\sigma_s = \frac{I_s \cdot \ln \frac{D_2}{D_1}}{2\pi U} \quad (2)$$

де I_s – поверхневий струм;

$D_1 = 3$ мм – діаметр середнього контакту;

$D_2 = 6$ мм – внутрішній діаметр захисного електропровідного кільця;

U – напруга, прикладена до зразка.

Одержані ВАХ, що відображають залежності об'ємного і поверхневого струмів від прикладеної напруги до PbI_2 -структури, зображені на рис. 4.

Криві мають практично лінійну характеристику. Причому величини поверхневих струмів значно перевищують об'ємні струми за однакових значень прикладених напруг, однак при цьому різними є контактні площі. Виконані обчислення за формулами (1) і (2) показали, що поверхнева питома провідність PbI_2 -структур становить $3,13 \times 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ порівняно з об'ємною $2,73 \times 10^{-11} \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$ відповідно. Встановлено, що поверхнева провідність майже на порядок менша від величини об'ємної провідності. Отримані результати дають підстави зазначити зменшення рухливості носіїв у поверхневому шарі внаслідок протидії їх руху численними дефектами. Виникають поверхневі енергетичні рівні, які можуть бути зумовлені порушеннями кристалічної структури або наявністю на поверхні домішок, адсорбованих газів чи іонів.

Висновки. У результаті проведених досліджень досягнуто розділення поверхневих та об'ємних струмів PbI_2 -структур. На основі одержаних ВАХ спостерігається значне перевищення поверхневих струмів над об'ємними за однакових величин прикладених напруг, однак контактні площі є різними відповідно до методики підключення контактів під час вимірювань.

Величина поверхневої електропровідності з урахуванням лінійних розмірів PbI_2 -структури виявилася рівною $3,13 \times 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$, що майже на порядок нижче порівняно з об'ємною

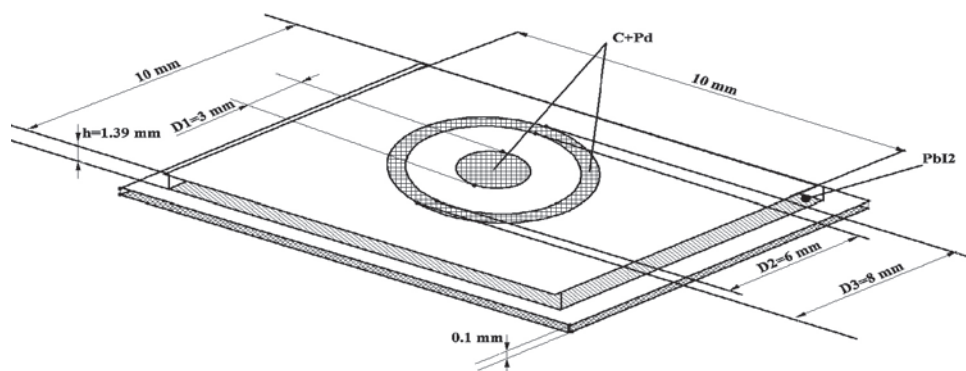


Рис. 1. Схематичний вигляд PbI_2 -структури із захисним електропровідним кільцем

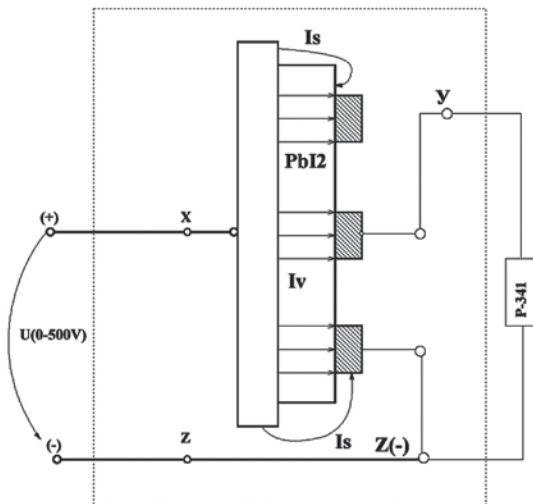


Рис. 2. Електрична схема вимірювання об'ємного струму

провідністю $2,73 \times 10^{-11} \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$. Отримані результати можуть свідчити про зменшення рухливості носіїв струму у поверхневому шарі PbI_2 -структур через протидію дефектів, утворених під час механічної обробки зразків.

