

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

4'2021

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році
(з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідчення Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.
Свідчення перереєстровано у Міністерстві юстиції України
КВ № 24313-ПР від 06.02.2020 р.

Журнал включений
до переліку наукових фахових видань України
(Наказ Міністерства освіти та науки України №886 від 02.07.2020)

Категорія журналу «Б»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Л. Л. Товажнянський, член-кор. НАН України

Технічний редактор

К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц., професор НТУ "ХПІ"

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

О. П. Арсенська, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ".
В. Є. Ведь, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ІТПА НТУ "ХПІ"
П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖПБ НТУ "ХПІ"
П. О. Качанов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. АУТС НТУ "ХПІ"
Г. Л. Хавін, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ"
А. М. Ганжа, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЕТ НТУ "ХПІ"
Ю. Б. Данилов, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ".
О. Б. Аніпко, д-р техн. наук, професор каф. інженерно-авіаційного
забезпечення, Харківський національний університет Повітряних сил
ім. І.Козедабана
В. А. Малиаренко, д-р техн. наук, професор, професор каф. СЕЕМ
ХНУМГ
П. О. Капустенко, канд.техн. наук, професор, акад. Академії
будівництва України
Ференс Фридлер, PhD, professor, Pázmány Péter Католицький
університет, Будапешт, Угорщина
Шарифа Рафіда Ван Алви, PhD, professor, Малайзійський університет
технологій
Девид Дж. Кукулька, PhD, професор, Державний університет Нью-
Йоркського коледжу у Буффало, США
Й. Клемеш, PhD, DSc (Hon), ун-та «Паннонія» (м. Веспрем,
Угорщина), та ун-та Манчестера (Великобританія)
Євген Кеніг, д-р техн. наук, професор, університет Падерборна,
Германія
Маргін Пікон-Нуньєс, PhD, professor, Університет Гуанахуато,
Мехіко
Петар Варбанов, старший науковий співробітник NETME Center -
SPIL, Технологічний університет Брно, Чеська республіка
Майкл Уолмслі, BE, PhD ChemEng, Університет Вайкато, Окленд,
Нова Зеландія
П. Стехлік, PhD, проф., Директор Технологічного університету Брно
(Чеська республіка)
Панос Сеферліс, PhD., проф., університет Арістотеля, Салоніки,
Греція

Журнал включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому
числі в бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США),
індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref;
зарєєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази
даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://ite.khpi.edu.ua>

EDITORIAL BOARD

The editor-in-chief

L. L. Tovazhnyansky, Corresponding Member of the NAS of
Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, NTU "KhPI"

Technical editor

K. O. Gorbunov, PhD, Assistant Professor, professor NTU "KhPI"

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

O. P. Arsenyeva, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
V. E. Ved, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
P. O. Kachanov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
G. L. Khavin, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
A. M. Hanzha, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
Yu. B. Danilov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"
O. B. Anipko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kozhedub Kharkiv
Air Force University
V. A. Malyarenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov
National University of Municipal Economy named after O.M.
Beketova
P. O. Kapustenko, PhD, professor NTU "KhPI"
Ferenc Friedler, PhD, professor,
Pázmány Péter Catholic University, Budapest, Hungary
Sharifah Rafidah Wan Alwi, PhD, professor, Universiti Teknologi
Malaysia,
David J. Kukulka, PhD., professor, State University of New York
College at Buffalo, USA
Jiří Jaromír Klemes, PhD., professor, DSc (Hon) of the University
of Pannonia (Veszprem, Hungary) and the University of Manchester
(Great Britain)
Eugeniy Kenig, prof., dr.-ing., University of Paderborn, Germany
Martín Picón Núñez, PhD, professor, university of Guanajuato,
Mexico
Petar Sabevarbanov, Senior Researcher, NETME Centre -
SPIL, BRNO University of Technology, Czech Republic
Michael Walmsley, BE, PhD ChemEng, University of Waikato, New
Zealand
Petr Stehlik, PhD., professor, Director of Institute BRNO University
of Technology, Czech Republic
Panos Seferlis, PhD., professor, Aristotle University of Thessaloniki,
Thessaloniki, Greece

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2
Тел. 70-76-958

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Селіхов Ю. А., Горбунов К. О., Стасов В. А.

Інтеграція роботи поновлюваних джерел енергії для гарячого водопостачання та опалювання будівель	3
--	---

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Бабіченко А. К., Бабіченко Ю. А., Кравченко Я. О., Красніков І. Л.

Алгоритмічне забезпечення прийняття рішень щодо ефективності експлуатації абсорбційно-холодильних установок виробництв аміаку.....	13
--	----

Головань Л. В., Чуприна Ю. Ю., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Белінська А. П., Бєлих І. А.

Оцінка еколого-генетичного різноманіття роду <i>Vigna Savi</i> з використанням біотехнологічних методів – ISSR маркерів.....	22
--	----

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Баулін Д. С.

Нітроцелюлозні порохові заряди тривалих термінів експлуатації: проблемні задачі та їх можливі рішення.....	33
--	----

Ганжа А. М., Семененко Л. В., Броневський Ю. Ф., Савраєва Ю. І.

Математичне моделювання теплової ефективності огорожувальних конструкцій багатоповерхових будівель з урахуванням індивідуального утеплення.....	46
---	----

Krichkovskaya L. V., Essam Elnaggar, Dubonosov V. L.

Technological aspects of application of the phytosorbent with nanotubes in the process of adsorptive oil purification.....	59
--	----

Лебедев В. В., Мірошніченко Д. В., Лендич Є. С., Борисенко Л. М., Савченко Д. О., Мазченко М. В., Тихомирова Т. С., Литвиненко Є. І., Ворожбіян Р. М.

Вивчення особливостей отримання гелів на основі агар-агару для косметології та медицини з антибактеріальними властивостями.....	67
---	----

Троценко О. В., Григоров А. Б., Назаров В. М.

Отримання дизельного палива з полішеними властивостями.....	75
---	----

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Utkina K. B., Garbuz A. G., Kulyk M. I.

Surface water quality in Kharkiv recreational areas: 2006–2020.....	84
---	----

Бєлих І. А., Самойленко С. І., Висеканцев І. П., Белінська А. П., Варанкіна О. О., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Мироненко Л. С., Кукушкін А. І.

Використання методики аналізу іммобілізованих дріжджів <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> в біотехнологічній промисловості.....	94
--	----

<i>Сторінка редколегії.....</i>	110
---------------------------------	-----

Затверджено Вченою радою НТУ «ХП» (протокол № 11 від 26.11.2021 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХП», 2021. – № 4. – 112 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій різноманітних галузей промисловості.

© Національний технічний університет «ХП», 2021

Селіхов Ю.А., к.техн.н., професор, Горбунов К.О., к.техн.н., професор, Стасов В.А.

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ОПАЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

Ключові слова: сонячна енергія, двоконтурна сонячна установка, сонячна система, геотермальний тепловий насос, вітроелектрогенератор, прототип, оптимізація, інтеграція, автоматизація, технологічна схема.

В даний час саме в області низькопотенційного використання сонячної енергії отримані найбільш відчутні результати, що дозволяють розглядати Сонце як енергетичну альтернативу при виробництві тепла і холода. У зв'язку з інтенсивним розвитком технологій сонячної енергетики з'явилося безліч конструктивних рішень та варіантів сонячних установок [1, С. 73], які класифікуються за різними критеріями. Однак, сонячні установки, які пропонуються в Україні, іноземних та вітчизняних виробників дорогі як при купівлі, так і при експлуатації [2, С. 125]. На наш погляд, актуальною є концепція створення нових конструкцій сонячних установок, найбільш привабливих для потенційного споживача. Реалізація даної концепції можлива при такому варіанті виконання сонячних установок, коли витрати на вироблення теплової енергії за допомогою цих установок будуть нижче рівня сумарних витрат на отримання теплової енергії традиційними способами (зокрема, в котельних установках). Одночасно з цим термін окупності сонячних установок повинен бути порівнянний з гарантійним терміном їх експлуатації. Для виконання поставлених умов представляється доцільною розробка таких конструкцій сонячних установок, які дозволяли б мінімізувати витрати на їх виготовлення, монтаж, обслуговування і ремонт. Це може досягатися за рахунок використання дешевих вітчизняних матеріалів [3, С. 17], випуск яких гарантований в достатніх об'ємах на протязі тривалого терміну. Вище зазначені завдання є актуальними.

У цій роботі пропонується розроблена нова технологічна схема теплоенергетичної установки, до якої входить: двоконтурна сонячна установка [4, С. 2054] для гарячого водопостачання, геотермальний тепловий насос для опалення будівель [5, С. 35] та вітроелектрогенератор [6, С. 242] для електропостачання з цілодобовим комп'ютерним керуванням. Для вирішення поставлених завдань нами виконано аналіз технічних можливостей різних типів сонячних установок, що вже працюють, вивчені матеріали, що застосовуються в цих установках. Вибрано варіант сонячної установки як прототип для оптимізації, інтеграції та автоматизації.

Прототипом [7, С. 103] для подальшої оптимізації, інтеграції та автоматизації роботи вибираємо двоконтурну сонячну установку, яка показана на рис. 1.

Сонячні установки для гарячого водопостачання та опалення будівель зазвичай двоконтурні, що функціонують цілий рік. Подана на рис. 1 сонячна установка працює в такий спосіб. Подача холодного теплоносія здійснюється по мережевому трубопроводу 8 в накопичувальний бак 7. Перший контур роботи установки: холодний теплоносій з накопичувального бака 7 через регулювальні вентилі 6 і 4 циркуляційним насосом 5 подається знизу під тиском в 32 плоских металевих колектора 2, розмір одного колектора 1200x800x0,020 мм, де нагрівається сонячним випромінюванням до необхідної температури. У міру підйому теп-

лоносія знизу вгору колектором, він нагрівається до максимальної температури 63 °С у липні місяці при найвищій сонячній інсоляції. Далі через регулювальний вентиль 3 лінії гарячого теплоносія 9 подається в накопичувальний бак 7. Теплоносій нагрівається до температури 50–63 °С весь світловий день. Нагрітий теплоносій трубопроводом 16 у зазначені вище години подається в будівлі. Другий контур установки працює таким чином. У разі недостатньої інсоляції теплоносій з накопичувального бака 7 циркуляційним насосом 13 через регулювальні вентиля 12 і 14 подається в тепловий дублер 15 де нагрівається до необхідної температури і через вентиль 11 назад надходить в накопичувальний бак 7. По трубопроводу 16 нагрітий теплоносій надходить у систему опалення будівель [8, С. 95].

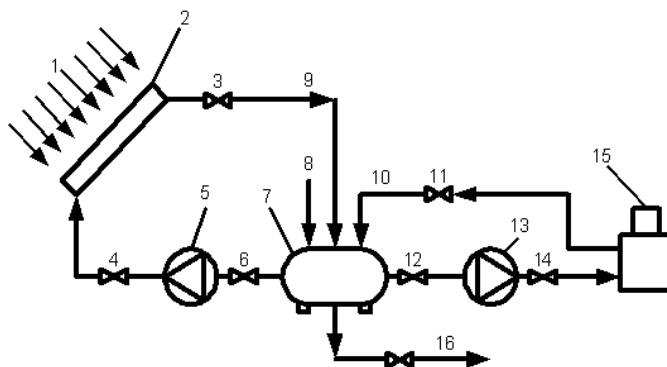


Рисунок 1 – Принципова схема сонячної установки для опалення будівель

1 – сонячне випромінювання; 2 – сонячний колектор; 3, 4, 6, 11, 12, 14, 16 – регулювальні вентиля; 5, 13 – циркуляційні насоси; 7 – накопичувальний бак; 8 – подача холодного теплоносія; 9, 10 – подача гарячого теплоносія; 15 – тепловий дублер; 16 – подача гарячого теплоносія до споживача

Проаналізувавши роботу установки, було визначено такі недоліки:

- 1) система знаходиться під тиском насоса, що у разі розгерметизації системи призведе до втрати теплоносія;
- 2) відсутня система для хімічної підготовки теплоносія перед подачею до сонячного колектора;
- 3) накопичувальний бак працює і як накопичувальна ємність для холодного теплоносія, так і як накопичувальний бак для гарячого теплоносія;
- 4) робота установки здійснюється тільки в ручному режимі та залежить від обслуговуючого персоналу;
- 5) відсутня система автоматизації установки та зв'язок її з регулюючим органом;
- 6) теплоносій нагрівається в сонячному колекторі до максимальної температури 63 °С;
- 7) велика металомісткість установки;
- 8) дуже погана якість теплоносія, що використовується в установці;
- 9) випадання солей із теплоносія при температурах вище 50 °С забиває прохідні перетини в сонячних колекторах, що знижує ефективність роботи установки та її довговічність;
- 10) теплоносій подається за розкладом (вранці та ввечері).

Для покращення ефективності роботи та здешевлення установки необхідно: покращити конструкцію сонячної установки, застосувавши нове обладнання, матеріали та систему автоматизації всіх вузлів установки; підвищити коефіцієнт корисної дії (ККД)

сонячної установки за рахунок застосування нових матеріалів, теплоносіїв та іншого допоміжного обладнання; удосконалити роботу установки за допомогою ЕОМ; зменшити вартість установки за рахунок зниження матеріаломісткості установки, застосування нових матеріалів та обладнання; зробити подачу теплоносія цілодобовою.

Для вирішення цих завдань ми провели літературний огляд та вибрали сонячну установку [9, С. 193] з плоскокапілярним тонкоплівковим колектором [10, С. 32] безнапірного типу спеціальної конструкції гнучкий полімерний, в якому теплоносій рухається зверху вниз під дією сили тяжіння по похилій поверхні у вигляді плівки рідини.

Застосування тонкоплівкових сонячних колекторів безнапірного типу з полімерної плівки дозволяє зменшити ризик втрати теплоносія за рахунок розриву сонячного колектора від надлишкового тиску, як у прототипі. За ефективністю нагрівання теплоносія на вході в колектор і на його виході, сонячний колектор з полімерної плівки поглинає більше сонячного випромінювання ніж відомі колектори з металу, тим самим забезпечує нагрівання теплоносія до вищої температури (95 °С), ніж колектор виготовлений з металу (63 °С).

Сонячний колектор з полімерної плівки, запропонований нами, можна замінити у разі потреби при засміченні прохідних перетинів або почистити і це коштуватиме значно дешевше порівняно з витратами на оновлення колекторів із металу.

Ми також дійшли висновку, щоб ефективність роботи колектора не знижувалась, необхідно провести заміну старого обладнання новим. На рис. 2 представлено нову технологічну схему теплоенергетичної установки після її оптимізації.

Нова енергетична установка може працювати як сезонно, так і цілий рік. Принцип дії установки при сезонній роботі – у теплу пору року. Антифриз (тепловий агент) з бака-акумулятора 4 через перший контур теплообмінного апарату 3 циркуляційним насосом 2 подається в колектор сонячної установки 1, де нагрівається до необхідної температури і надходить назад в бак-акумулятор 4. Нагрітий антифриз віддає своє тепло у другому контурі теплообмінника 3 теплоносія (вода), що подається циркуляційним насосом 5 з бака-акумулятора 6, і підігріта надходить у бак-акумулятор 11. Артезіанська вода з свердловини 16 насосом 14 подається в установку хімводоочищення 7, де очищається від багатьох солей і далі надходить в бак-акумулятор 6. Підігріта до необхідної температури вода [11, С. 53] другого контуру теплообмінника 3 подається в приватне домоволодіння 15 на гаряче водопостачання [12, С. 271]. Коли температура води не задовольняє користувача 15, вода з бака-акумулятора 11 циркуляційним насосом 12 подається в другий контур охолоджувача 9 і далі другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насоса 10, де догрівається до необхідної температури і надходить до користувача 15. Оборотна вода від користувача 15 подається в установку хімводоочищення 7, де очищається, і циркуляційним насосом 14 подається в бак-акумулятор 6, або, у разі недостатньої кількості води подається в другий контур охолоджувача 9 і далі в другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насоса де догрівається і знову надходить користувачеві 15. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносій у каналізацію 8 (злив води із системи). У разі підвищення температури повітря на вулиці до некомфортної позначки відключається сонячна установка та включається в тепловому насосі [13, С. 82] режим кондиціонування 25. Вода з ґрунтового теплового контуру циркуляційним насосом 13 подається в контур теплої підлоги, охолоджує площу підлоги та повітря в кімнатах будинку до комфортної температури.

Принцип дії установки для цілорічної роботи. У теплу пору року принцип роботи установки показано вище. А в холодну пору року установка працює наступним чином. Вода з температурою 5–7 °С теплового контуру теплового насоса циркуляційним

насосом 13 подається до другого контуру випарника теплового насоса, де нагріває холодоагент першого контуру, який перетворюється на пару. Пар холодоагенту надходить у компресор, де стискається до високої 160 °С температури та тиску. Далі пара надходить у конденсатор теплового насоса, де віддає своє тепло другому контуру конденсатора, в який подається вода циркуляційним насосом 12 з бака-акумулятора 11 або циркуляційним насосом 14 від користувача 15. Таким чином, вода нагрівається спочатку у другому контурі охолоджувача, а потім у другому контурі конденсатора і надходить до користувача з температурою 75 °С. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносії у каналізацію (злив води із системи).