Зроблено висновок про вплив поверхневої обробки на електричну провідність PbI_2 -структур, що варто враховувати під час виготовлення детекторів на основі масивних монокристалічних зливків, одержаних з розплаву. Ця проблематика потребує подальших досліджень у напрямку вивчення впливу поверхневих явищ на чутливість PbI_2 -структур до електромагнітного випромінювання.

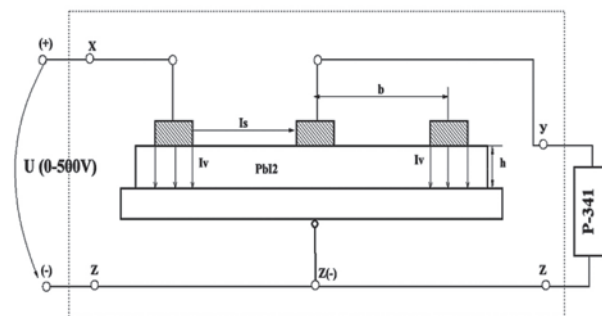


Рис. 3. Електрична схема вимірювання поверхневого струму

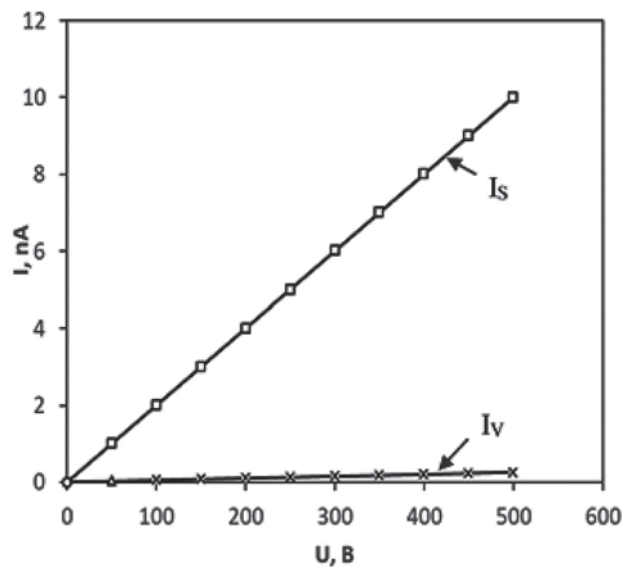


Рис. 4. Залежність поверхневого та об'ємного струмів від напруги

Список літератури:

1. Jing Liu, Yu Zang. Growth of lead iodide single crystals used for nuclear radiation detection of Gamma-rays. *Crystal Research and Technology*. 2017. Vol. 52 (3). 1600370. DOI: 10.1002/crat.201600370.
2. Yaguang Wang, Lin Gan, Junnian Chen, Rui Yang, Tianyou Zhai. Achieving highly uniform two-dimensional PbI_2 flakes for photodetectors via space confined physical vapor deposition. *Science Bulletin*. 2017. Vol. 62, Is. 24. P. 1654 – 1662. DOI:10.1016/j.scib.2017.11.011.
3. Hui Sun, Beijun Zhao, Dingyu Yang, Peihua Wangyang, Xiuying Gao, Xinghua Zhu. Flexible X-ray detector based on sliced lead iodide crystal. *Phys. Status Solidi RRL*. 2017. Vol. 11, Is. 2. 1600397. DOI: 10.1002/pssr.201600397.
4. Xinghua Zhu, Hui Sun, Dingyu Yang, Jun Yang, Xu Li & Xiuying Gao. Fabrication and characterization of X-ray array detectors based on polycrystalline PbI_2 thick films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2014. Vol. 25. P. 3337–3343. DOI: 10.1007/s10854-014-2023-y.
5. Hamada M.M., Oliveira I.B. Trace impurities analysis determined by neutron activation in the PbI_2 crystal semiconductor. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 2003. Section A, 505. P. 517–520. DOI: 10.1016/S0168-9002(03)01136-7.
6. George Zentai, Larry Partain, Raisa Pavlyuchkova, Cesar Proano, Gary F. Virshup, Paul Bennett, Kanai Shah, Yuri Dmitriev, and Jerry Thomas. Improved properties of PbI_2 x-ray imagers with tighter process control and using positive bias voltage. *Proceedings SPIE 5368, Medical Imaging 2004: Physics of Medical Imaging* (San Diego, California, United States, 6 May 2004). San Diego, 2004. DOI: 10.1117/12.535994.
7. Абызов А.С., Ажажа В.М., Давыдов Л.Н., Ковтун Г.П., Кутний В.Е., Рыбка А.В. Выбор полупроводникового материала для детекторов гамма-излучения. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2004. № 3. С. 3–6. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/54419>.

8. M. Matuchova, K. Zdansky, J. Zavadil. Synthesis of PbI_2 with admixture of rare earth elements: Electrical and optical properties. *Physica status solidi (c)*. 2007. Vol. 4, Is. 4. P. 1532 – 1535. DOI: 10.1002/pssc.200674109.
9. Hayashi T., Kinpara M., Wang J.F., Mimura K., Isshiki M. Growth of PbI_2 single crystals from stoichiometric and Pb excess melts. *Journal of Crystal Growth*. 2008. Vol. 310, Is. 1. P. 47–50. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2007.10.004.
10. Yi H., Shifu Z., Beijun Z., Yingrong J., Zhiyu H., Baojun C. Improved growth of PbI_2 single crystals. *Journal of Crystal Growth*. 2007. Vol. 300, Is. 2. P. 448–451. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2006.10.226>.
11. Chaudhary S.K., Kaur H. Impurity induced structural phase transformations in melt grown single crystals of lead iodide. *Cryst. Res. Technol.* 2011. Vol. 46, Is. 12. P. 1235–1240. <https://doi.org/10.1002/crat.201100250>.
12. Zhu X.H., Wei Z.R., Jin Y.R., Xiang A.P. Growth and characterization of a PbI_2 single crystal used for gamma ray detectors. *Crystal Research and Technology*. 2007. Vol. 42, Is. 5. P. 456–459. DOI: 10.1002/crat.200610847.
13. Свиридчук Г.Ю., Фурс Т.В. Вплив β -випромінювання на електрофізичні властивості монокристалів PbI_2 . *Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали V Всеукр. Наук.-практ. Конф. молодих учених (Суми, 22-24 квітня 2019 р.)*. Суми, 2019. С. 68–70.
14. Воронин В.О., Калущ А.З., Філюк Т.В. Влияние больших доз гамма облучения на свойства монокристаллов PbI_2 . *Радиационная физика твёрдого тела: труды XIV Международного совещания (Севастополь, 5-10 июля 2004 г.)*. Москва, 2004. С. 195–199.
15. Федосов А.В., Калущ О.З., Філюк Т.В. Вирощування кристалів дийодиду свинцю із розплаву. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»)*. 2002. Вип. 11(2). С. 88–97.
16. Фурс Т.В., Калущ О.З., Федосов А.В. Методика дослідження структур на основі монокристалів йодиду свинцю. *Нові технології. Науковий вісник КВЕИТУ*. 2009. № 1(23). С. 48–52.

Furs T.V. RESEARCH OF SURFACE AND VOLUME CONDUCTIVITY OF DETECTOR PbI_2 STRUCTURES

The article is devoted to the study of conductivity of detector PbI_2 structures made by machining, taking into account the surface phenomena that arise when applying a constant electric field. The prerequisites for the passage of electric current not only in volume but also on the surface of PbI_2 structures realized by the surface defects of the treated samples are considered. This necessitated the determination of the surface conductivity of structures, the magnitude of which can be commensurate with the magnitude of the conductivity in the bulk of the material and even screen it.

The paper describes the method of manufacturing structures from single-crystal ingots of PbI_2 and the method of applying electrical contacts. The type of ohmic contacts, whose material was conductive paste based on colloidal graphite, palladium salts, and polymeric filler, was used for the investigations. The conductivity study of PbI_2 structures has been associated with the measurement of semi-automatic current-voltage characteristics using a computer and a standard RS-232 interface for interfacing with external devices.