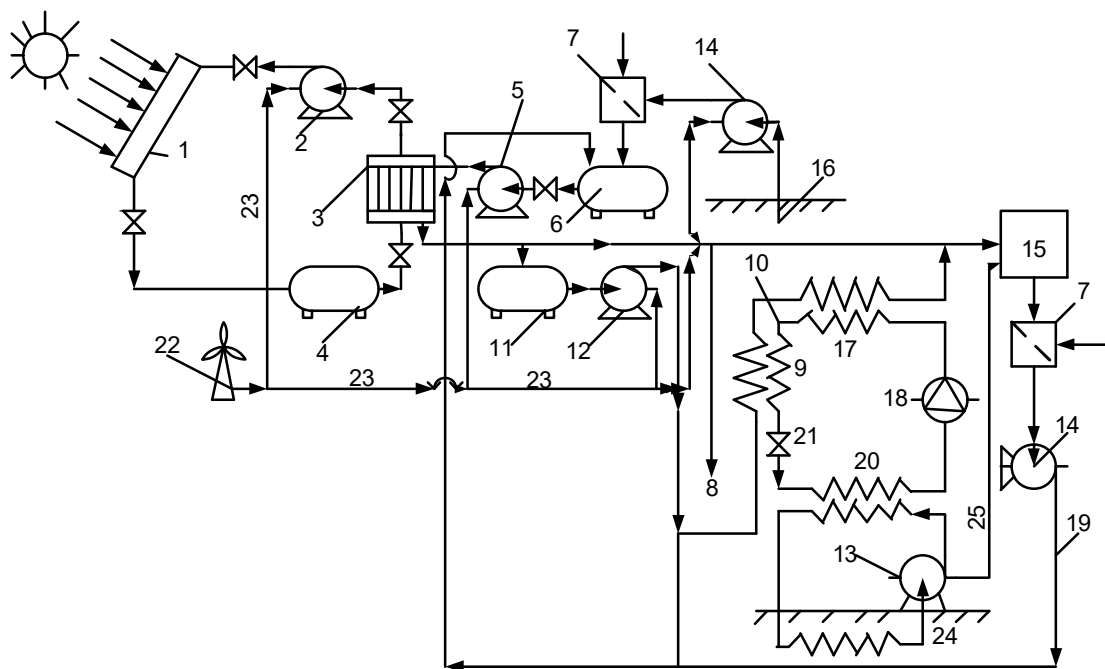


Рисунок 2 – Технологічна схема енергетичної установки для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку

1 – Двоконтурна сонячна установка; 2 – Відцентровий насос;
3 – Двоконтурний теплообмінний апарат; 4 – Бак-акумулятор;
5 – Відцентровий насос; 6 – Бак-акумулятор; 7 – Установки хімводоочищення; 8 – Аварійний злив теплоносія із установки; 9 – Охолоджувач; 10 – Ґрунтовий тепловий насос (ґрунт–вода); 11 – Бак-акумулятор; 12 – Відцентровий насос; 13 – Відцентровий насос; 14 – Відцентрові насоси; 15 – Садиба; 16 – Артезіанська свердловина; 17 – Конденсатор; 18 – Компресор; 19 – Трубопровід оборотної води; 20 – Випарник; 21 – Дросельний вентиль; 22 – Вітроелектрогенератор; 23 – Лінії електропередач; 24 – Тепловий контур ґрунтового теплового насоса; 25 – Трубопровід подачі холодного теплоносія (режим кондиціювання)

У сучасних технологіях, пов'язаних з переробкою речовини та енергії, важливе місце займають об'єкти, створення та вдосконалення яких потребує використання термодинаміки. Класичний апарат цієї науки часто виявляється недостатнім для вирішення нових завдань, необхідних не тільки для її подальшого розвитку, а й повідомлення з елементами системного підходу та економіки. Під впливом цих вимог в останні десятиліття було розроблено ексергетичний метод [14, С. 84]. Його основна ідея полягає у введенні поряд із загальним, фундаментальним поняттям енергії, додаткового показни-

ка – ексергії, що дозволяє врахувати той факт, що енергія в залежності від зовнішніх умов може мати різну цінність для практичного використання (наприклад, кількість теплоти за різного температурного потенціалу джерел). Для перевірки ефективності роботи нової теплоенергетичної установки з різноманітності методів, ми вибрали ексергетичний метод розрахунку. Застосовуємо методику оцінки ефективності роботи системи з ексергії-нетто [14, с. 243]. Як приклад у табл. 1 та табл. 2 наведено витрати ексергії на виготовлення прототипу та нової установки відповідно.

Таблиця 1 – Расходи ексергії на проектування і виготовлення прототипу

Матеріал	Маса M_a , кг	Питома енергоємність $\mathcal{E}_a$, МДж/кг	Повні витрати ексергії E , МДж	Питомі витрати ексергії, m_a	$m_a \cdot \mathcal{E}_a$
Котел з газовим пальником	135	430	58050	0,00338	1,45
Ємність для газу $V = 9 \text{ м}^3$	750	60	45000	0,0188	1,125
Металевий лист	40	60	2400	0,001	0,06
Теплоізоляція, м^2	100	114	11400	0,0025	0,285
Вентилі	20	150	3000	0,0005	0,075
Розширювальний бак $V = 0,050 \text{ м}^3$	5	60	300	0,000125	0,0075
Насоси, 2 шт	6	150	900	0,00015	0,0225
Трубопроводи метал.	40	60	2400	0,001	0,06
Трубопроводи ПВХ	20	50	1000	0,0005	0,025
Радіатори опалення 80 шт.х 8 кг	640	150	96000	0,016	2,4
Вода $0,6 \text{ м}^3$	600	30	18000	0,015	0,45
Всього	—	—	238450	—	5,985
Усього з урахуванням витрат ексергії на обробку та складання обладнання (коефіцієнт 1,2)	—	—	286140	—	—

Було зроблено економічний та ексергетичний розрахунки терміну окупності нової теплоенергетичної установки. Похибка розрахунків становила 5%. Аналіз експериментальних даних показав, що заміна прототипу новою установкою виявилася ефективною.

Висновки. Виконано аналіз технічних можливостей різних типів сонячних установок, вивчено матеріали, що застосовуються в установках. Вибрані: варіант сонячної установки як прототип для оптимізації, інтеграції та автоматизації; матеріали, що застосовуються у нових розробках сонячних установок та обладнання. Складено нову технологічну схему як проект нової теплоенергетичної установки. Було виконано розрахунок ексергетичної ефективності застосування нових матеріалів та обладнання. Це

дозволяє збільшити: температуру теплоносія до 95 ° С; ККД сонячної установки до 92% порівняно з прототипом - 72%, при цьому термін окупності установки можна порівняти з терміном монтажу всієї установки. Установка: забезпечує електроенергією, гарячою водою та опаленням приватне домоволодіння, в якій спільно з вітроелектрогенератором використовується тепловий насос «грунт-вода», акумулятори електроенергії та теплоти, що дозволяє: зменшити собівартість теплової енергії за рахунок зниження матеріаломісткості та витрат на обладнання; економити органічне паливо; виробляти електроенергію та надлишок її віддавати в державну електромережу; зменшити теплове навантаження та забруднення навколишнього середовища.

Таблиця 2 – Расходи ексергії на проектування і виготовлення нової теплоенергетичної установки

Матеріал	Маса M_b , кг	Питома енерго- ємність $\mathcal{E}_b$, МДж/кг	Повні ви- трати ек- сергії E , МДж	Питомі витрати ексергії, m_b	$m_b \cdot \mathcal{E}_b$
Насоси, 6 шт	24	150	3600	0,0006	0,09
Теплоізоляція, м ²	600	114	68400	0,015	1,71
Вентилі	20	150	4500	0,00075	0,1125
Бак-акумулятор – 2 шт. $V = 6 \text{ м}^3$	500	60	30000	0,0125	0,75
Установка хімоводоочи- щення 2 шт.	200	150	30000	0,005	0,75
Теплообмінник – 2 шт.	150	40	6000	0,00375	0,15
Тепловий насос – 1шт.	200	430	86000	0,005	2,15
Вода 0,8 м ³	800	30	24000	0,02	0,6
Трубопроводи метал.	100	60	6000	0,0025	0,15
Трубопроводи ПВХ	70	50	3500	0,00175	0,0875
Всього	—	—	311767	—	7.7942
Усього з урахуванням ви- трат ексергії на обробку та складання обладнання (коефіцієнт 1,2)	—	—	374120.4	—	—

Результати ексергетичного розрахунку ККД прототипу та нової установки, та термін окупності представлені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків

η_a	η_b	$\tau_{i\hat{e}}$, год.
0,4	0,802	2,1

де η_a , η_b – ексергетичний ККД порівнюваних варіантів використання первинної ексергії, $\tau_{i\hat{e}}$ – термін окупності нової теплоенергетичної установки.

Література

1. Селихов Ю.А., Ведь В.Е., Костин В.М. Конструкционные особенности увеличения эффективности работы гелиоустановок. Экотехнологии и ресурсосбережение.— Киев: Типография НАН Украины, № 3, 2004.— с. 70–75.
2. Даффи Дж. А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. — М.: Мир, 1977. — 420 с.
3. Щербина О. Сонячна енергія. Енергія для всіх: Техн. довідник. —Ужгород, 2000. — Розд. 1. — С. 9–32.
4. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, P. 2053–2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
5. Овчаренко В.А. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів //Холод М+Т, 2006, №2 с. 34–36.
6. Даффи Дж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. — М.: Мир, 1977. — 420 с.
7. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки.—М.:Энергоатомиздат, 1991. — 208 с.
8. Особенности современных систем водяного отопления. — К.: П ДП «Такі справи», 2003. — 176 с. — ил.
9. Селихов Ю.А., Селихова Л.Ю., Селихова Н.В. Двоконтурна геліоводонагрівна установка, Патент України, № 64198 А, Бюл. № 2, 2004.
10. Селихов Ю.А., Селихова Л.Ю. Полімерна композиція, Патент України, № 72078 А, Бюл. № 10, 2004.
11. Бекман У., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. М., Мир. 1987. — 224 С.
12. Сарнацкий Э.В. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. — М.: Стройиздат, 1990 — 324 с.
13. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. — М.:Энергоиздат, 1982. — 224 с.
14. Эксергетические расчеты технических систем: Справ. Пособие / Бродянский В.М. и др.: Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. АН УССР. Ин-т технической теплофизики.— Киев: Наук. Думка, 1991. — 360 с.

Bibliography (transliterated)

1. Selihov Yu.A., Ved V.E., Kostin V.M. Konstruktsionnyie osobennosti uvelicheniya effektivnosti raboty gelioustanovok. Ekotehnologii i resursosberezhenie.— Kiev: Tipografiya NAN Ukrainyi, # 3, 2004.— p. 70–75.
2. Daffi Dzh. A., Bekman U.A. Teplovyie protsessyi s ispolzovaniem solnechnoy energii. — M.: Mir, 1977. — 420 p.
3. Scherbina O. Sonyachna energiya. Energiya dlya vsih: Tehn. dovidnik. —Uzhgorod, 2000. — Rozd. 1. — P. 9–32.

4. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS* VOL. 70, 2018, P. 2053–2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
5. Ovcharenko V.A. Ovcharenko A.V. Viktoristannya teplovih nasosiv // *Holod M T*, 2006, #2 p. 34–36.
6. Daffi Dzh., Bekman U.A. Teplovyie protsessyi s ispolzovaniem solnechnoy energii. – M.: Mir, 1977. – 420 p.
7. Harchenko N.V. Individualnyie solnechnyie ustanovki. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 208 p.
8. Osobennosti sovremennyih sistem vodyanogo otopeniya. – K.: P DP «Taki spravi», 2003. – 176 p. – il.
9. Selihov Yu.A., Selihova L.Yu., Selihova N.V. Dvokonturna geliovodonagrivna ustanovka, Patent Ukrayini, # 64198 A, Byul. # 2, 2004.
10. Selihov Yu.A., Selihova L.Yu. Polimerna kompozitsiya, Patent Ukrayini, # 72078 A, Byul. # 10, 2004.
11. Bekman U., Gilli P. Teplovoe akkumulirovanie energii. M., Mir. 1987. – 224 p.
12. Sarnatskiy E.V. Sistemyi solnechnogo teplo- i hladosnabzheniya. – M.: Stroyizdat, 1990 – 324 p.
13. Rey D., Makmaykl D. Teplovyie nasosyi: Per. s angl. – M.: Energoizdat, 1982. – 224 p.
14. Eksergeticheskie raschetyi tehnikeskikh sistem: Sprav. Posobie / Brodyanskiy V.M. i dr.: Pod red. Dolinskogo A.A., Brodyanskogo V.M. AN USSR. In-t tehnikeskoy teplofiziki. – Kiev: Nauk. Dumka, 1991. – 360 p.

УДК 662.997

Селіхов Ю.А., к.техн.н., професор, Горбунов К.О., к.техн.н., професор, Стасов В.А.

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ОПАЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ

Сонячна енергія широко використовується в сонячних системах, де поєднуються економічність та екологія. А саме це є важливим моментом в епоху виснаження енергетичних ресурсів. Використання сонячної енергії є перспективною статтею економії для всіх країн світу, відповідаючи їхнім інтересам ще й щодо енергетичної незалежності, завдяки чому вона впевнено завойовує стійкі позиції у світовій енергетиці. Вартість тепла, одержуваного за допомогою використання сонячних установок, значною мірою залежить від радіаційно-кліматичних умов місцевості, де застосовується сонячна установка. Кліматичні умови нашої країни, особливо південь, дозволяють використовувати енергію Сонця для покриття значної частини потреб у теплоті. Зменшення запасів органічного палива та його подорожчання призвели до розробок оптимальних технічних рішень, ефективності та економічної доцільності застосування сонячних установок. І

сьогодні це вже не пуста цікавість, а усвідомлене прагнення домовласників зберегти не лише свій фінансовий бюджет, а й здоров'я, що можливе лише при використанні альтернативних джерел енергії, таких як: двоконтурні сонячні установки, геотермальні теплові насоси (ТН), вітроелектрогенератори. Особливо гостро проблема в теплопостачанні об'єктів житлово-комунального господарства (ЖКГ), де витрати палива на виробництво теплоти, перевищують у кілька разів витрати на електропостачання. Основними недоліками централізованих джерел теплопостачання є низька енергетична, економічна та екологічна ефективність. А високі транспортні тарифи на доставку енергоносіїв та часті аварії на теплотрасах ускладнюють негативні фактори, притаманні традиційному централізованому теплопостачанню. Одним із ефективних енергозберігаючих способів, що дають можливість економити органічне паливо, знижувати забруднення навколишнього середовища, задовольняти потреби споживачів у технологічному теплі є застосування теплонасосних технологій виробництва теплоти.

Ключові слова: сонячна енергія, двоконтурна сонячна установка, сонячна система, геотермальний тепловий насос, вітроелектрогенератор, прототип, оптимізація, інтеграція, автоматизація, технологічна схема.

Селихов Ю.А., Горбунов К.А., Стасов В.А.

ИНТЕГРАЦИЯ РАБОТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Солнечная энергия широко используется в солнечных системах, где соединяются экономичность и экология. А именно это представляет важный момент в эпоху истощения энергетических ресурсов. Использование солнечной энергии является перспективной статьей экономии для всех стран мира, отвечая их интересам еще и в плане энергетической независимости, благодаря чему она уверенно завоевывает стойкие позиции в мировой энергетике. Стоимость тепла, получаемого за счет использования солнечных установок, в значительной мере зависит от радиационно-климатических условий местности, где применяется солнечная установка. Климатические условия нашей страны, особенно юг, позволяют использовать энергию Солнца для покрытия значительной части потребностей в теплоте. Уменьшение запасов органического топлива и его удорожание привели к разработкам оптимальных технических решений, эффективности и экономической целесообразности применения солнечных установок. И сегодня это уже не праздное любопытство, а осознанное стремление домовладельцев сохранить не только свой финансовый бюджет, но и здоровье, что возможно только при использовании альтернативных источников энергии, таких как: двухконтурные солнечные установки, геотермальные тепловые насосы (ТН), ветроэлектрогенераторы. Особенно остро проблема обозначилась в теплоснабжении объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), где затраты топлива на производство теплоты, превосходят в несколько раз затраты на электроснабжение. Основными недостатками централизованных источников теплоснабжения являются низкая энергетическая, экономическая и экологическая эффективность. А высокие транспортные тарифы на доставку энергоносителей и частые аварии на теплотрассах усугубляют негативные факторы, присущие традиционному

централизованному теплоснабженню. Одним из эффективных энергосберегающих способов, дающих возможность экономить органическое топливо, снижать загрязнение окружающей среды, удовлетворять нужды потребителей в технологическом тепле, является применение теплонасосных технологий производства теплоты.

Ключевые слова: солнечная энергия, двухконтурная солнечная установка, солнечная система, геотермальный тепловой насос, ветроэлектрогенератор, прототип, оптимизация, интеграция, автоматизация, технологическая схема.

Selikhov Yu.A., Gorbunov K.A., Stasov V.A.

RENEWABLE ENERGY INTEGRATION FOR HOT WATER SUPPLY AND HEATING OF BUILDINGS

Solar energy is widely used in solar systems, where economy and ecology are combined. Namely, this represents an important moment in the era of depletion of energy resources. The use of solar energy is a promising economical item for all countries of the world, meeting their interests also in terms of energy independence, thanks to which it is confidently gaining a stable position in the global energy sector. The cost of heat obtained through the use of solar installations largely depends on the radiation and climatic conditions of the area where the solar installation is used. The climatic conditions of our country, especially the south, make it possible to use the energy of the Sun to cover a significant part of the need for heat. A decrease in the reserves of fossil fuel and its rise in price have led to the development of optimal technical solutions, efficiency and economic feasibility of using solar installations. And today this is no longer an idle curiosity, but a conscious desire of homeowners to save not only their financial budget, but also health, which is possible only with the use of alternative energy sources, such as: double-circuit solar installations, geothermal heat pumps (HP), wind power generators. The problem is especially acute in the heat supply of housing and communal services (HCS), where the cost of fuel for heat production is several times higher than the cost of electricity. The main disadvantages of centralized heat supply sources are low energy, economic and environmental efficiency. And high transport tariffs for the delivery of energy carriers and frequent accidents on heating mains exacerbate the negative factors inherent in traditional district heating. One of the most effective energy-saving methods that make it possible to save fossil fuel, reduce environmental pollution, and meet the needs of consumers in process heat is the use of heat pump technologies for heat production.

Keywords: solar energy, double-circuit solar installation, solar system, geothermal heat pump, wind power generator, prototype, optimization, integration, automation, technological scheme.

Бабіченко А.К., к. техн. наук, доцент, Бабіченко Ю.А., к. техн. наук, доцент,
Кравченко Я.О., PhD, Красніков І.Л., к. техн. наук, доцент

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АБСОРБЦІЙНО-ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м.Харків

Ключові слова: виробництво аміаку, абсорбційно-холодильна установка, алгоритм прийняття рішень, енергоефективність.

Вступ

Виробництво більшої частини аміаку в Україні здійснюється у великотоннажних агрегатах серії АМ-1360, що побудовані за традиційно прийнятою майже в усіх країнах технологією [1, 2]. Характерна особливість агрегатів серії АМ-1360 полягає у застосуванні водоаміачних абсорбційно-холодильних установок (АХУ) загальною проектною холодопродуктивністю 5,4 Гкал/год (6,28 МВт), які забезпечують роботу двох низькотемпературних випарників (ВНТ) на дільниці вторинної конденсації відділення синтезу для охолодження циркуляційного газу (ЦГ) до регламентної норми $\Theta_{\text{Ц}}^{\text{ВНХ}} = -5^{\circ}\text{C}$ [3]. Проте застосування апаратів повітряного охолодження (АПО) в АХУ у якості конденсаторів та на попередній стадії первинної конденсації у зв'язку із дією зовнішніх збурень, таких як температура та вологість атмосферного повітря, обумовлюють надмірну залежність ефективності роботи цих холодильних установок від таких дій. У зв'язку з чим холодопродуктивність АХУ, а отже і температура охолодження ЦГ мають значні відхилення від регламентних норм, що обумовлює зниження ефективності експлуатації агрегату синтезу загалом. Згідно досліджень [4] збільшення температури охолодження ЦГ на дільниці вторинної конденсації навіть на 1°C сприяє підвищенню витрати природного газу на 307 тис.м³/год. Враховуючи наведене вище, оператор повинен мати інформацію не тільки щодо якісної оцінки змін показників ефективності АХУ в умовах дії зовнішніх збурень, яка достатньо висвітлена в літературі [5], але і чисельної для прийняття рішень у промислових умовах з метою визначення можливості зниження температури охолодження ЦГ. Проте в реальних умовах експлуатації існуюча автоматизована система керування, що реалізована на базі інформаційно-керуючого комплексу TDC-3000 [6] з широкими функціональними можливостями по програмуванню, не має алгоритмічно-програмного забезпечення для такого прийняття рішень. Тому задача його розробки набуває особливої актуальності у загальному процесі підвищення економічності виробництва аміаку.

Аналіз літератури та існуючої інформаційної системи комплексу TDC-3000

Існуючі методики матеріально-теплого розрахунку АХУ достатньо висвітлені в літературних джерелах [7–9]. Реалізована в промислових умовах інформаційна система не дозволяє в повній мірі використати запропоновані в цих виданнях алгоритми, які спрямовані, як правило, на проектування циклів АХУ із заздалегідь відомими вихідними даними. Неможливість визначення показників ефективності експлуатації АХУ промислового агрегату обумовлена відсутністю оперативної інформації по таких парамет-

рах як концентрація аміаку у слабкому та міцному розчинах, а також концентрацій складових ЦГ на вході комплексу вторинної конденсації. При цьому визначення цих концентрацій відбувається за допомогою лабораторних аналізів з відбором проб лише раз на добу. За таких обставин існуюча інформаційна система має бути доповнена приладами для автоматичного контролю та проведення перевірки на відсутність перехідних режимів на основі збіжності теплових балансів по підводу та відводу теплоти в апаратах АХУ. Все це вимагає удосконалення існуючої інформаційної системи та розробки алгоритмічного забезпечення з урахуванням встановлених особливостей.

Узагальнена схема АХУ з основними існуючими точками контролю параметрів згідно регламенту наведена на рис.1.

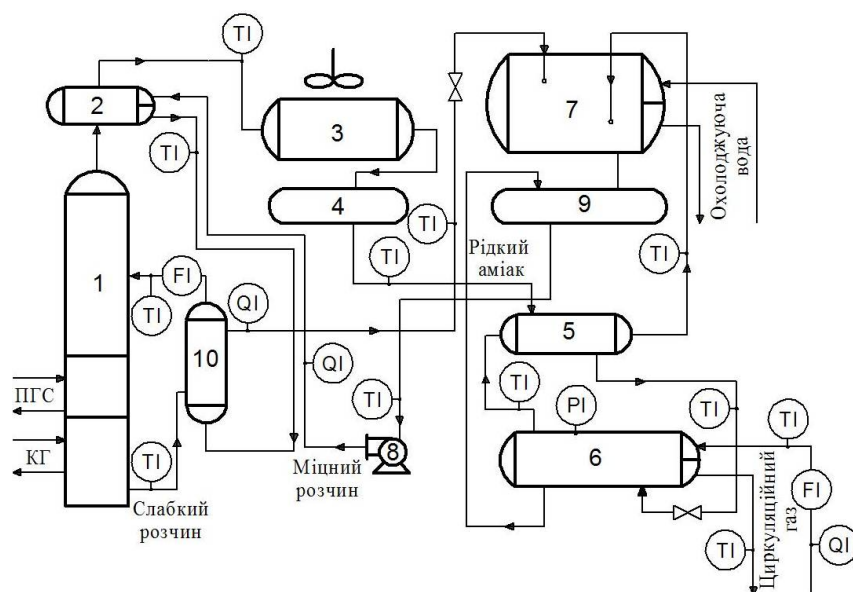


Рисунок 1 – Схема абсорбційно-холодильної установки з основними точками контролю технологічних параметрів: 1 – генератор-ректифікатор; 2 – дефлегматор; 3 – конденсатор повітряного охолодження; 4 – ресивер конденсатора; 5 – переохолодник; 6 – випарник; 7 – абсорбер; 8 – насос міцного розчину; 9 – ресивер абсорбера; 10 – теплообмінник розчинів; ПГС – парагазова суміш; КГ – конвертований газ

Мета роботи

Створення алгоритмічно-програмного забезпечення для чисельної оцінки показників ефективності роботи АХУ та прийняття рішень щодо можливості зниження температури охолодження ЦГ у ВНТ, а отже і підвищення економічності виробництва аміаку загалом.

Алгоритмічне забезпечення щодо чисельної оцінки показників ефективності АХУ

Проведений пошук існуючих засобів автоматичного контролю концентрацій аміаку у розчинах і ЦГ дозволив встановити, що для контролю вмісту аміаку у слабкому розчині можуть бути використані вітчизняні прилади зі стандартним уніфікованим вихідним сигналом, а саме сигналізатор рідини типу «Аналіз-3» мод. 0601 з діапазоном вимірювань 15–30 % мас та для ЦГ – термокондуктометричний газоаналізатор «Диск-301» з діапазоном вимірювань по аміаку 0–15 % об., а по водню 50–80 % об. При цьому

концентрація азоту визначалась згідно виконаних лабораторних аналізів у співвідношенні $N_2:N_2=3$. Концентрація аргону і метану приймалась за залишковим принципом у рівних долях. Такий розподіл був перевірений і прийнятий за результатами розрахунків питомої теплоємності потоку ЦГ, похибка визначення якої у порівнянні з даними лабораторних аналізів не перевищувала 0,15 %.

В процесі розробки алгоритму були використані загальновідомі рівняння матеріального і теплового балансу, що застовуються для розрахунку циклів АХУ [5]. В алгоритмі можна виділити наступні основні етапи: визначення холодопродуктивності та витрати рідкого аміаку за складом ЦГ; розрахунок концентрації та витрати міцного розчину і збігання її розрахунку δ (%); визначення кратності циркуляції розчинів за концентраціями, витратою міцного розчину і витратою рідкого аміаку та їх збігання Δ (%); визначення збігання загального теплового балансу АХУ. При цьому алгоритм включає такі основні функціональні блоки:

Блок 1. Виклик задачі до рішення через визначений проміжок часу або по команді оператора.

Блок 2. Відкриття файлу ФАКТ, який обслуговує дану задачу.

Блок 3. Підпрограма читання необхідної інформації файлу DANI, де зберігається інформація про вхідні і вихідні змінні АХУ, яка отримана від комплексу TDC-3000.

Блоки 4 і 5. Визначення теплофізичних властивостей складових ЦГ і холодопродуктивності АХУ за кількістю теплоти Φ (МВт), що було віддане ЦГ у ВНТ за достатньо апробованою в промислових умовах методикою [10]:

$$\Phi = V_{\Gamma}^{BX} \rho_{\Gamma} C_{CP} (\Theta_{\Gamma}^{BX} - \Theta_{\Gamma}^{BIX}) + (V_{\Gamma}^{BX} + 0,5V_K) (i_{\Gamma}^{BX} - i_{\Gamma}^{BIX}) \rho_{NH_3} + V_{\Pi}^{BIX} \rho_{NH_3} (i_{\Pi}^{BX} - i_{\Pi}^{BIX}) + V_K \rho_{NH_3} r, \quad (1)$$

де V_{Γ}^{BX} , V_{Γ}^{BIX} , V_{Π}^{BIX} – об'ємна витрата відповідно ЦГ без урахування аміаку і аміаку рідкого на вході ВНТ, пари аміаку на виході ВНТ та сконденсованого аміаку у ВНТ, $nm^3/год$; ρ_{Γ} , ρ_{NH_3} – густина ЦГ без урахування аміаку та самого аміаку, kg/nm^3 ; C_{CP} – середня теплоємність ЦГ, $kJ/(kg \cdot K)$; i_{Γ}^{BX} , i_{Γ}^{BIX} , i_{Π}^{BX} , i_{Π}^{BIX} – ентальпії рідкого та пароподібного аміаку на вході та виході ВНТ, kJ/kg ; r – питома теплота фазового перетворення аміаку, kJ/kg .

Блок 6. Розрахунок питомої холодопродуктивності q_0 (kJ/kg) та витрати холодоагенту D ($t/год$) за формулами:

$$q_0 = \Theta_8 - i_6; \quad (2)$$

$$\Theta_8 = i_K - (1 - \xi_K) / K; \quad (3)$$

$$D = \Phi / q_0, \quad (4)$$

де i_K – ентальпія пари аміаку на виході з ВНТ за тиску кипіння P_0 , концентрації $\xi_K = 1$ і температури кипіння Θ_8 ; K – тангенс кута нахилу ізотерми в області вологої пари визначається по таблицях [11].

Блок 7. Завдання початкового наближення концентрації міцного розчину ξ_r (кг/кг) та визначення кратності циркуляції розчинів f , витрати міцного розчину G_r (т/год), густини міцного розчину ρ_r (кг/м³) за загальновідомими рівняннями [5, 8]:

$$f = G_r / D; \quad (5)$$

$$f = (\xi_s - \xi_a) / (\xi_r - \xi_a); \quad (6)$$

$$G_r = V_r \rho_r; \quad (7)$$

$$\rho_r = 999 - 0,42\Theta_1 - (360 + 1,4\Theta_1)\xi_r, \quad (8)$$

де ξ_s , ξ_a , ξ_r – концентрація відповідно аміаку на виході дефлегматора, слабкого та міцного розчинів, кг/кг; V_r – об’ємна витрата міцного розчину, м³/год; Θ_1 – температура міцного розчину на виході теплообмінника розчинів, °С.

Блоки 8 і 9. Оцінка похибки умови збіжності δ щодо обчислення G_r за формулою (7) та заданою при початковому наближенні величиною ξ_r . У разі її виконання здійснюється перехід до наступного циклу встановлення величини кратності циркуляції f за формулами (5) і (6). За умови їх збіжності Δ здійснюється перехід до блоку розрахунку питомих ентальпій у вузлових точках АХУ за залежностями, отриманими в процесі апроксимації табличних даних [11, 12] за відповідних температур Θ (К) та тисків P (МПа).

Блок 10. Перевірка на відсутність перехідного режиму роботи АХУ на основі збіжності теплових балансів по підводу та відводу теплоти. При цьому питомі теплоти дефлегмації q_R , генератора-ректифікатора q_h , абсорбції q_a , конденсації q_K і тепловий коефіцієнт η визначаються за рівняннями [8, 13]:

$$q_R = f(i_{41} - i_4); \quad (9)$$

$$q_h = i_5 - i_2 + f(i_2 - i_1) + q_R; \quad (10)$$

$$q_a = i_{81} - i_{31} + f(i_{31} - i_4); \quad (11)$$

$$i_{81} = i_8 + 0,5(t_{81} - t_8); \quad (12)$$

$$q_K = i_5 - i_6; \quad (13)$$

$$\eta = q_0 / q_h, \quad (14)$$

де i_4 , i_{41} – ентальпія міцного розчину на виході абсорбера та на виході дефлегматора, кДж/кг; i_1 , i_2 – ентальпія міцного розчину на виході теплообмінника розчинів та слабкого розчину на виході генератора, кДж/кг; i_5 – ентальпія пари аміаку на виході дефлегматора, кДж/кг; i_6 – ентальпія рідкого аміаку на виході переохолодника, кДж/кг; i_{31} –

ентальпія слабкого розчину на виході теплообмінника розчинів, кДж/кг; i_8 , i_{81} – ентальпія киплячого аміаку у ВНТ та пари аміаку на виході переохолодника, кДж/кг.

Блок 11. Формування масиву поточних даних FORM по основних показниках ефективності роботи АХУ, таких як Φ , f , D , Θ_s і $\Theta_{\text{Ц}}^{\text{ВІХ}}$.

Блок 12. Закриття файлу ФАКТ та вихід із задачі.

Розроблений алгоритм реалізований в пакеті MATLAB та апробований за даними промислової експлуатації АХУ агрегатів синтезу аміаку. На рис. 2 наведені залежності, що в найбільшій мірі характеризують ефективність роботи АХУ.

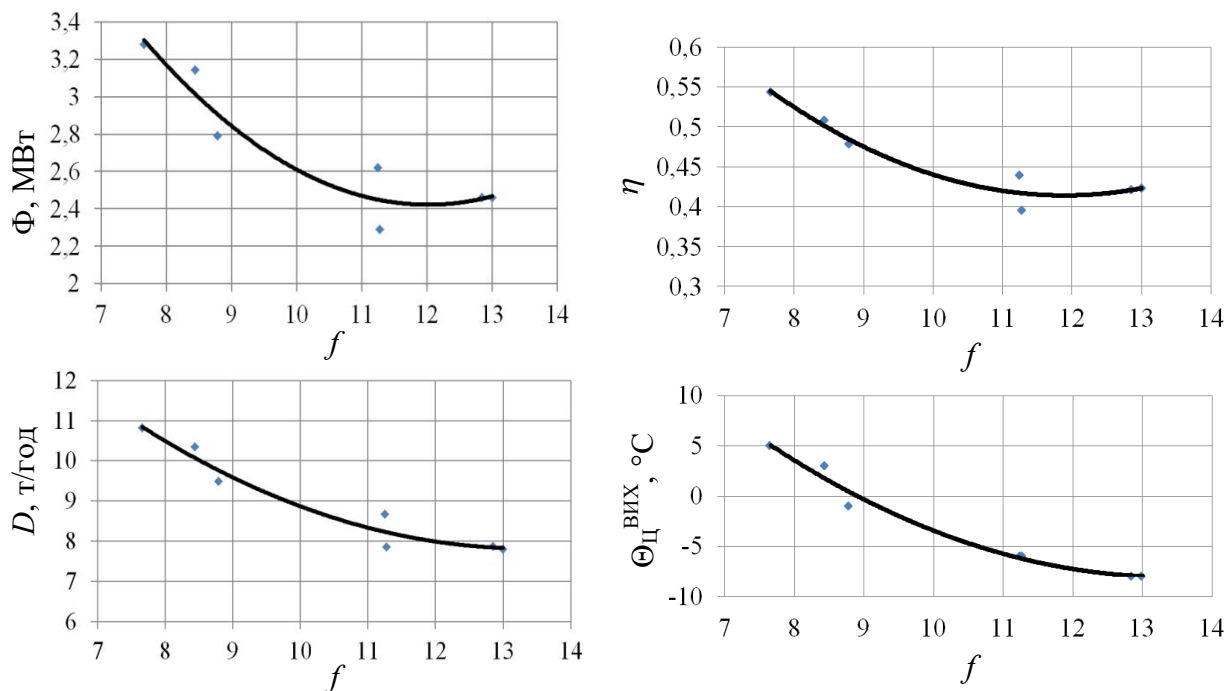


Рисунок 2 – Функціональні залежності щодо ефективності експлуатації АХУ за неузгодженості теплового балансу не більше ніж 2,4 %

Отримані залежності забезпечують можливість прийняття рішень щодо чисельної оцінки основного показника АХУ, а саме кратності циркуляції, регулювання якої за рахунок зміни уставки регулятора витрати міцного розчину дозволяє визначити який буде при цьому і температурний режим охолодження ЦГ у ВНТ. Встановлені залежності забезпечили прийняття рішення про доцільність зменшення холодопродуктивності за рахунок підвищення кратності циркуляції в умовах зменшення теплового навантаження ВНТ в зимовий період, що дозволило знизити $\Theta_{\text{Ц}}^{\text{ВІХ}}$ до -8 °C.

Висновки

За результатами досліджень розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення, адаптоване до існуючої інформаційної системи комплексу TDC-3000 агрегату синтезу аміаку, що дозволяє оператору в реальних умовах виробництва отримувати оперативну інформацію по чисельним показникам ефективності експлуатації АХУ. Визначені рекомендації по додатковому оснащенню засобами вимірювання концентрації потоків, наявність яких дозволить відмовитись від проведення щодобових лабораторних аналізів, а здійснювати лише контрольні для перевірки засобів вимірювання.

Література

1. Dybkjoker I. 100 Years of Ammonia Synthesis Technology. 58th Annual Safety in Ammonia Plants and Related Facilities Symposium. Frankfurt, Germany, August, 2013. URL: https://www.aiche.org/sites/default/files/docs/conferences/8096_Ammonia2013_Committee_Flyer_v8_0.pdf. (Last access: 05.11.2021).
2. Malhotra A. KBR PURIFIER™ Technology and Project Execution Options for Ammonia Plants // 25th AFA International Fertilizer Technology Conference & Exhibition Sustainability Driving the Future. KBR, USA, 2012. URL: http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/afa.com.eg/ContentPages/2565221218.pdf (Last access: 25.10.2021).
3. Галимова Л.В., Кайль В.Я., Веденеева А.И. Оценка степени термодинамического совершенства на основе анализа работы действующей абсорбционной холодильной установки системы синтеза аммиака. Вестник международной академии холода. 2015. № 4. С. 55–60.
4. Бабіченко А.К., Тошинський В.І. Застосування математичного моделювання для діагностики показників ефективності процесів тепло-і масообміну в абсорберах тепловикористовуючих холодильних установок агрегатів синтезу аміаку. Вопросы химии и химической технологии. 2009. № 6. С. 107–111.
5. Холодильные машины : учеб. для вузов / Н.Н. Кошкин, И.А. Сакун, Е.М. Бамбушек и др. ; под общ. ред. И. А. Сакуна. Ленинград : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. 510 с.
6. TDC 3000X Advanced Process Manager Specification and Technical Data. URL: <https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/product-manuals/AP03-400.pdf> (Last access: 07.11.2021).
7. Холодильные машины: учеб. для студентов вузов по спец. «Техника и физика низких температур» / А.В. Бараненко и др. ; под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. Санкт-Петербург : Политехника, 1997. 922 с.
8. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин : учеб. для вузов / Е.М. Бамбушек, Н.Н. Бухарин, Е.Д. Герасимов и др. ; под общ. ред. И.А. Сакуна. Ленинград : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. 423 с.
9. Заторский А.А. Алгоритм расчета параметров узловых точек цикла АХУ на ЭВМ. Химическое и нефтяное машиностроение. 1978. №8. С. 18–19.
10. Ефимов В.Т. Повышение эффективности работы абсорбционных холодильных установок в агрегате синтеза аммиака большой мощности. Холодильная техника. 1979. №2. С. 23–26.
11. Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г., Гуревич Е.С. Примеры и расчеты холодильных машин и аппаратов : учеб. пособие. Москва : Госторгиздат, 1960. 235 с.
12. Холодильные машины : справ. / под ред. А. В. Быкова. Москва : Легкая и пищ. пром-ть, 1982. 224 с.
13. Бадилькес И.С., Данилов Р.Л. Абсорбционные холодильные машины. Москва : Пищевая промышленность, 1966. 356 с.

Bibliography (transliterated)

1. Dybkjoker I. 100 Years of Ammonia Synthesis Technology. 58th Annual Safety in Ammonia Plants and Related Facilities Symposium. Frankfurt, Germany, August, 2013. URL: https://www.aiche.org/sites/default/files/docs/conferences/8096_Ammonia2013_Committee_Flyer_v8_0.pdf. (Last access: 05.11.2021).

2. Malhotra A. KBR PURIFIER™ Technology and Project Execution Options for Ammonia Plants // 25th AFA International Fertilizer Technology Conference & Exhibition Sustainability Driving the Future. KBR, USA, 2012. URL: http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/afa.com.eg/ContentPages/2565221218.pdf (Last access: 25.10.2021).