For the measurement of surface and volumetric currents, a technique for their separation was applied, which was based on the use of a protective conductive ring designed to eliminate the influence of surface currents when measuring volumetric currents. A schematic view of the PbI_2 structure with a protective conductive ring deposited on its surface and electrical diagrams for measuring volumetric and surface currents.

The linear dependences of the volumetric and surface currents on the applied voltage were obtained. According to the calculations, it is found that the magnitude of the surface conductivity is almost an order of magnitude lower than the bulk conductivity. On this basis, it has been suggested that the mobility of current carriers in the surface layer of PbI_2 structures is reduced due to the presence of defects caused by the machining of the samples. It is concluded that the surface condition of the treated samples influences the conductivity of PbI_2 detector structures.

Key words: PbI_2 , single crystal, detector, conductivity, electrodes.

Відомості про авторів

Азізов Т.Н. – доктор технічних наук, професор Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини

Бабенко А.В. – магістр Дніпровського державного технічного університету

Бабенко В.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів Національного університету харчових технологій

Бажай-Жежерун С.А. – кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології оздоровчих продуктів Національного університету харчових технологій

Бахмач В.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів Національного університету харчових технологій

Бережна Т.О. – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції факультету готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Національного університету харчових технологій

Береза-Кіндзерська Л.В. – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету харчових технологій

Березовський А.П. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри прикладної інженерії та охорони праці Уманського національного університету садівництва

Белянська О.Р. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету

Бідюк Д.О. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету

Бутовський Л.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вапнічна В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Васильєва Л.О. – старший викладач кафедри «Транспортні технології» Національного університету «Запорізька політехніка»

Велика А.О. – магістрантка кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів Національного університету харчових технологій

Вень МінМін – доктор наук, доцент, Школа менеджменту, Університет океану Гуандун, Китай

Веремєєнко Л.А. – старший викладач кафедри «Транспортні технології» Національного університету «Запорізька політехніка»

Виноградова О.П. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля Національної академії наук України

Віннікова В.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Гавриш А.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Гайдай Г.Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Гайдай І.В. – кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри технологій харчових продуктів Уманського національного університету садівництва

Галь А.Ф. – кандидат технічних наук, професор Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Гао Дан – аспірант Сумського національного аграрного університету

Гапонцева О.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Геліх А.О. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології молока і м'яса Сумського національного аграрного університету

Гершун В.С. – аспірант Харківського державного університету харчування та торгівлі

Грановська О.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гребанова Є.С. – магістр Дніпровського державного технічного університету

Грешнов А.Ю. – доцент кафедри морського приладобудування Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

- Гришко В.В.** – магістр групи Т-818м Національного університету «Запорізька політехніка»
- Губашова В.Є.** – провідний інженер проектного відділу Департаменту спеціальних та гідротехнічних робіт ТОВ СП «Основа-Солсиф»
- Дмитренко М.С.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції факультету готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Національного університету харчових технологій
- Доля О.Є.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних керуючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки
- Дорожко Є.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
- Дуан З. (Zhenhua Duan)** – PhD, Professor School of Food and Bioengineering, Hezhou University, China
- Дубініна А.А.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі
- Єфімова В.Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Загородня Д.С.** – магістрантка кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»
- Зінченко Н.Ю.** – старший викладач кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій
- Зуєвська Н.В.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Іванченко А.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету
- Ільченко С.А.** – магістр Дніпровського державного технічного університету
- Іщик Т.В.** – викладач фахових дисциплін Волинського коледжу Національного університету харчових технологій
- Кириченко О.Д.** – кандидат технічних наук, головний технолог Державного підприємства «Науково-виробниче об'єднання «Павлоградський хімічний завод»
- Кисельов В.Б.** – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
- Кораб М.Г.** – кандидат технічних наук, Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України
- Костюк А.І.** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури
- Кравченко С.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури
- Кременець Т.В.** – викладач фахових дисциплін Волинського коледжу Національного університету харчових технологій
- Крюковська О.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності Дніпровського державного університету
- Кувасв В.Ю.** – старший викладач кафедри електротехніки та електроприводу Національної металургійної академії України
- Кузьменко В.Ю.** – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету
- Кутковецька Т.О.** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва
- Ларичева Л.П.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету
- Ленерт С.О.** – кандидат технічних наук, докторант Харківського державного університету харчування та торгівлі
- Лукашев О.Ю.** – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Макаренко В.В.** – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут Ігоря Сікорського»
- Макарченко Н.П.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
- Мамонов К.А.** – доктор економічних наук, професор, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Маслійчук О.Б. – кандидат технічних наук, Львівський коледж м'ясної та молочної промисловості Національного університету харчових технологій