3. Galimova L.B., Kayl V.Ya., Vedeneyeva A.I. Otsenka stepeni termodinamicheskogo sovershenstva na osnove analiza raboty deystvuyushchey absorbtionnoy kholodilnoy ustanovki sistemy sinteza ammiaka. Vestnik mezhdunarodnoy akademii kholoda. 2015. № 4. P. 55–60.

4. Babichenko A.K., Toshynskiy V.I. Zastosuvannia matematychnoho modeliuvannia dlia diahnostyky pokaznykiv efektyvnosti protsesiv teplo-i masoobminu v absorberakh teplovikorystovuiuchykh kholodylnykh ustanovok ahrehativ syntezy amiak. Voprosy khymyy y khymicheskoi tekhnolohyy. 2009. № 6. P. 107–111.

5. Kholodilnyye mashiny : ucheb. dlya vuzov / N. N. Koshkin. I. A. Sakun. E. M. Bambushek i dr. ; pod obshch. red. I. A. Sakuna. Leningrad : Mashinostroyeniye. Leningr. otd-niye. 1985. 510 p.

6. TDC 3000X Advanced Process Manager Specification and Technical Data. URL: <https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/product-manuals/AP03-400.pdf> (Last access: 07.11.2021).

7. Kholodilnyye mashiny: ucheb. dlya studentov vuzov po spets. «Tekhnika i fizika nizkikh temperatur» / A.V. Baranenko i dr. ; pod obshch. red. L.S. Timofeyevskogo. Sankt-Peterburg : Politehnika. 1997. 922 p.

8. Teplovyie i konstruktivnyie raschety kholodilnykh mashin : ucheb. dlya vuzov / E.M. Bambushek, N.N. Bukharin, E.D. Gerasimov i dr. ; pod obshch. red. I.A. Sakuna. Leningrad : Mashinostroyeniye. Leningr. otd-niye. 1987. 423 p.

9. Zatorskiy A.A. Algoritm rascheta parametrov uzlovykh toчек tsikla AKhU na EVM. Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroyeniye. 1978. №8. P. 18–19.

10. Efimov V.T. Povysheniye effektivnosti raboty absorbtionnykh kholodilnykh ustanovok v agregate sinteza ammiaka bolshoy moshchnosti. Kholodilnaya tekhnika. 1979. №2. P. 23–26.

11. Rozenfeld L.M., Tkachev A.G., Gurevich E.S. Primery i rasschety kholodilnykh mashin i apparatov : ucheb. posobiye. Moskva : Gostorgizdat. 1960. 235 p.

12. Kholodilnyye mashiny : sprav. / pod red. A. V. Bykova. Moskva : Legkaya i pishch. prom-t. 1982. 224 p.

13. Badylkes I.S., Danilov R.L. Absorbtionnyye kholodilnyye mashiny. Moskva : Pishchevaya promyshlennost. 1966. 356 p.

УДК 66.012-52:661.531

Бабіченко А.К., к. техн. наук, доцент, Бабіченко Ю.А., к. техн. наук, доцент,
Кравченко Я.О., PhD, Красніков І.Л., к. техн. наук, доцент

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АБСОРБЦІЙНО-ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

Встановлені особливості апаратурно-технологічного оформлення діючих в Україні агрегатів синтезу аміаку серії АМ-1360, основна з яких полягає у застосуванні у

комплексі вторинної конденсації тепловикористуючих водоаміачних абсорбційно-холодильних установок. Проведений аналіз функціонування абсорбційно-холодильних установок. Встановлена суттєва залежність їх ефективності роботи від дії зовнішніх збурень, таких як температура та вологість атмосферного повітря. Це обумовлює значні коливання температури охолодження циркуляційного газу у випарниках абсорбційно-холодильних установок, що в значній мірі впливає на економічність роботи виробництва аміаку в цілому. За результатами аналізу існуючої інформаційної системи, що реалізована на базі мікропроцесорного комплексу TDC-3000, розроблені рекомендації щодо її удосконалення, наявність яких дозволяє відмовитись від проведення щодобових аналізів та здійснювати лише контрольні для перевірки засобів вимірювання.

Розроблено алгоритмічне забезпечення, що реалізовано в пакеті MATLAB та апробовано за даними промислової експлуатації абсорбційно-холодильних установок агрегату синтезу аміаку. Це дозволяє оператору в реальних умовах виробництва отримувати оперативну інформацію по чисельним показникам ефективності експлуатації абсорбційно-холодильних установок, що в найбільшій мірі характеризують їх роботу (кратність циркуляції, холодопродуктивність, температура охолодження циркуляційного газу та тепловий коефіцієнт), та приймати рішення щодо можливості зниження температури охолодження циркуляційного газу у випарниках шляхом зміни кратності циркуляції розчинів. Створене алгоритмічно-програмне забезпечення в середовищі MATLAB дозволяє вбудовувати модуль клієнтської частини, так званий OPC-клієнт. Останній забезпечує технологію вільного програмування доступу до поточних даних.

Ключові слова: виробництво аміаку, абсорбційно-холодильна установка, алгоритм прийняття рішень, енергоефективність.

Бабиченко А.К., к. техн. наук, доцент, Бабиченко Ю.А., к. техн. наук, доцент,
Кравченко Я.О., PhD, Красников И.Л., к. техн. наук, доцент

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АБСОРБЦИОННО- ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВ АММИАКА

Установлены особенности аппаратурно-технологического оформления действующих в Украине агрегатов синтеза аммиака серии АМ-1360, основная из которых заключается в применении в комплексе вторичной конденсации теплоиспользующих водоаммиачных абсорбционно-холодильных установок. Проведен анализ функционирования абсорбционно-холодильных установок. Установлена существенная зависимость их эффективности работы от внешних возмущений, таких как температура и влажность атмосферного воздуха. Это обуславливает значительные колебания температуры охлаждения циркуляционного газа в испарителях абсорбционно-холодильных установок, что в значительной степени влияет на экономичность производства аммиака в целом. По результатам анализа существующей информационной системы, реализованной на базе микропроцессорного комплекса TDC-3000, разработаны рекомендации по ее усовершенствованию, наличие которых позволяет отказаться от проведения ежедневных анализов и осуществлять только контрольные для проверки средств измерения.

Разработано алгоритмическое обеспечение, реализуемое в пакете MATLAB и апробированное по данным промышленной эксплуатации абсорбционно-холодильных установок агрегата синтеза аммиака. Это позволяет оператору в реальных условиях производства получать оперативную информацию по численным показателям эффек-

тивності експлуатації абсорбційно-холодильних установок, в найбільшій степені характеризуючих їх роботу (кратність циркуляції, хладопроизводительность, температура охлаждения циркуляционного газа и тепловой коэффициент) и принимать решение о возможности снижения температуры охлаждения. циркуляционного газа в испарителях путем изменения кратности циркуляции растворов. Созданное алгоритмично-программное обеспечение в среде MATLAB позволяет встраивать модуль клиентской части, так называемый OPC-клиент. Последний обеспечивает технологию свободного программирования доступа к текущим данным.

Ключевые слова: производство аммиака, абсорбционно-холодильная установка, алгоритм принятия решений, энергоэффективность.

Babichenko A.K., Babichenko Yu.A., Kravchenko Ya.O., Krasnikov I.L.

ALGORITHMIC SUPPORT FOR DECISION-MAKING ON THE EFFICIENCY OF OPERATION OF ABSORPTION AND REFRIGERATION PLANTS OF AMMONIA PRODUCTION

The features of the hardware and technological design of the AM-1360 series ammonia synthesis units operating in Ukraine are established, the main of which is the use of heat-using ammonia-water absorption and refrigeration units in the secondary condensation complex. The analysis of the functioning of the absorption and refrigeration units has been carried out. A significant dependence of their efficiency on external disturbances, such as temperature and humidity of atmospheric air, has been established. This causes significant fluctuations in the cooling temperature of the circulating gas in the evaporators of absorption-refrigeration units, which significantly affects the efficiency of ammonia production in general. Based on the results of the analysis of the existing information system, implemented on the basis of the TDC-3000 microprocessor complex, recommendations for its improvement were developed, the presence of which makes it possible to abandon daily analyzes and carry out only control ones to check measuring instruments.

Algorithmic support has been developed, implemented in the MATLAB package and tested according to the data of industrial operation of absorption and refrigeration units of the ammonia synthesis unit. This allows the operator, in real production conditions, to obtain operational information on the numerical indicators of the efficiency of operation of absorption and refrigeration units, which characterize their operation to the greatest extent (circulation rate, cooling capacity, circulating gas cooling temperature and thermal coefficient) and make a decision on the possibility of reducing the cooling temperature. of circulation gas in evaporators by changing the frequency of circulation of solutions. The created algorithmic software in the MATLAB environment allows embedding a client module, the so-called OPC client. The latter provides technology for free programming of access to current data.

Keywords: ammonia production, absorption-refrigeration unit, decision-making algorithm, energy efficiency.

¹Головань Л.В., к. сільск.-госп. н., доцент, ¹Чуприна Ю.Ю., ²Близнюк О.М., д.техн.н, професор, ²Масалітіна Н.Ю., к.техн.н, доцент, ²Белінська А.П., к.техн.н., доцент, ²Белих І.А., к.б.н, доцент

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ГЕНЕТИЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ РОДУ *VIGNA SAVI* З ВИКОРИСТАННЯМ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ – ISSR МАРКЕРІВ

¹Державний біотехнологічний університет", Харків

²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: вигна, генофонд, амплікони, поліморфізм, маркери, ДНК, ISSR, локус, походження, еволюція.

Світові генетичні ресурси рослин є основним джерелом покращення сільськогосподарських культур на найближчі десятиліття. Генофонд рослин має прихований ресурс нових генів, або їх поєднань, у тому числі – селекційно-важливих ознак. Вивчення потенціалу рослинного генофонду з основним біологічним та господарським ознакам дозволяє розширити генетичну базу культур для успішної реалізації селекційних програм різного напрямку. Рід Вигна (*Vigna*) нараховує близько 200 видів, які вирощуються в теплих регіонах планети. Центри походження видів знаходяться в Африці, але маш, урд, адзукі та рисова квасоля мають азіатське походження [1, 2]. Колекція нараховує 20 зразків, які належать до 7 видів роду *Vigna*: *V. aconitifolia* (Jacq.) Marechal (вигна аконитоліста, мотт) – 3 зразки, *V. angularis* (Willd.) Ohwi et Ohashi (адзукі) – 4, *V. radiata* (L.) R. Wilczek (маш) – 4, *V. umbellata* (Thunb.) Ohwi et Ohashi (вигна рисова) – 4, *V. unguiculata* (L.) Walp. (китайська) – 5. В основному, це місцеві сорти, біля 10 % – селекційні сорти та 1% складають форми, які ростуть в природі.

Багатоградне використання культивованих видів роду *Vigna* сприяло їх поширенню по всій території тропічних, субтропічних та помірних зон земної кулі. Вони є економічно важливими культурами у багатьох країнах, що розвиваються. Аналіз географічного показав, що більшість зразків надійшли від ареалів світового землеробства та формотворення культур. більшість зразків *V. radiata*, *V. mungo*, *V. aconitifolia*, *V. trilobata*, *V. umbellata* отримано з Індії та Пакистану, *V. angularis* – зі Східної Азії та Китаю, *V. unguiculata* – східної Африки (Ефіопія, Кенія), *V. unguiculata* – з Китаю [2, 3]. Однак конкретне місце одомашнення цієї культури точно не було встановлено, і в численних джерелах літератури можна зустріти різні думки вчених з питань походження вигни та центрів її різноманітності [3]. Останнім часом, використовуючи методи молекулярної генетики (RAPD, AFLP та інших) було підтверджено, що північна частина Африки є центром походження окультуреної, оскільки, дикі типи Західної Африки більш близькі до культурних форм, ніж дикі типи Східної та Південної Африки [4–6]. Варто відмітити, що види вигни мають значний внутрішньовидовий поліморфізм. У зразків відмічена сильна мінливість морфологічних та господарсько-цінних ознак [7]. Такий широкий розмах варіативної мінливості обумовлений місцями культивування зразків, різними екологічними умовами (рівнини, гори, клімат).

Розвиток науки сприяв появі біотехнологічних методів, що дозволяють виявити відмінності безпосередньо в генетичному матеріалі, що дало великий стрибок у дослідженні структурно-функціональної організації геномів різних рослин, зокрема і роду

Vigna. Останнім часом здійснено багато наукових проектів щодо дослідження характеру генетичного розмаїття роду *Vigna*, вивчено філогенетичні взаємовідносини, а також шляхи реалізації генетичної інформації у фенотипі, використання генетичного моніторингу у селекції та розвитку стратегії кріоконсервації. Ці напрями були реалізовані завдяки використанню молекулярних технологій [3, 5, 8].

Однак ситуація, що склалася в цій галузі досліджень, залишає безліч ще невирішених на даний момент систематичних та філогенетичних питань, генетичні та молекулярні дослідження яких дозволять надалі скласти правильне уявлення про еволюційний розвиток роду *Vigna*.

Метою роботи є аналіз еколого-географічного різноманіття зразків вигни колекції кафедри екології та біотехнології з використанням молекулярних маркерів, та дослідження потенційних можливостей використання даної культури в екологічній селекції для вирощування в кліматичних зонах нашої країни.

Матеріал та методика досліджень

Об'єктом досліджень слугували 20 зразків зернобобових культур, які відносяться до роду *Vigna* (табл. 1). Вихідний матеріал був представлений Національним центром генетичних ресурсів рослин України (НЦГРРЦУ). Рід *Vigna* був представлений підродом *Vigna* (15 зразків) і *Ceratotropis* (5 зразків). Аналізовані зразки підроду *Ceratotropis* були відібрані з трьох секцій: *Ceratotropis* – вид *V. radiata*; *Aconitifolia* – вид *V. aconitifolia*; *Angularis* – вид *V. angularis* та *V. umbellata*. Підвид *Vigna* був представлений секцією *Catjang*: вид *V. unguiculata* з підвидом *unguiculata*.

Таблиця 1 – Вихідний матеріал роду *Vigna* Savi

№ національного каталогу	Зразок	Країна походження
<i>V. radiata</i>		
UD1000006	Місцевий 4	Україна
UD1000015	Mungbohne	Німеччина
UKR001:00037	–	Україна
UKR001:00039	–	Узбекистан
<i>V. aconitifolia</i>		
UD1000033	–	Індія
UD1000019	–	Афганістан
UD1000021	–	Росія
<i>V. angularis</i>		
UD1000005	Шянь-ли	Росія
UD1000007	–	Китай
UD1000014	<i>Akatsukida vagon</i>	Японія
UD1000009	<i>Rotobuku Adsuki</i>	Японія
<i>V. umbellata</i>		
UD1000052	–	Індонезія
UD1000053	–	Індонезія
UD1000076	–	США
UD1000016	–	США
<i>V. unguiculata</i>		
UKR001:00040	–	Україна
UD1000043	Людміла	Україна
UD1000044	Гібрид 7	Україна
UD1000045	Удавчик	Україна
UKR001:00048	Соя овочева	Туркменістан

Поліморфізм ДНК зразків вигни вивчали з використанням праймерів до міжмікросателітних послідовностей (табл. 2) (University of British Columbia, Канада).

Таблиця 2 – Нуклеотидні послідовності ISSR маркерів

Праймер	Нуклеотидна послідовність 5'3'	Праймер	Нуклеотидна послідовність 5'3'
ISSR 2	(CA) ₈ AG	UBC 807	(AG) ₈ T
ISSR 810	(GA) ₈ T	UBC 810	(GA) ₈ T
ISSR 825	(AC) ₈ T	UBC 826	(AC) ₈ C
ISSR 834	(AG) ₈ CTT	UBC 842	(GA) ₈ CTG
ISSR 842	(GA) ₈ CTG	UBC 846	(CA) ₈ CT
UBC 2	(CA) ₈ AG	UBC 857	(AC) ₈ AG

ДНК виділяли із суміші 10 зрілих насінин кожного зразка за допомогою набору для виділення ДНК «Diatom DNA Prep100». Для цього використовували лікуючий реагент з гуанідинхлоридом для сольобізації клітинного дебрису та денатурації клітинних наклеаз. У присутності лікуючого реагенту ДНК сорбували на сілка-сорбенту, відмивали від білків та солей спиртовим розчином. Виділення ДНК проводили відповідно до протоколу, який запропоновано в інструкції до набору «Diatom DNA Prep100». Ампліфікацію ДНК проводили з використанням наборів для ПЛР GenePaktm PCR Core. Пробірки містили ліофілізовані сухі реакційні суміші, готові для проведення ПЛР, до них додавали 20 нг виділеної ДНК зразків вигни, 0,2мкМ праймера, потім реакційну суміш доводили до 20 мкл розчинником з набору для ПЛР. ПЛР проводили на чотирьохканальному програмованому термоциклері ТП4-ПЦР-01-Терцик за наступних умов: 1 цикл – початкова денатурація ДНК при 94 °С – 5 хв., 45 циклів ампліфікації за наступних умов для кожного циклу: 94 °С – 1 хв., відпал – 36 °С – 1 хв., елонгація – 72 °С – 2 хв., 1 цикл – фінальна елонгація, 72 °С – 7 хв. При даних умовах результати ампліфікації відтворювалися. Кожен аналіз проводився у 2-х кратній повторності.

Електрофорез продуктів ампліфікації проводили методом горизонтального електрофорезу у 1,5 % агарозному гелі у присутності бромистого етидію. Як електродний та буфер для гелю використовували Тріс-ЕДТА-боратну буферну систему – 0,09 М Тріс, 0,09 М Н₃ВО₃, 0,0031 М ЕДТА (рН 8,3). Електрофорез проводили у горизонтальному приладі Hoefer SuperSub100. Як маркер для визначення розмірів ампліфікованих фрагментів використовували 1 kb DNA leader та pUC19/Msp 1. Візуалізацію результатів аналізу здійснювали за допомогою транслюмінатора TCP-20 MC з послідовним фотографуванням гелів в Уф-променях. Визначення кількості та розмірів продуктів ампліфікації проводили за допомогою програмного пакету “TotalLab TL120” (<http://www.totallab.com>) демоверсія. За результатами аналізу були створені бінарні матриці по кожному праймеру, в яких було відмічено «присутність» (1) чи «відсутність» (0) фрагментів з однаковою молекулярною масою на електрофореграмі. Кожен компонент розглядався як окремий генетичний локус. Рівень поліморфізму для кожного праймеру визначали як частку поліморфних локусів від загальної кількості локусів на одні праймер, виражений у відсотках. Внутрішньопопуляційний та міжвидовий поліморфізм вигни за ДНК маркерами розраховували як частку виявлених локусів у певного зразка від загальної кількості ідентифікованих локусів, виражених у відсотках.

Аналіз генетичного різноманіття проводили обчисленням генетичних дистанцій за Nei, Li [9, 10]. Кластеризацію та побудову дендрограм, що показує філогенетичні зв'язки між вивченими зразками квасолі, проводили методом NJ (близьких сусідів) за

допомогою пакету програм Phylip-3.69. (<http://evolution.genetics.washington.edu/phylip.html>). Статистичну достовірність утворення кластерів в отриманих деревах оцінювали за допомогою бутстреп-аналізу у програмі PHYLIP. Оцінка бутстреп-значень була проведена у 1000 повторностях.

Результати досліджень

Молекулярно-генетичний аналіз зразків вигни дозволив ідентифікувати 145 ISSR-локусів, серед яких 114 були поліморфними (78,6 %). Продукти ампліфікації ДНК різнилися за розміром та кількістю фрагментів. Максимальний рівень поліморфізму відмічено при використанні праймеру UBC 842 (100,0 %), а мінімальний – UBC 846 (50,0 %) (табл. 3). Кількість ампліфікованих локусів з використанням різних праймерів варіювала від 4 (UBC 846) до 17 (ISSR 834). Рівень поліморфізму зразків використовуваних при проведенні ISSR аналізу склав 78,6 %.

Таблиця 3 – Молекулярно-генетичний поліморфізм зразків вигни, виявлений з використання ISSR аналізу

Праймер	Кількість виявлених ампліконів, шт.	Кількість поліморфних ампліконів, шт.	Рівень поліморфізму, %	Розмір ампліконів, п.н.
ISSR 2	12	10	83,3	250-876
ISSR 810	16	13	81,3	374-871
ISSR 825	10	7	70,0	354-756
ISSR 834	21	17	81,0	278-1247
ISSR 842	9	5	55,6	357-845
UBC 2	15	10	66,7	267-951
UBC 807	11	9	81,8	224-901
UBC 810	7	5	71,4	421-876
UBC 826	14	13	92,9	247-1189
UBC 842	10	10	100,0	304-894
UBC 846	8	4	50,0	250-678
UBC 857	12	11	91,7	369-1523
Всього	145	114	78,6	–

З використанням праймера ISSR 834 у досліджуваних видів вигни ідентифіковано 17 локусів розміром ~278 – 1247 п.н. Один фрагмент (~394 п.н.) був мономорфний і виявлявся у всіх колекційних зразків. У зразка UD1000016 виявлено унікальний локус довжиною 414 п.н. (рис. 1).

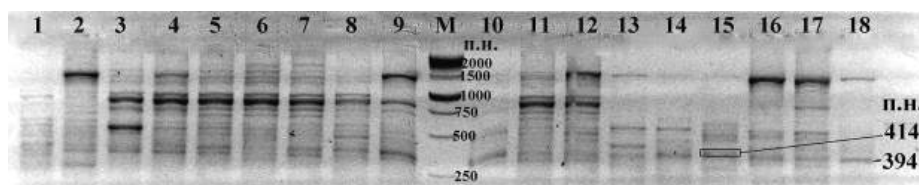


Рисунок – 1 Електрофореграма продуктів ампліфікації ДНК дослідних зразків вигни з праймером ISSR 834

Цифрами позначено мономорфні та унікальні фрагменти, п.н.

В результаті проведених досліджень детектовано 31 мономорфний локус для всіх досліджуваних зразків вигни. Зокрема, за праймером ISSR 2 виявлений фрагмент

розміром 523 п.н., за ISSR 810 – 425 та 501 п.н., за ISSR 825 – 387 та 582 п.н., за ISSR 834 – 394, 654, 1025 та 1145 п.н., за ISSR 842 – 402 та 658 п.н., за UBC 2 – 320, 687 та 902 п.н., за UBC 807 – 369, 587 та 789 п.н., за UBC 810 – 521 та 857 п.н., за UBC 826 – 456, 578, 758 та 1056 п.н., за UBC 842 – 523 та 756 п.н., за UBC 846 – 496 та 647 п.н., за UBC 857 – 420, 875, 1145 та 1367 п.н.

Також у деяких зразків були виявлені унікальні амплікони, присутні тільки в одному генотипі. Так, генотип Mungbohne має унікальний локус довжиною 787 п.н., генотип Шянь-ли – ідентифіковано унікальний локус довжиною 1017 п.н., у генотипу Akatsukida vagon ідентифіковано два унікальні локуси з довжиною ~654 і 985 п.н., у зразка Rotobuku Adsuki виявлено унікальний локус довжиною 514 п.н., у зразка UKR001:00040 ідентифіковано унікальний локус довжиною 524 п.н.

Виявлені в результаті ISSR аналізу мономорфні фрагменти (амплікони) є консервативними ділянками ДНК, які свідчать про єдність походження досліджуваних видів вигни. Унікальні локуси свідчать про генетичну дивергенцію цих видів і про значний поліморфізм геному вигни на міжвидовому рівні. Ідентифіковані унікальні і мономорфні локуси можуть розглядатись як родо- і видоспецифічні маркери, а також маркери певних генотипів. Це дозволяє використовувати їх для генотипування, паспортизації сортів, вивчення філогенетичних відносин в межах роду *Vigna*. Дані локуси можуть бути секвеновані і задіяні для розробки більш специфічних SCAR-маркерів, що з успіхом було продемонстровано для інших культур [8, 11, 12], а також для деяких видів вигни, представлених різними еколого-географічними групами [2].

ISSR-аналіз мінливості колекційних зразків вигни показав різний рівень поліморфізму ДНК залежно від особливостей генотипу, який в середньому становив 62,9 %. Результати аналізу представлені в табл. 4. Найбільшою поліморфністю в досліджуваній колекції характеризувались зразки UD1000053 і UD1000016, в генотипі яких ідентифіковано, відповідно, 136 і 130 локусів із 145 можливих. При цьому рівень поліморфізму даних зразків становив, відповідно, 93,8 та 89,7 %. Мінімальний поліморфізм ДНК за результатами ISSR-аналізу, який становив 32,7 %, відмічено у популяції UKR001:00037. При ампліфікації ДНК даного зразка з різними ISSR-праймерами виявлено 59 локусів із 145. Рівень поліморфізму інших зразків вигни становив 40,7 – 86,2 %, при цьому кількість ідентифікованих фрагментів дорівнювала 59 – 125 на генотип [1, 7, 13].

Визначений рівень популяційного поліморфізму ДНК може бути підтвердженням значної мінливості у відповідних зразків вигни, а також демонструє ступінь їх генетичної дивергенції, яка є наслідком як природних еволюційних процесів, що відбуваються в популяціях вигни, так і дії селективного добору.

В літературних даних при використанні 24 ISSR праймерів для аналізу різноманітності, генотипування та оцінки видових взаємин у азійських форм вигн з Індійського субконтиненту ідентифікували 396 фрагментів, у середньому по 16,5 продуктів на праймер. Було встановлено, що дикі форми *V. mungo* та *V. radiata* згруповані ближче до своїх культиварів. Між аналізованими видами було виявлено помірний потік генів та генетична диференціація. Аналіз молекулярної дисперсії, проведений для групи (mungo–radiata) в трьох різних комбінаціях, показав, що майже половина варіації існує всередині популяцій, тоді як половина, що залишилася, рівномірно розподілена між видами і між популяціями всередині видів.

Було досліджено можливість використання поліморфізмів ДНК з проміжними повтореннями послідовностей (ISSR) для розрізнення таксонів у межах роду *Vigna*. Десять праймерів, більшість яких містять повтор aGA або CA, генерували продукти ампліфікації, які відрізнялися для досліджених таксонів. Поліморфізм ISSR, що про-

дукується 15 праймерами, був дуже ефективний для розрізнення таксонів на рівні видів або нижче. У *Vigna unguiculata* проаналізованих приєднань сформували згуртовану групу. Ми пов'язуємо цю втрату лише із швидкістю еволюції вивчених послідовностей.

Таблиця 4 – Поліморфізм ДНК колекційних зразків вигни, встановлений за результатами ISSR аналізу

Генотип	ISSR		
	кількість виявлених ампліконів		рівень поліморфізму, %
	сумарна у всіх видів, шт.	у певного зразка, шт	
Місцевий 4	145	75	51,7
Mungbohne	145	84	57,9
UKR001:00037	145	54	37,2
UKR001:00039	145	69	47,6
UD1000033	145	74	51,0
UD1000019	145	59	40,7
UD1000021	145	68	46,9
Шянь-ли	145	96	66,2
UD1000007	145	125	86,2
Akatsukida vagon	145	116	80,0
Rotobuku Adsuki	145	98	67,6
UD1000052	145	74	51,0
UD1000053	145	136	93,8
UD1000076	145	98	67,6
UD1000016	145	130	89,7
UKR001:00040	145	104	71,7
Людміла	145	67	46,2
Гібрид 7	145	89	61,4
Удавчик	145	124	85,5
Соя овочева	145	84	57,9
Середнє:			62,9

Висновки. За результатами оцінки поліморфізму ДНК вигни з використанням молекулярно-генетичних маркерів встановлено, що залучені в дослідження види вигни характеризуються високим рівнем поліморфізму ДНК, який в середньому становив 78,6 %. Ідентифіковано 145 локусів, серед яких 31 унікальний, притаманних певному зразку, і 31 мономорфний, характерних для всіх зразків. Мономорфні локуси є консервативними ділянками ДНК, які свідчать про спільне походження залучених в роботу видів вигни, і можуть бути використані як родо- і видоспецифічні маркери. Унікальні локуси свідчать про генетичну дивергенцію досліджуваного матеріалу і можуть слугувати маркерами певних зразків. Встановлено середній рівень внутрішньопопуляційного поліморфізму ДНК вигни (37,2–93,8 %, залежно від генотипу), що свідчить про існування значної мінливості у досліджуваних зразків вигни. Він показує високий рівень генетичної дивергенції видів вигни і свідчить на користь поліфілетичної теорії їх походження.

Література

1. Abbas, G., et al. Genetic confirmation of mungbean (*Vigna radiata*) and mashbean (*Vigna mungo*) interspecific recombinants using molecular markers. // *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6, P. 1107.

2. Anderson J.A., Churchill G.A., Autrique J.E., Tanksley S.D. Optimizing parental selection for genetic linkage maps. // *Genome*. 1993. Vol. 36, P. 181–186. doi:10.1139/g93-024.
3. Aqsa Tabasum, Amjad Hameed & Muhammad Jawad Asghar. Exploring the Genetic Divergence in Mungbean (*Vigna radiata* L.) Germplasm Using Multiple Molecular Marker Systems. // *Molecular Biotechnology*. 2020. Vol. 62, P. 547–556.
4. Fang JG, Chao CCT, Roberts PA, Ehlers JD Genetic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] in four West African and USA breeding programs as determined by AFLP analysis. // *Genet Resour Crop Evol*. 2007. Vol. 54. P. 1197–1209.
5. Gupta S. K., Bansal R. & T. Gopalakrishna Development of intron length polymorphism markers in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] and their transferability to other *Vigna species* // *Molecular Breeding*. 2012. Vol. 30, P. 1363–1370.
6. Gupta S.K., Gopalakrishna T. (2010) Development of unigene-derived SSR markers in cowpea (*Vigna unguiculata*) and their transferability to other *Vigna species*.// *Genome*. 2010. Vol. 53., P. 508–523. doi:10.1139/G10-028.
7. Harsukh Popatbhai Gajera, Rinkal Kishorbhai Domadiya, Sunil Vrajlal Patel & Baljibhai Arjanbhai Golakiya. Appraisal of RAPD and ISSR markers for genetic diversity analysis among cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes. // *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2014. Vol. 17, P. 79–88.
8. Hepper D.R., Wanfulmi S., Shailendra G&S, Rama R. Analysis of genetic variation using ISSR and the development of SCAR marker in synthetic autotetraploids of *Vigna mungo* (L.) // *Vegetos*. 2019. Vol. 32, P. 48–57.
9. Naima Ghalimi, Marie Malice, Jean-Marie Jacquemin, Sidi-Mohamed Ounane, Leila Mekliche & Jean-Pierre Baudoin. Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces. // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2010. Vol. 57, P. 371–386.
10. Nei M., Li W.-H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1979. Vol. 76, Iss. 10. P. 5269–5273. doi: 10.1073/pnas.76.10.5269
11. Pei Xu, Xiaohua Wu, Baogen Wang, Yonghua Liu, Dehui Qin, Jeffery D. Development and polymorphism of *Vigna unguiculata* ssp. *unguiculata* microsatellite markers used for phylogenetic analysis in asparagus bean (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedialis* (L.) Verdc. // *Molecular Breeding*. 2010., Vol. 25, P. 675–684.
12. Ruchi Vir, Tabassum Jehan, K. V. Bhat & S. Lakhanpaul. Genetic characterization and species relationships among selected Asiatic *Vigna* Savi. // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2010. Vol. 57, P. 1091–1107.
13. Shu Y., Li Y., Zhu Y., Zhu Z., Lv D., Bai X., Cai H., Ji W., Guo D Genome-wide identification of intron fragment insertion mutations and their potential use as SCAR molecular markers in the soybean. // *Theor Appl Genet*. 2010. Vol. 121., P. 1–8. doi:10.1007/s00122-010-1285-x.

Bibliography (transliterated)

1. Abbas, G., et al. Genetic confirmation of mungbean (*Vigna radiata*) and mashbean (*Vigna mungo*) interspecific recombinants using molecular markers. // *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6, P. 1107.
2. Anderson J.A., Churchill G.A., Autrique J.E., Tanksley S.D. Optimizing parental selection for genetic linkage maps. // *Genome*. 1993. Vol. 36, P. 181–186. doi:10.1139/g93-024.
3. Aqsa Tabasum, Amjad Hameed & Muhammad Jawad Asghar. Exploring the Genetic Divergence in Mungbean (*Vigna radiata* L.) Germplasm Using Multiple Molecular Marker Systems. // *Molecular Biotechnology*. 2020. Vol. 62, P. 547–556.

4. Fang JG, Chao CCT, Roberts PA, Ehlers JD Genetic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] in four West African and USA breeding programs as determined by AFLP analysis. // Genet Resour Crop Evol. 2007. Vol. 54. P. 1197–1209.
5. Gupta S. K., Bansal R. & T. Gopalakrishna Development of intron length polymorphism markers in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] and their transferability to other *Vigna species* // Molecular Breeding. 2012. Vol. 30, P. 1363–1370.
6. Gupta S.K., Gopalakrishna T. (2010) Development of unigene-derived SSR markers in cowpea (*Vigna unguiculata*) and their transferability to other *Vigna species*.// Genome. 2010. Vol. 53., P. 508–523. doi:10.1139/G10-028.
7. Harsukh Popatbhai Gajera, Rinkal Kishorbhai Domadiya, Sunil Vrajilal Patel & Baljibhai Arjanbhai Golakiya. Appraisal of RAPD and ISSR markers for genetic diversity analysis among cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes. // Journal of Crop Science and Biotechnology. 2014. Vol. 17, P. 79–88.
8. Hepper D. R., Wanfulmi S., Shailendra G&S, Rama R. Analysis of genetic variation using ISSR and the development of SCAR marker in synthetic autotetraploids of *Vigna mungo* (L.) // Vegetos. 2019. Vol. 32, P. 48–57.
9. Naima Ghalmi, Marie Malice, Jean-Marie Jacquemin, Sidi-Mohamed Ounane, Leila Mekliche & Jean-Pierre Baudoin. Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces. // Genetic Resources and Crop Evolution. 2010. Vol. 57, P. 371–386.
10. Nei M., Li W.-H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1979. Vol. 76, Iss. 10. P. 5269–5273. doi: 10.1073/pnas.76.10.5269.
11. Pei Xu, Xiaohua Wu, Baogen Wang, Yonghua Liu, Dehui Qin, Jeffery D. Development and polymorphism of *Vigna unguiculata* ssp. *unguiculata* microsatellite markers used for phylogenetic analysis in asparagus bean (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedialis* (L.) Verdc. // Molecular Breeding. 2010., Vol. 25, P. 675–684.
12. Ruchi Vir, Tabassum Jehan, K. V. Bhat & S. Lakhanpaul. Genetic characterization and species relationships among selected Asiatic *Vigna Savi*. // Genetic Resources and Crop Evolution. 2010. Vol. 57, P. 1091–1107.
13. Shu Y., Li Y., Zhu Y., Zhu Z., Lv D., Bai X., Cai H., Ji W., Guo D Genome-wide identification of intron fragment insertion mutations and their potential use as SCAR molecular markers in the soybean. // Theor Appl Genet. 2010. Vol. 121., P. 1–8. doi:10.1007/s00122-010-1285-x.

УДК 577.21:631.575.22:635.654

¹Головань Л.В., к. г.-г. н., доцент, ¹Чуприна Ю.Ю., ²Близнюк О.М., д.техн.н, професор,
²Масалітіна Н.Ю., к.техн.н, доцент, ²Белінська А.П., к.техн.н., доцент,
²Белих І.А., к.б.н, доцент

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ГЕНЕТИЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ РОДУ *VIGNA SAVI* З ВИКОРИСТАННЯМ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ – ISSR МАРКЕРІВ

Світові генетичні ресурси рослин є основним джерелом покращення сільськогосподарських культур на найближчі десятиліття. Генофонд рослин має прихований ресурс нових генів, або їх поєднань, у тому числі – селекційно-важливих ознак. Вивчення потенціалу рослинного генофонду з основним біологічним та господарським ознакам дозволяє розширити генетичну базу культур для успішної реалізації селекційних програм різного напрямку. Рід Вигна (*Vigna*) нараховує близько 200 видів, які вирощуються в теплих регіонах планети. Центри походження видів знаходяться в Африці, але маш,

урд, адзуки та рисова квасоля мають азіатське походження. Колекція нараховує 20 зразків, які належать до 7 видів роду *Vigna*: *V. aconitifolia* (Jacq.) Marechal (вигна аконитолиста, мотт) – 3 зразки, *V. angularis* (Willd.) Ohwi et Ohashi (адзуки) – 4, *V. radiata* (L.) R. Wilczek (маш) – 4, *V. umbellata* (Thunb.) Ohwi et Ohashi (вигна рисова) – 4, *V. unguiculata* (L.) Walp. (китайська) – 5. В основному, це – місцеві сорти, біля 10 % – селекційні сорти та 1% складають форми, які ростуть в природі.

Багатогранне використання культивованих видів роду *Vigna* сприяло їх поширенню по всій території тропічних, субтропічних та помірних зон земної кулі. Вони є економічно важливими культурами у багатьох країнах, що розвиваються. Аналіз географічного показав, що більшість зразків надійшли від ареалів світового землеробства та формотворення культур. Більшість зразків *V. radiata*, *V. mungo*, *V. aconitifolia*, *V. trilobata*, *V. umbellata* отримано з Індії та Пакистану, *V. angularis* – зі Східної Азії та Китаю, *V. unguiculata* – східної Африки (Ефіопія, Кенія), *V. unguiculata* – з Китаю. Однак конкретне місце одомашнення цієї культури точно не було встановлено, і в численних джерелах літератури можна зустріти різні думки вчених з питань походження вигни та центрів її різноманітності. Останнім часом, використовуючи методи молекулярної генетики (RAPD, AFLP та інших) було підтверджено, що північна частина Африки є центром походження окультуреної, оскільки, дикі типи Західної Африки більш близькі до культурних форм, ніж дикі типи Східної та Південної Африки. Варто відмітити, що види вигни мають значний внутрішньовидовий поліморфізм. У зразків відмічена сильна мінливість морфологічних та господарсько-цінних ознак. Такий широкий розмах варіативної мінливості обумовлений місцями культивування зразків, різними екологічними умовами (рівнини, гори, клімат).