Матенчук Л.Ю. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри технологій харчових продуктів Уманського національного університету садівництва

Мельник О.М. – капітан далекого плавання, аспірант кафедри «Експлуатації флоту і технології морських перевезень» Одеського національного морського університету

Михайленко В.М. – аспірант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції факультету готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Національного університету харчових технологій

Мороз О.С. – аспірант кафедри теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Нежурін В.І. – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехніки та електроприводу Національної металургійної академії України

Ніколенко А.В. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електротехніки та електроприводу Національної металургійної академії України

Новіков В.П. – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

Орлова О.М. – викладач Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини

Очеретна А.В. – аспірант 2 курсу групи ПІ-2-12А кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Панчева Г.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки праці і навколишнього середовища «Харківський політехнічний інститут»

Паска М.З. – доктор ветеринарних наук, професор Львівського державного університету фізичної культури імені Івана Боберського

Петріна Р.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

Пещера Л.С. – аспірант кафедри технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів Національного університету харчових технологій

Пилипенко О.І. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Пилипенко Т.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Поморцева О.Є. – доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та ГС Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Попова І.В. – кандидат технічних наук, доктор філософських наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій

Попова Т.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Римар Т.Е. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Савченко Ю.Г. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського»

Селютін В.М. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту зовнішньоекономічної діяльності Харківського державного університету харчування та торгівлі

Селютіна Г.А. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Середа О.Г. – асистент кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету

Сидорук Ю.В. – викладач фахових дисциплін Волинського коледжу Національного університету харчових технологій

Скирда О.Є. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Смирнова О.Л. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної електрохімії «Харківський політехнічний інститут»

Старченко О.С. – аспірант кафедри теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Столевич І.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури

Столевич О.І. – асистент кафедри опору матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури

Сьомкіна О.В. – науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Таланюк В.В. – інженер Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, 80 відділ

Токайчук Т.М. – науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Токар А.Ю. – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри технологій харчових продуктів Уманського національного університету садівництва

Турпак С.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Транспортні технології» Національного університету «Запорізька політехніка»

Устименко Є.Б. – доктор технічних наук, технічний директор Державного підприємства «Науково-виробниче об'єднання «Павлоградський хімічний завод»

Устименко І.М. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції факультету готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Національного університету харчових технологій

Фролов В.О. – аспірант кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Фролова Л.А. – доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Фролова Н.Е. – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Фурс Т.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства Луцького національного технічного університету

Хавікова К.Є. – аспірант кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету

Харченко Т.В. – старший викладач кафедри «Транспортні технології» Національного університету «Запорізька політехніка»

Хацкевич Ю.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Хацкевич Ю.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Хом'як С.В. – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, асистент кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

Челтонов М.М. – аспірант кафедри процесів і апаратів хімічної технології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», керівник групи по перспективним технологіям енергетичних матеріалів та виробів Державного підприємства «Науково-виробниче об'єднання «Павлоградський хімічний завод»

Черноусенко О.Ю. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чичулін В.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Чичуліна К.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри економіки, підприємництва та маркетингу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Шадрін А.О. – кандидат технічних наук, Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України

Шайдецька Л.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Шербакова Т.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів Харківського державного університету харчування та торгівлі

Шумило К.П. – магістр кафедри хімічної технології неорганічних речовин Дніпровського державного технічного університету

Юрженко М.В. – доктор технічних наук, Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України

НОТАТКИ

Науковий журнал

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

Серія: Технічні науки

Том 31 (70) № 2 2020

Частина 2

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Джона Маккейна, 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. 23,51. Ум.-друк. арк. 31,39. Зам. № 0620/148

Підписано до друку 29.04.2020. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

03150, м. Київ, вул. Велика Васильківська 74, оф. 7

Телефон +38 (0552) 399 580,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.