За результатами оцінки поліморфізму ДНК вигни з використанням молекулярно-генетичних маркерів встановлено, що залучені в дослідження види вигни характеризуються високим рівнем поліморфізму ДНК, який в середньому становив 78,6 %. Ідентифіковано 145 локусів, серед яких 31 унікальний, притаманний певному зразку, і 31 монотипний, характерний для всіх зразків. Монотипні локуси є консервативними ділянками ДНК, які свідчать про спільне походження залучених в роботу видів вигни, і можуть бути використані як родо- і видоспецифічні маркери. Унікальні локуси свідчать про генетичну дивергенцію досліджуваного матеріалу і можуть слугувати маркерами певних зразків. Встановлено середній рівень внутрішньопопуляційного поліморфізму ДНК вигни (37,2–93,8 %, залежно від генотипу), що свідчить про існування значної мінливості у досліджуваних зразків вигни. Він показує високий рівень генетичної дивергенції видів вигни і свідчить на користь поліфілетичної теорії їх походження.

Ключові слова: вигна, генофонд, амплікони, поліморфізм, маркери, ДНК, ISSR, локус, походження, еволюція

Головань Л.В., к.сільск.-хоз. н., доцент, Чуприна Ю.Ю., Близнюк О.Н., д.техн.н, професор, Масалитина Н.Ю., к.техн.н, доцент, Белинская А.П., к.техн.н, доцент, Белых И.А., к.біол.н., доцент

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ РОДА *VIGNA* SAVI С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ – ISSR МАРКЕРОВ

Мировые генетические ресурсы растений являются основным источником улучшения сельскохозяйственных культур в ближайшие десятилетия. Генофонд растений имеет скрытый ресурс новых генов или их сочетаний, в том числе – селекционно важных признаков. Изучение потенциала растительного генофонда по основным биологическим и хозяйственным признакам позволяет расширить генетическую базу куль-

тур для успешной реализации селекционных программ разного направления. Род Вигна (*Vigna*) насчитывает около 200 видов, выращиваемых в тёплых регионах планеты. Центры происхождения видов находятся в Африке, но маш, урд, адзуки и рисовая фасоль имеют азиатское происхождение. Коллекция насчитывает 20 образцов, относящихся к 7 видам рода *Vigna*: *V. aconitifolia* (Jacq.) Marechal (изгнание аконитолиста, мотт) – 3 образца, *V. angularis* (Willd.) Ohwi et Ohashi (адзуки) – 4, *V. radiata* (L.) R. Wilczek (маш) – 4; *V. unguiculata* (L.) Walp. (китайская) – 5. В основном, это – местные сорта, около 10 % – селекционные сорта и 1% составляют формы, растущие в природе.

Многогранное использование культивируемых видов рода *Vigna* способствовало их распространению по всей территории тропических, субтропических и умеренных зон земного шара. Они являются экономически важными культурами во многих развивающихся странах. Географический анализ показал, что большинство образцов поступило от ареалов мирового земледелия и формообразования культур. Большинство образцов *V. radiata*, *V. mungo*, *V. aconitifolia*, *V. trilobata*, *V. umbellata* получено из Индии и Пакистана, *V. angularis* – из Восточной Азии и Китая, *V. unguiculata* – восточной Африки (Эфиопия, Кения), *V. unguiculata* – из Китая. Однако конкретное место одомашнивания этой культуры точно не было установлено, и в многочисленных источниках литературы можно встретить разные мнения учёных по происхождению вигны и центров ее разнообразия. В последнее время, используя методы молекулярной генетики (RAPD, AFLP и др.) было подтверждено, что северная часть Африки является центром происхождения окультуренной вигны, поскольку дикие типы Западной Африки более близки к культурным формам, чем дикие типы Восточной и Южной Африки. Следует отметить, что виды вигны имеют значительный внутривидовой полиморфизм. У образцов отмечена сильная изменчивость морфологических и хозяйственно-ценных признаков. Такой широкий размах вариативной изменчивости обусловлен местами культивирования образцов, разными экологическими условиями (равнины, горы, климат).

По результатам оценки полиморфизма ДНК вигны с использованием молекулярно-генетических маркеров установлено, что вовлечённые в исследования виды вигны характеризуются высоким уровнем полиморфизма ДНК, который в среднем составлял 78,6%. Идентифицировано 145 локусов, среди которых 31 уникален, присущ определённому образцу, и 31 мономорфный, характерных для всех образцов. Мономорфные локусы являются консервативными участками ДНК, свидетельствующими о совместном происхождении вовлеченных в работу видов вигны, и могут быть использованы как родо- и видоспецифические маркеры. Уникальные локусы свидетельствуют о генетической дивергенции изучаемого материала и могут служить маркерами определённых образцов. Установлен средний уровень внутривидового полиморфизма ДНК вигны (37,2–93,8 %, в зависимости от генотипа), что свидетельствует о существовании значительной изменчивости изучаемых образцов вигны. Он показывает высокий уровень генетической дивергенции видов вигны и свидетельствует в пользу полифилетической теории их происхождения.

Ключевые слова: изгнание, генофонд, ампликоны, полиморфизм, маркеры, ДНК, ISSR, локус, происхождение, эволюция

Golovan L.V., Chuprina Yu.Yu., Bliznjuk O.N., Masalitina N.Yu., Belinska A.P.,
Bielykh I.A.

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL AND GENETIC DIVERSITY OF THE GENUS *VIGNA* SAIT USING BIOTECHNOLOGICAL METHODS - ISSR MARKERS

The world's genetic resources of plants are the main source of improving crops for decades to come. The gene pool of plants has a hidden resource of new genes, or their combi-

nations, including - selection-important features. The study of the potential of the plant gene pool with the main biological and economic characteristics allows to expand the genetic base of crops for the successful implementation of breeding programs in various areas. The genus *Vigna* has about 200 species that are grown in warm regions of the planet. The centers of origin of the species are in Africa, but mung beans, urd, azuki and rice beans are of Asian origin. The collection includes 20 specimens belonging to 7 species of the genus *Vigna*: *V. aconitifolia* (Jacq.) Marechal (willow aconitolista, mott) – 3 specimens, *V. angularis* (Willd.) Ohwi et Ohashi (adzuki) – 4, *V. radiata* (L.) R. Wilczek (mash) – 4, *V. umbellata* (Thunb.) Ohwi et Ohashi (vigna rice) – 4, *V. unguiculata* (L.) Walp. (Chinese) – 5. These are mainly local varieties, about 10 % are breeding varieties and 1% are forms that grow in nature.

The multifaceted use of cultivated species of the genus *Vigna* contributed to their spread throughout the tropical, subtropical and temperate zones of the globe. They are economically important crops in many developing countries. Geographical analysis showed that most of the samples came from the areas of world agriculture and crop formation. Most samples of *V. radiata*, *V. mungo*, *V. aconitifolia*, *V. trilobata*, *V. umbellata* were obtained from India and Pakistan, *V. angularis* – from East Asia and China, *V. unguiculata* – East Africa (Ethiopia, Kenya), *V. unguiculata* – from China. However, the exact place of domestication of this culture has not been established, and in numerous sources of literature can be found different opinions of scientists on the origin of cowpea and the centers of its diversity. Recently, using the methods of molecular genetics (RAPD, AFLP and others) it was confirmed that the northern part of Africa is the center of origin of the cultured, because the wild types of West Africa are closer to cultural forms than the wild types of East and South Africa. It should be noted that the species of cowpea have a significant intraspecific polymorphism. The samples showed strong variability of morphological and economically valuable features. Such a wide range of variable variability is due to the places of cultivation of samples, different environmental conditions (plains, mountains, climate).

According to the results of the evaluation of the DNA polymorphism of cowpea using molecular genetic markers, it was found that the species of cowpea involved in the study are characterized by a high level of DNA polymorphism, which averaged 78.6 %. 145 loci were identified, including 31 unique, specific to a particular sample, and 31 monomorphic, characteristic of all samples. Monomorphic loci are conserved regions of DNA that indicate the common origin of the species of cowpea involved in the work, and can be used as genus and species-specific markers. Unique loci indicate genetic divergence of the studied material and can serve as markers of certain samples. The average level of intrapopulation polymorphism of cowpea DNA (37.2–93.8 %, depending on the genotype) was established, which indicates the existence of significant variability in the studied samples of cowpea. It shows a high level of genetic divergence of cowpea species and testifies in favor of the polyphyletic theory of their origin.

Keywords: pasture, gene pool, amplicons, polymorphism, markers, DNA, ISSR, locus, origin, evolution

Баулін Д.С., к.т.н., с.н.с., старший науковий співробітник науково-дослідного центру

НІТРОЦЕЛЮЛОЗНІ ПОРОХОВІ ЗАРЯДИ ТРИВАЛИХ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ: ПРОБЛЕМНІ ЗАДАЧІ ТА ЇХ МОЖЛИВІ РІШЕННЯ

Національна академія Національної гвардії України, Харків

Ключові слова: нітроцелюлозні порохові заряди, тривалі терміни експлуатації, балістична стабільність, балістичні та енергетичні характеристики, експериментальні та теоретичні дослідження, періоди експлуатації порохів, омологація, методи регенерації

Постановка проблеми та аналіз публікацій. Однією з вимог, що висуваються до порохів для практичного використання, є стабільність – здатність при зберіганні не змінювати свої фізико-хімічні, а отже, і балістичні властивості.

Балістичні якості піроксилінових порохів визначаються сукупністю ряду властивостей: працездатністю, формою порохових елементів, швидкістю горіння [1–3], та оцінюються величинами початкової швидкості снаряда, максимального тиску порохових газів [3–5] та середнього відхилення початкової швидкості при стрільбі з того чи іншого зброї [1, 4, 6].

Відомо, що нітроцелюлозні пороху (НЦП) є нестійкими хімічними сполуками. Цим зумовлено, що балістична стабільність їх обмежена через автокаталітичну реакцію, швидкість якої може суттєво змінюватися під впливом температури та вологості. Зміна вмісту компонентів пороху супроводжується суттєвою зміною його балістичних властивостей. При зміні вмісту летких речовин у поросі на 1 % швидкість горіння змінюється на 10–12 %, тиск порохових газів – на 9–16 %, а початкова швидкість снаряда – на 3–4 % [2, 7].

Балістична стабільність грає вирішальну роль при встановленні терміну експлуатації порохів [1, 2, 5]. Цим завданням присвячені публікації вітчизняних (Зельдович Я.Б., Воронцов Г.І., Горст А.Г., Зеленський В.П., Шагов Ю.В., Будніков М.А., Левкович Н.А.) та зарубіжних (Бунзен А.І., Баср Ф.В., Лібіх Ю., Вюрц Ш.А., Дьюар Дж., Бертолле К.Л.) вчених.

Тривалість зберігання порохів має винятково велике значення, оскільки з нею пов'язані питання необхідних виробничих потужностей порохових заводів та системи контролю за станом порохів. Проте встановлення гарантійних термінів безпечного зберігання порохів та їхньої експлуатаційної придатності є надзвичайно важкою проблемою.

Малостійкі пороху не тільки не вигідні в економічному відношенні, тому що необхідно часте освіження бойового запасу, а й становлять значну небезпеку. Відомі випадки, коли самозаймання пороху супроводжувалося людськими жертвами, інколи ж приймало розміри великих катастроф [1].

Проблема зберігання та накопичення великої кількості боєприпасів, а саме порохових зарядів, характерна не лише для України, але й для таких розвинених країн НАТО як США (вибух у гарматній вежі лінкору “Айова”, 1989 рік), Німеччина (розриви стволів артилерійських систем), Франція (вибух на складі боєприпасів, 2007 рік), Чехія (вибухи складів боєприпасів у Врбетиці, 2014).

За оцінками, виконаними у середині 1980-х років, потреба загальновійськової

армії у боєприпасах лише до стрілецької зброї на наступальну операцію становить 10000 тонн [8]. У сучасних умовах така потреба буде не нижчою. Задовольнити таку величезну потребу в боєприпасах під час ведення бойових дій можна лише за наявності достатніх запасів, оскільки навіть за наявності достатніх виробничих потужностей, простої та безпечної технології виготовлення порохів, неможливо в короткий термін виготовити, передати до Збройних Сил та розподілити боєприпаси за з'єднаннями, частинами та підрозділам [2, 3].

Проблема старіння порохових набоїв та погіршення, у зв'язку з цим, балістичних характеристик зброї відома і не нова. Є дані досліджень фізико-хімічних змін у пороху, що охоплюють термін їх зберігання до 5 років, прогнози – до 10 років [1, 2]. Однак, у роботах [9–13] отримані дані про зміни, що відбуваються в пороху за більш тривалих термінів зберігання (17–21 р.).

Наразі Україна не має на своїй території заводів, що спеціалізуються на виробництві боєприпасів. Запаси, що зберігаються в арсеналах і складах досить великі, але терміни їх зберігання становлять понад 35 років [14, 15].

Проблема стабілізації порохових зарядів виникає під час розробки та прийняття їх у озброєння. Її актуальність впливає як із вимог забезпечення безпеки у поводженні з порохами, так і з вимог економічного характеру та забезпечення надійності функціонування зарядів боєприпасів.

Це породжує комплексну проблему, пов'язану з:

- можливістю застосування цих боєприпасів;
- відновленням їх властивостей (омологацією);
- визначенням граничних термінів, коли омологація ще можлива;
- утилізацією (знищенням).

Першим проблемним завданням, пов'язаним з питаннями стабілізації порохів, займалося багато дослідників [4, 6, 9, 16, 17], але незважаючи на великий обсяг виконаних робіт, проблема містить ще багато невизначених питань, що пов'язано зі складністю фізико-хімічних процесів, які протікають у пороху при зберіганні, складністю спостереження за перебігом цих процесів у багатокомпонентних жорстких системах (особливо на проміжних стадіях), неможливістю виділення в чистому вигляді більшості продуктів перетворення. Теоретично вона також не має розвитку через відсутність дійсної хімічної формули НЦП.

В останні роки накопичено великий експериментальний матеріал про реакційну здатність ароматичних сполук, розроблено основні положення електронної теорії, що встановлює зв'язок між хімічною будовою речовин та їхньою реакційною здатністю. Однак, зважаючи на невблаганність перебігу часу, ці дані вже слід вважати застарілими, оскільки вони отримані для термінів зберігання 19–26 років, і тому можуть бути використані для прогнозу та узагальнення закономірностей зміни фізико-хімічних властивостей НЦП.

У зв'язку з цим **метою статті** є аналіз та постановка комплексної проблеми нітроцелюлозних порохів зарядів тривалих термінів експлуатації та визначення можливих шляхів підвищення їх балістичних та енергетичних характеристик.

Виклад основного матеріалу. Порохи є багатокомпонентними системами, що включають компоненти з різною летючістю і сумісністю один з одним. Нітрати целюлози, перхлорат амонію, алюміній та деякі інші компоненти є нелетючі. Розчинники-пластифікатори мають різну летючість і за певних умов можуть випаровуватися з пороху, змінюючи його склад, а отже, і балістичні властивості зарядів.

Порохи знаходяться в контактi з навколишнім повітрям, що містить вологу. Крім того, деяка кількість води завжди міститься в поросі. Залежно від умов зберігання, волога може поглинатися або віддаватися порошком. Зміна вмісту води в пороху спричиняє зміну балістичних показників зарядів та деяких властивостей порохів.

На рис. 1 наведені фактори, що впливають на балістичні характеристики порохів [10].

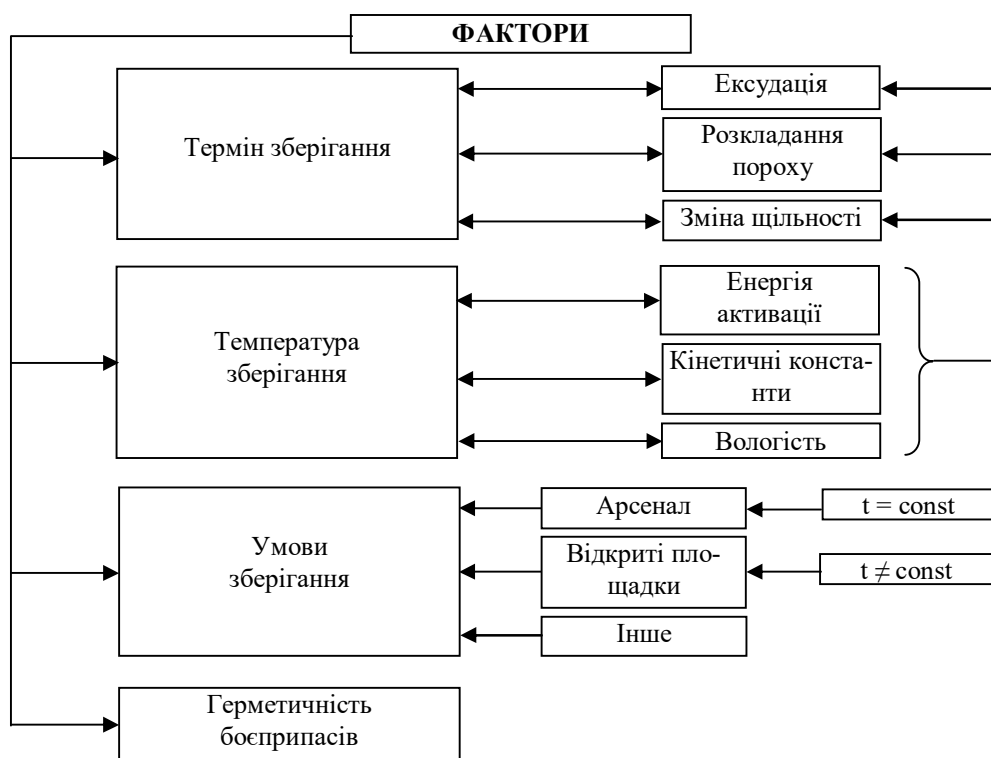


Рисунок 1 – Фактори, які впливають на балістичні характеристики порохів

Всі ці процеси викликають зміну властивостей порохів, а отже і балістичних показників. Здатність порохів і зарядів чинити опір зміні своїх властивостей за рахунок протікання фізичних процесів протягом усього терміну експлуатації є фізична стабільність [1–3].

Розрізняють дві групи процесів, що визначають фізичну стабільність порохів: адсорбційно-дифузійні процеси, що викликають зміну складу порохів та структурні процеси, що супроводжуються зміною властивостей порохів при незмінному компонентному складі.

Адсорбційно-дифузійні процеси в порохах включають [1–3]:

- обмін водою з навколишнім середовищем;
- зміна вмісту окремих компонентів за рахунок дифузії їх на зовнішню поверхню порохових елементів з подальшою десорбцією в навколишнє середовище або утворенням на поверхні порохів конденсованої фази;
- дифузію газоподібних продуктів розкладання порохів.

Найбільш суттєве значення для порохів мають процеси адсорбції – десорбції води та десорбції летких та важколетючих розчинників-пластифікаторів. Випаровування з піроксилінових порохів визначається сумарною втратою етилового спирту, діетилового ефіру та води.

Встановлено у низці робіт [10–13], що зміна маси порохового заряду у процесі зберігання, пов'язане з хімічними реакціями, є незаперечним показником зміни як внутрішніх, так і зовнішніх балістичних характеристик боєприпасів. Крім того, всі ці фактори на певному етапі негативно впливають і на матеріальну частину ствольних систем.

Стан поверхні та колір піроксилінових порохів не характеризують балістичних якостей зарядів. Однак за зовнішніми ознаками у ряді випадків можна скласти уявлення про спосіб та особливості виробництва, а також про якісний стан пороху [18].

Поряд із фізичними процесами, що викликають зміну властивостей порохів, важливе місце займають хімічні перетворення, що іноді визначають стабільність порохів та термін експлуатаційної придатності зарядів.

На відміну від фізичних процесів, хімічні перетворення на порохам носять незворотний характер, викликаючи накопичення змін показників відповідних властивостей. Хімічна стабільність порохів визначається їхньою хімічною стійкістю, тобто здатністю чинити опір мимовільному хімічному розкладу при експлуатації в різних умовах. З урахуванням мимовільних хімічних перетворень експлуатаційну стабільність порохів, крім того, оцінюють за величиною запасу хімічної стійкості.

Запас хімічної стійкості і термін придатності порохів, що визначається ним, мають економічне значення. Скорочення термінів експлуатаційної придатності вимагає частішого оновлення запасу порохових зарядів, що з великими матеріальними затратами. Для НЦП середній термін придатності, який визначається їх хімічною стійкістю, перебуває у межах 20–30 років [2].

Дослідженнями [1–3] показано, що зі збільшенням термінів експлуатації боєприпасів змінюються показники основних характеристик.

На рис. 2 у загальному вигляді представлені залежності зміни основних характеристик порохових зарядів від терміну експлуатації: початкової швидкості снаряда (V_0), максимального тиску у каналі ствола ($p_{\max}$), маси заряду (m).

На рис. 2 представлені дві горизонтальні лінії, що відповідають табличній початковій швидкості снаряда (V_0^t) та показнику початкової швидкості при зменшенні її на 5 %, згідно [19].

Перший період – гарантійний термін експлуатації порохових зарядів без погіршення їх балістичних характеристик.

У другому періоді відбувається падіння початкової швидкості (до 5 % від V_0) та зменшення маси заряду у зв'язку з хімічними реакціями у пороховому заряді. На даному етапі можлива корекція шляхом введення поправок у вихідні дані для стрільби.

Третій період експлуатації характеризується подальшим падінням початкової швидкості снаряда нижче допустимого 5 % зниження. Використання таких боєприпасів можливе після проведення регенерації порохових зарядів для відновлення їх балістичних характеристик. Після регенерації характеристики порохового заряду частково відновлюються – показник початкової швидкості (точка Р) збільшується і перетворюється на точку Р₁. Надалі відбувається падіння V_0 за вказаною вище закономірністю і досягає 5 %-го зниження в точці П. Ця точка вказує граничний термін експлуатації порохового заряду, коли можлива та доцільна його регенерація. Проте, із рис. 2 видно, що економічно доцільно проводити регенерацію порохових зарядів третього періоду експлуатації якомога раніше, для збільшення періоду (Δt) подальшого практичного використання порохових зарядів, що регенеруються.

У роботі [20] представлені обнадійливі дані про обробку 7-ми каналного та трубчастого НЦП перекисом водню, на основі чого може бути розроблена технологія повного або часткового відновлення балістичних та енергетичних властивостей поро-

хового заряду.

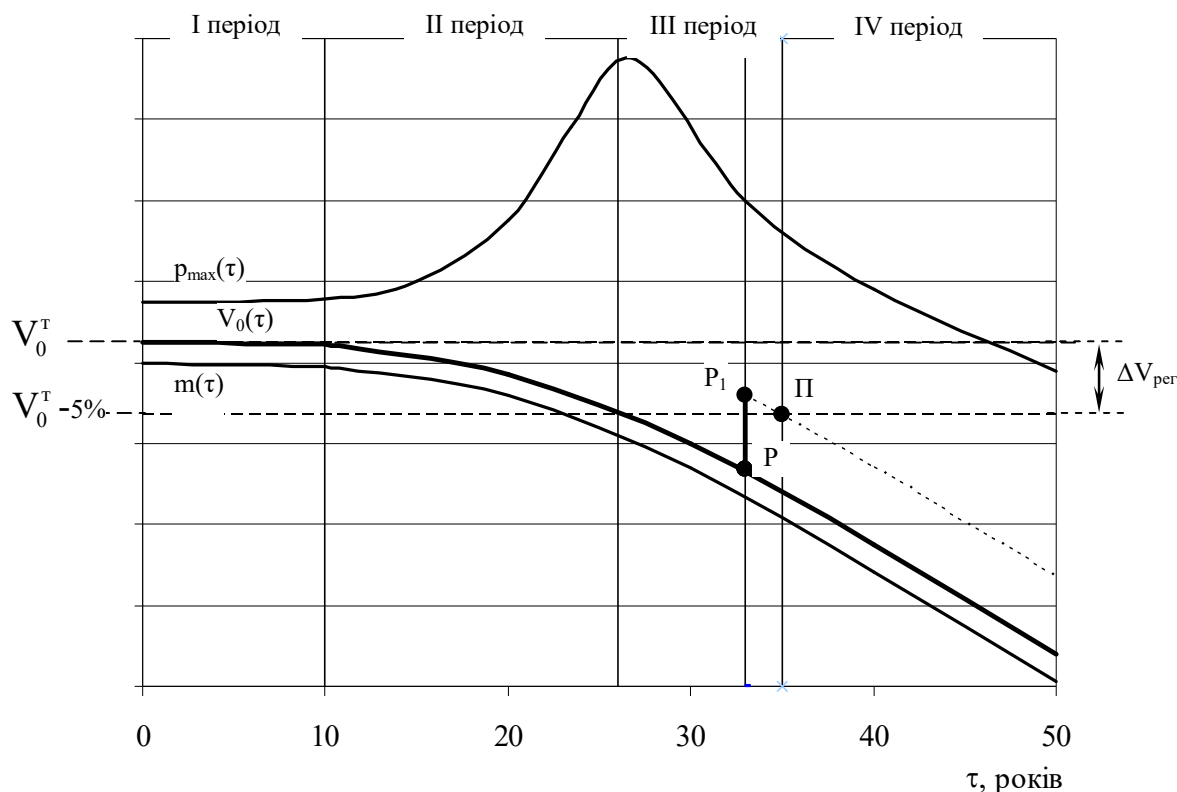


Рисунок 2 – Характерні точки та періоди в процесі експлуатації порохових зарядів

За межею точки П починається четвертий період експлуатації – період недоцільної регенерації, повної деградації (розкладання) порохового заряду, коли неможливе прогнозування його властивостей та характеристик. На цьому етапі порохові заряди підлягають утилізації.

На рис. 3 представлена залежність швидкості горіння порохового заряду від терміну експлуатації.

У першому періоді швидкість горіння стабільна. Далі вона починає підвищуватися і при досягненні точки П може підвищитись до області бризантних властивостей (вибух). На наступному етапі швидкість горіння інтенсивно падає через зменшення маси пороху та втрати його енергетичних характеристик як палива.

Процес розкладання пороху можна умовно поділити на два періоди: індукційний період та період автокаталітичного прискорення процесу розкладання.

Другий період характеризується різким збільшенням (на два – три порядки) швидкості процесу розкладання. Тому термін безпечного зберігання порохів визначається величиною індукційного періоду, терміни якого залежать від природи та взаємного співвідношення нітроєфірів у поросі, а також від умов зберігання.

Виходячи з розгляду хімічних властивостей порохів, можна зробити узагальнення:

1. Нітроцелюлозні порох є багатокомпонентними термодинамічно малостійкими системами, здатними до мимовільного розкладання при тривалому зберіганні. Основними компонентами, що визначають процес хімічного розкладання порохів, є нітроєфіри целюлози та багатоатомних спиртів.

2. Окисли азоту, азотна і азотиста кислоти, що утворюються при розкладанні порохів, а також вільні радикали надають автокаталітичний вплив на процес подальшого розкладання порохів.

3. Підвищення температури і вмісту води надає прискорюючу дію на процес розкладання порохів.

4. Термічне розкладання та гідролітичний розпад порохів протікають одночасно, являючи собою сукупність великої кількості сполучених та паралельних хімічних реакцій.

5. Гальмування процесу мимовільного розкладання порохів може бути досягнуто шляхом зв'язування оксидів азоту та активних радикалів у хімічно інертні сполуки.

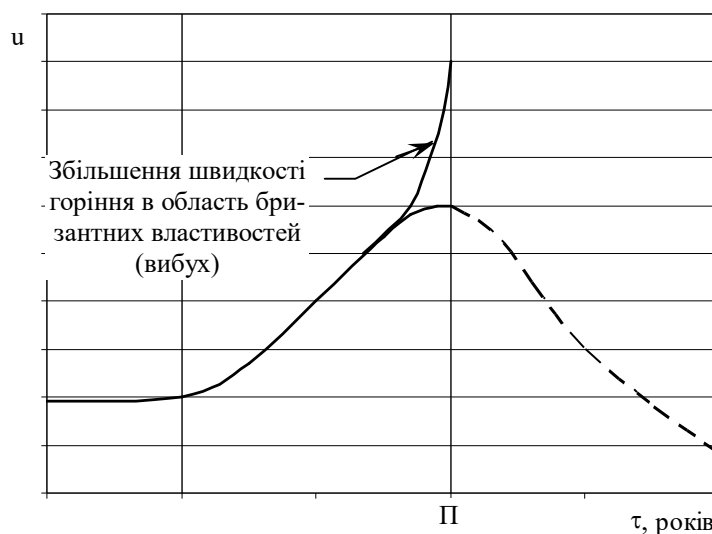


Рисунок 3 – Залежність швидкості горіння порохових зарядів від термінів експлуатації

Балістичні характеристики порохових зарядів можуть визначатися теоретично, шляхом вирішення задачі внутрішньої балістики, та експериментально шляхом визначення початкової швидкості снаряда V_0 і максимального тиску $p_{\max}$.

Саме початкова швидкість є одним з основних параметрів під час проведення перевірки та категорювання стволів.

Результати практичної стрільби з артилерійських систем показують, що перший постріл – недоліт, другий – переліт. Отже, стрільба ведеться шляхом «вилка» [11]. Проте, навіть «вилкою» стрільба не ефективна, оскільки постріл від пострілу відрізняються неоднорідністю розсіювання. Причиною такої ситуації є те, що зараз застосовуються боєприпаси з терміном експлуатації 30 і більше років. Ряд досліджень [10–13, 18, 21, 22] геронтологічних властивостей порохових зарядів показують, що в результаті фізико-хімічних процесів при тривалій експлуатації порохів знижується їх щільність та теплотворна здатність, зростають максимальний тиск та швидкість горіння. У сукупності це призводить до падіння значення початкової швидкості [5, 15, 22] та підвищеного зносу стволів [9–11, 15].

На основі результатів комплексного експериментального [10] та теоретичного досліджень розроблено модель експлуатації боєприпасів у різні періоди їх зберігання (рис. 4).

Спираючись на цю модель, виділено наступні періоди експлуатації порохових зарядів:

I період – до 10 років – гарантійний термін експлуатації, у межах якого балістичні показники є стабільними;

II період – 10–26 років – період зміни фізико-хімічних властивостей у допустимих межах;

III період – понад 26 років – період деградації порохових зарядів, протягом якого заряд підлягає регенерації, або боєприпас загалом має бути утилізовано.

На етапі зберігання 25–30 років початкова швидкість може знизитися на величину 5 % і більше лише у вигляді старіння порохів.

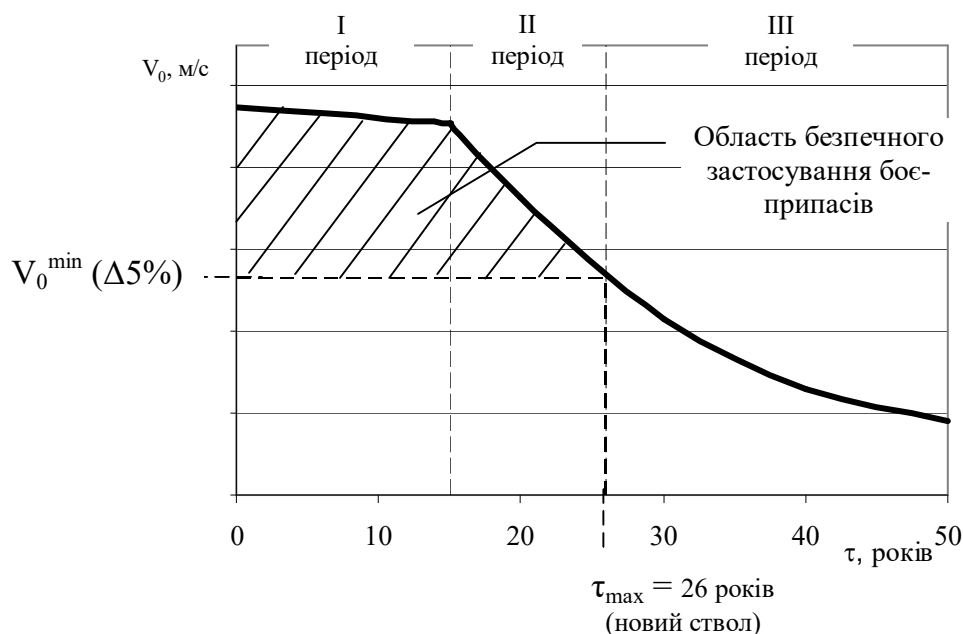


Рисунок 4 – Модель експлуатації боєприпасів залежно від терміну їх зберігання

Відповідно до [19], при зменшенні початкової швидкості снаряда більш ніж на 5 %, зброя вважається непридатною для бойового застосування.

Знаючи характер протікання фізико-хімічних процесів у порохах можна спрогнозувати гарантовану тимчасову ділянку застосування порохових зарядів без погіршення балістичних характеристик зброї.

На рис. 4 показано, що гарантований термін експлуатації порохів без погіршення балістичних характеристик зброї становить 26 років.

Як можна побачити на рис. 2–4 представлено різну кількість періодів експлуатації порохових зарядів. Це пов'язано з тим що дані ставляться до різноманітних досліджень, причому дані рис. 2 є узагальнюючими.

На етапі 25 років експлуатації боєприпасів було зроблено прогноз зміни фізико-хімічних властивостей порохових зарядів за величиною початкової швидкості (рис. 5) [23].

Через 10 років проведено контроль боєприпасів і встановлено, що прогноз не відповідає реальним показникам, змінюється характер залежності зміни початкової швидкості, що утруднює прогнозування термінів експлуатації боєприпасів.

Висновки. Проблема нітроцелюлозних порохів тривалих термінів експлуатації є комплексною і в сукупності полягає в невідповідності стану розвитку існуючої теоретико-методологічної бази визначення та підвищення їх балістичних та

енергетичних характеристик сучасним вимогам до точності оцінки зазначених характеристик для їх використання.

Проблема полягає у відсутності дієвої хімічної формули нітроцелюлози і тому не може бути вирішена методами аналітичної хімії. В той же час є експериментальні дані про вплив на НЦП перекисом водню, на основі чого можуть бути розвинені теоретико-методологічні основи регенерації порохових нітроцелюлозних зарядів для омологатії балістичних і енергетичних характеристик боєприпасів тривалих термінів експлуатації.

На сьогоднішній день не існує методів регенерації, не визначено термінів доцільної регенерації, відсутні закупівлі та відновлення арсеналів боєприпасами, їх виробництво в Україні, що породжує необхідність у постановці комплексного проблемного дослідження щодо вирішення цих завдань.

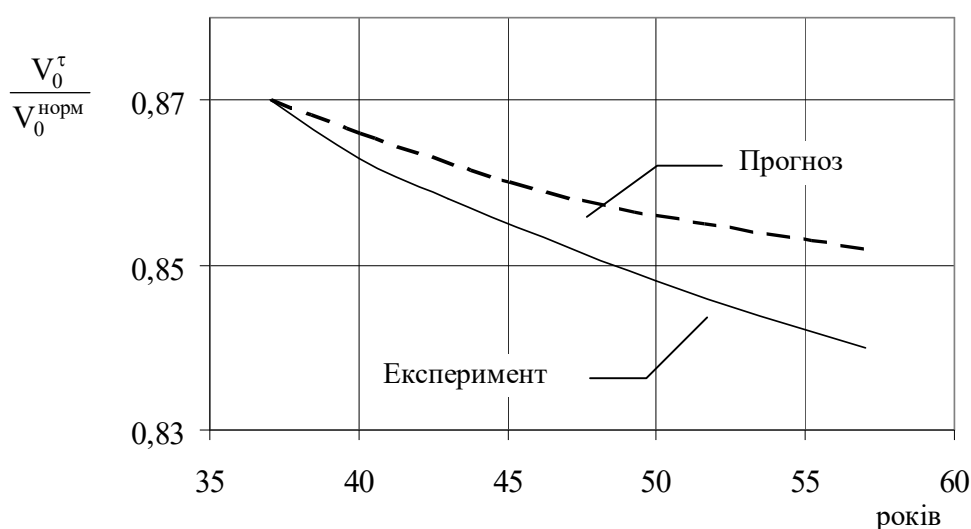


Рисунок 5 – Прогноз зміни значення початкової швидкості та дані експерименту

Література

1. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. М.: Машиностроение. 1972. 208 с.
2. Шагов Ю.В. Взрывчатые вещества и пороха. М.: Военное издательство Министерства Обороны СССР. 1976. 120 с.
3. Будников М.А., Левкович Н.А., Быстров И.В., Сиротинский В.Ф., Шехтер Б.И. Взрывчатые вещества и пороха. М.: Государственное издательство оборонной промышленности. 1955. 364 с.
4. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика. М.: Оборонгиз. 1949. 670 с.
5. Окунев Б.Н. Определение баллистических характеристик пороха и давления форсирования. М.-Л.: Гостехиздат. 1943. 92 с.
6. Кувеко А.Е., Миропольский Ф.П. Внутренняя баллистика ствольных систем и ракетных двигателей твердого топлива. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. 1987. 312 с.
7. Чернов В.П. Поправочные формулы внутренней баллистики. М.: Военное издательство Министерства Обороны СССР. 1956. 168 с.

8. Трофименко П.Є., Пушкар'юв Ю.І. Основи всебічного забезпечення артилерійських підрозділів: Підручник. Суми: Сумський державний університет. 2019. 689 с.
9. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулін Д.С. Экспериментальное исследование износа ствола 5,45 мм автомата Калашникова АК-74 при стрельбе боеприпасами длительных сроков хранения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2013. №2. С. 121–125.
10. Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Горелишев С.А. Геронтологічні властивості порохових зарядів боеприпасів та їх вплив на показники живучості стрілецької зброї: Монографія. Харків: Вид-во Національної академії Національної гвардії України, 2019. 119 с.
11. Гончаренко П.Д. Интегральная поправка в начальную скорость на износ ствола и геронтологические изменения порохового заряда // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П.С. Нахімова. 2011. №1 (5). С. 11–14.
12. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения: Монографія: Харьков: Изд-во академии внутр. войск МВД Украины, 2010. 130 с.
13. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники. Харьков: НТУ «ХПИ». 2008. 196 с.
14. Гриненко О.І., Денежкін М.М. Деякі проблеми перспективного планування розвитку Збройних Сил України // Наука і оборона. 2001. №3. С. 31–35.
15. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулін Д.С., Черкашин А.Д. Проблема живучести стволов стрелкового оружия при применении боеприпасов послегарантийных сроков хранения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2010. №3. С. 80–83.
16. Орлов Б.В., Топчеев Ю.И., Устинов В.Ф., Алферов В.В., Бакулин А.И., Светлицкий В.А., Хворостин А.Е. Проектирование ракетных и ствольных систем. М.: Машиностроение. 1974. 828 с.
17. Чурбанов Е.В. Внутренняя баллистика артиллерийского орудия. М.: Военное издательство. 1973. 103 с.
18. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Цветометрия пороховых элементов метательных зарядов артиллерийских боеприпасов // Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2011. №1. С. 28–35.
19. Наказ «Про введення в дію Інструкції про порядок категорювання ракетно-артилерійського озброєння» від 11.01.2013 №19 [Копія] /МО України. К.
20. Анипко О.Б. Результаты экспериментального исследования воздействия перекиси водорода на нитроцеллюлозные высокомолекулярные соединения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2014. № 2. С. 50–55.
21. Веннен Л., Бюрло Э., Лекорше А. Пороха и взрывчатые вещества. М.: ОНТИ. 1936. 652 с.
22. Баулін Д.С. Експериментальне дослідження впливу конструктивних характеристик боеприпасів на початкову швидкість куль // Збірник наукових праць «НАДПС України ім. Б.Хмельницького». 2004. №31. Частина II. С. 5–7.
23. Черкашин А.Д. Проверка достоверности прогноза и коррекция зависимости изменения начальной скорости пули 9 мм пистолетного патрона ПМ // Системи озброєння і військова техніка. 2010. № 3. С. 90–92.

Bibliography (transliterated)

1. Gorst A.G. Porokha i vzryvchatyye veshchestva. M.: Mashinostroyeniye. 1972. 208 p.
2. Shagov YU.V. Vzryvchatyye veshchestva i porokha. M.: Voennoye izdatel'stvo Ministerstva Oborony SSSR. 1976. 120 p.
3. Budnikov M.A., Levkovich N.A., Bystrov I.V., Sirotinskiy V.F., Shekhter B.I. Vzryvchatyye veshchestva i porokha. M.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo oboronnoy promyshlennosti. 1955. 364 p.
4. Serebryakov M.Ye. Vnutrennyaya ballistika. M.: Oborongiz. 1949. 670 p.
5. Okunev B.N. Opredeleniye ballisticheskikh kharakteristik porokha i davleniya forsirovaniya. M.-L.: Gostekhizdat. 1943. 92 p.
6. Kuveko A.Ye., Miropol'skiy F.P. Vnutrennyaya ballistika stvol'nykh sistem i raketnykh dvigateley tverdogo topliva. M.: VVIA im. prof. N.Ye. Zhukovskogo. 1987. 312 p.
7. Chernov V.P. Popravochnyye formuly vnutrenney ballistiki. M.: Voennoye izdatel'stvo Ministerstva Oborony SSSR. 1956. 168 p.
8. Trofymenko P.YE., Pushkar'ov YU.I. Osnovy vsebichnoho zabezpechennya artyleriyskikh pidrozdiliv: Pidruchnyk. Sumy: Sums'kyy derzhavnyy universytet. 2019. 689 s.
9. Anipko O.B., Mulenko A.O., Baulin D.S. Eksperimental'noye issledovaniye iznosa stvola 5,45 mm avtomata Kalashnikova AK-74 pri strel'be boyepripasami dlitel'nykh srokov khraneniya // *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2013. №2. P. 121–125.
10. Anipko O.B., Baulin D.S., Gorêlishev S.A. Gerontologichnî vlastivostî porokhovikh zaryadiv boêpripasiv ta îkh vpliv na pokazniki zhivuchostî strîlets'koî zbroî: Monografiya. Kharkiv: Vid-vo Natsional'noî akademii Natsional'noî gvardii Ukraîni, 2019. 119 p.
11. Goncharenko P.D. Integral'naya popravka v nachal'nuyu skorost' na iznos stvola i gerontologicheskoye izmeneniya porokhovogo zaryada // *Zbîrnik naukovikh prats' Akademii viys'kovo-mors'kikh sil imeni P.S. Nakhimova*. 2011. №1 (5). P. 11–14.
12. Anipko O.B., Busyak YU.M. Vnutrennyaya ballistika stvol'nykh sistem pri primeneniî boyepripasov dlitel'nykh srokov khraneniya: Monografiya: Khar'kov: Izd-vo akademii vnutr. voysk MVD Ukrainy, 2010. 130 p.
13. Anipko O.B., Borisyuk M.D., Busyak YU.M. Kontseptual'noye proyektirovaniye ob'yektov bronetankovoy tekhniki. Khar'kov: NTU «KHPI». 2008. 196 p.
14. Grinenko O.Î., Dênêzhkin M.M. Deyaki problemi perspektivnogo planuvannya rozvitku Zbroynikh Sil Ukraîni // *Nauka i oborona*. 2001. №3. P. 31–35.
15. Anipko O.B., Mulenko AO., Baulin D.S., Cherkashin A.D. Problema zhivuchesti stvolov strelkovogo oruzhiya pri primeneniî boyepripasov poslegarantiynykh srokov khraneniya // *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2010. №3. P. 80–83.
16. Orlov B.V., Topcheyev YU.I., Ustinov V.F., Alferov V.V., Bakulin A.I., Svetlitskiy V.A., Khvorostin A.Ye. Proyektirovaniye raketnykh i stvol'nykh sistem. M.: Mashinostroyeniye. 1974. 828 p.
17. Churbanov Ye.V. Vnutrennyaya ballistika artilleriyskogo orudiya. M.: Voennoye izdatel'stvo. 1973. 103 p.
18. Anipko O.B., Khaykov V.L. Tsvetometriya porokhovoykh elementov metatel'nykh zaryadov artilleriyskikh boyepripasov // *Artilleriyskoye i strelkovoye vooruzheniye*. 2011. №1. P. 28–35.
19. Nakaz «Pro vvedennya v diyu Іnstruktsii pro poriyadok kategoruvannya raketno-artileriy'skogo ozbroënnya» vid 11.01.2013 №19 [Kopiyâ] /MO Ukraîni. K.

20. Anipko O.B. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya vozdeystviya perekisi vodoroda na nitrotsellyuloznyye vysokomolekulyarnyye soyedineniya // *Integrovani tekhnologii ta yenergozberezheniya*. 2014. № 2. P. 50–55.
21. Vennen L., Byurlo E., Lekorshe A. Porokha i vzryvchatyye veshchestva. M.: ONTI. 1936. 652 p.
22. Baulin D.S. Yeksperimental'ne doslidzhennya vplivu konstruktivnikh kharakteristik boëpriпасiv na pochatkovu shvidkist' kul' // *Zbirnik naukovikh prats' «NADPS Ukraїni ім. B.Khmelnits'kogo»*. 2004. №31. Chastina II. P. 5–7.
23. Cherkashin A.D. Proverka dostovernosti prognoza i korrektsiya zavisimosti izmeneniya nachal'noy skorosti puli 9 mm pistoletного patrona PM // *Sistemi ozbroєnniya i vıys'kova tekhnika*. 2010. № 3. P. 90–92.

УДК 355.014: 623.522

Баулін Д.С., к.т.н., с.н.с., старший науковий співробітник науково-дослідного центру

НІТРОЦЕЛЮЛОЗНІ ПОРОХОВІ ЗАРЯДИ ТРИВАЛИХ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ: ПРОБЛЕМНІ ЗАДАЧІ ТА ЇХ МОЖЛИВІ РІШЕННЯ

Однією зі складових проблеми національної безпеки в Україні є завантаження складів різноманітними боєприпасами з вичерпаним гарантійним строком зберігання.

Досвід зберігання боєприпасів показує, що у процесі тривалого зберігання піро-кислинові порохів, які використовуються в боєприписах, здатні самовільно перетерплювати різні фізико-хімічні перетворення, що негативно відображається на балістичних характеристиках боєприпасів. Відсутність виробництва боєприпасів в Україні, привело до того, що в цей час в експлуатації перебувають боєприпаси, час зберігання яких досягає 25–30 років і більше.

У даній статті проаналізовані публікації, присвячені науковим дослідженням, що стосуються проблем балістичної стабільності порохів.

Наведено ряд факторів, що впливають на фізико-хімічну стабільність порохів зарядів при їх тривалій експлуатації.

Приведені узагальнюючі дані зміни основних балістичних характеристик боєприпасів на різних періодах їх зберігання.

Передбачається, що одним із шляхів підвищення балістичних та енергетичних характеристик боєприпасів тривалих термінів експлуатації може бути проведення регенерації нітроцелюлозних порохів зарядів. Показано, що в даний час не існує методів регенерації порохів зарядів тривалих термінів експлуатації. Однак, маються обнадійливі дані про обробку порохів перекисом водню, на основі чого може бути розроблена технологія повного або часткового відновлення балістичних та енергетичних характеристик порохів заряду.

Наведено, що прогнозна оцінка зміни характеристик боєприпасів тривалих термінів експлуатації не відповідає їх реальним показникам.

Визначено, що проблема нітроцелюлозних порохів тривалих термінів експлуатації є комплексною і на основі її рішення можуть бути розвинені теоретико-

методологічні основи регенерації нітроцелюлозних порохових зарядів для омології балістичних та енергетичних характеристик боеприпасів.

Ключові слова: нітроцелюлозні порохові заряди, тривалі терміни експлуатації, балістична стабільність, балістичні та енергетичні характеристики, експериментальні та теоретичні дослідження, періоди експлуатації порохів, омологія, методи регенерації.

Баулин Д.С., к.т.н., с.н.с.

НИТРОЦЕЛЮЛОЗНЫЕ ПОРОХОВЫЕ ЗАРЯДЫ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ: ПРОБЛЕМНЫЕ ЗАДАЧИ И ИХ ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

Одной из составляющих проблемы национальной безопасности Украины является загрузка складов разнообразными боеприпасами с истощенным гарантийным сроком хранения.

Опыт хранения боеприпасов показывает, что в процессе длительного хранения пироксилиновые пороха, используемые в боеприпасах, способны самопроизвольно претерпевать различные физико-химические превращения, что негативно отражается на баллистических характеристиках боеприпасов. Отсутствие производства боеприпасов в Украине привело к тому, что в настоящее время в эксплуатации находятся боеприпасы, время хранения которых достигает 25–30 лет и более.

В данной статье проанализированы публикации, посвященные научным исследованиям, касающимся проблем баллистической стабильности порохов.

Приведен ряд факторов, влияющих на физико-химическую устойчивость пороховых зарядов при их длительной эксплуатации.

Приведены обобщающие данные изменения основных баллистических характеристик боеприпасов на разных периодах их хранения.

Предполагается, что одним из путей повышения баллистических и энергетических характеристик боеприпасов длительных сроков эксплуатации может служить регенерация нитроцеллюлозных пороховых зарядов. Показано, что в настоящее время нет методов регенерации пороховых зарядов длительных сроков эксплуатации. Однако имеются обнадеживающие данные об обработке порохов перекисью водорода, на основе чего может быть разработана технология полного или частичного восстановления баллистических и энергетических характеристик порохового заряда.

Представлено, что прогнозная оценка изменения характеристик боеприпасов длительных сроков эксплуатации не соответствует их реальным показателям.

Определено, что проблема нитроцеллюлозных порохов длительных сроков эксплуатации комплексная и на основе ее решения могут быть развиты теоретико-методологические основы регенерации нитроцеллюлозных пороховых зарядов для омологии баллистических и энергетических характеристик боеприпасов.

Ключевые слова: нитроцеллюлозные пороховые заряды, длительные сроки эксплуатации, баллистическая стабильность, баллистические и энергетические характеристики, экспериментальные и теоретические исследования, периоды эксплуатации порохов, омология, методы регенерации.

Baulin D.

NITRO CELLULOSE POWDER CHARGES OF LONG SERVICE LIFE: PROBLEMS AND THEIR POSSIBLE SOLUTIONS

One of the components of the problem of Ukraine's national security is the loading of warehouses with a variety of ammunition with an expired guaranteed storage period.

The experience of storing ammunition shows that during long-term storage, propylene powder used in ammunition is capable of spontaneously undergoing various physical and chemical transformations, which negatively affects the ballistic characteristics of ammunition. The lack of ammunition production in Ukraine has led to the fact that ammunition is currently in operation, the storage time of which reaches 25-30 years or more.

This article analyzes publications devoted to scientific research related to the problems of ballistic stability of propellants.

A number of factors are presented that affect the physicochemical stability of powder charges during their long-term operation.

The generalizing data on changes in the main ballistic characteristics of ammunition at different periods of their storage are presented.

It is assumed that one of the ways to improve the ballistic and energy characteristics of ammunition with long service lives can be the regeneration of nitrocellulose powder charges. It is shown that at present there are no methods for the regeneration of propellant charges of long service life. However, there are encouraging data on the treatment of propellants with hydrogen peroxide, on the basis of which a technology can be developed for the complete or partial restoration of the ballistic and energy characteristics of the propellant charge.

It is presented that the predictive assessment of changes in the characteristics of ammunition with long service lives does not correspond to their real indicators.

It has been determined that the problem of nitrocellulose propellants of long service life is complex and, on the basis of its solution, theoretical and methodological foundations of the regeneration of nitrocellulose propellant charges can be developed to homologate the ballistic and energy characteristics of ammunition.

Key words: nitrocellulose powder charges, long service life, ballistic stability, ballistic and energy characteristics, experimental and theoretical studies, powder exploitation periods, homologation, regeneration methods.

¹Ганжа А.М., д.т.н., завідувач кафедри, ²Семененко Л.В. головний спеціаліст,
³Бронеvський Ю.Ф., директор, ¹Савраєва Ю.І., аспірант

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО УТЕПЛЕННЯ

¹Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
²Управління енергоефективності та енергоменеджменту Департаменту з питань за-
безпечення життєдіяльності міста Виконавчого комітету Харківської міської ради
³ТОВ "ТЕХЕКС-ГАЗ"

Ключові слова: термомодернізація, огорожувальні конструкції, енергоефективність будівель, тепловий потік, фрагментарне утеплення, неконтрольоване утеплення, індивідуальне утеплення, тривимірне температурне поле.

Вступ

У зв'язку з постійним зростанням вартості усіх видів палива, які використовуються у теплоенергетиці, та стрімким бажанням держави знизити енергоемність продукції та послуг у сферах промисловості та житлово-комунального господарства, доцільно приділити більше уваги процесам, які впливають на тепловий режим будівель та споруд.

Значна більшість житлового фонду України збудована протягом 1946–1990 рр. та являє собою багатоповерхові будівлі масових серій, які мають ряд конструктивних недоліків та не відповідають сучасним вимогам енергоефективності. На час спорудження цих будівель діяли будівельні норми та стандарти, в яких підхід до визначення необхідного термічного опору огорожувальних конструкцій поступово змінювався. А саме розраховувався виходячи з необхідного нормованого перепаду між розрахунковою температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огороження та уточнювався економічним розрахунком [1]. Оскільки на той час вартість енергоносіїв була незначною, то прийнятний економічний ефект досягався економією використання будівельних матеріалів. Лише у 1996 році було затверджено зміни до СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» [2], в яких було вперше введено показники мінімально допустимих термічних опорів по видам огорожувальних конструкцій. У 2006 та 2016 рр. ці значення ще раз переглядалися [3, 4]. Так, наприклад, при проектуванні будівель, новому будівництві, реконструкції або термомодернізації значення мінімально допустимого опору теплопередачі $R_{q \min}$, м²·К/Вт для зовнішніх стін відповідало: 1,6–2,5 (для I температурної зони >3501 град.-діб) (СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» зі змінами від 1996р. [2]), 3,3 (ДБН В 2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [3]); 3,3 (ДБН В 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [4]). Величина мінімально допустимого опору теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій становила 0,5, 0,75, 0,75 відповідно, суміщених покриттів – 2,7, 5,35, 6,0 відповідно.

За останнє десятиліття населення стрімко почало утеплювати своє житло з ціллю підвищити внутрішню температуру повітря до комфортної (переважно в багатоповерховому житловому секторі) або ж задля економії ресурсів для опалення (приватний сектор). Через недостатню увагу органів влади у житлово-комунальному секторі, недо-

статню кількість наукових досліджень та широкого інформування населення, відбувається масове утеплення огорожувальних конструкцій мешканцями багатоквартирних будинків в межах власних квартир. Ці дії можуть привести до виникнення температурних мостів, які спричиняють утворення та накопичення водного конденсату, пліснявих грибів та несуть ризики пошкодження будівельних елементів.

Аналіз стану питання

На відміну від вивчення теплового стану будівель при загальній термомодернізації, дослідження теплових процесів, які протікають при частковому утепленні огорожувальних конструкцій, не є поширеним. Про це свідчать результати пошуку наукових доробок на зазначену тематику в наукових базах. У ряді проаналізованих статей можна побачити наступні терміни: «індивідуальне утеплення», «клаптикове утеплення», «часткове утеплення», «фрагментарне утеплення», «несистемне утеплення» та «неконтрольоване утеплення».

На сьогоднішній день в офіційних нормативних документах України не дано визначення проблемі, яка постала у житлово-комунальному господарстві, а саме індивідуальним утепленням зовнішніх стін багатоквартирних будинків в межах окремих квартир. Але вітчизняними науковцями неодноразово наголошувалось на неприпустимості таких дій. Так, наприклад, у роботі [5] описано недоліки «клаптикового утеплення», такі як неякісне виконання робіт, руйнування швів на стиках плит в панельних будинках, подальші проблеми при складанні енергетичного паспорту будівлі, а також відсутність економії теплової енергії. У роботі [6] показано неефективність фрагментарного утеплення стін для утеплених та незначне поліпшення температурних показників в прилеглих квартирах, доведена ефективність зовнішнього утеплення стін, коли термомодернізації піддається вся поверхня стіни.

Постановка задачі (проблеми)

Проаналізувавши актуальний фактичний стан огорожувальних конструкцій житлових будівель – споживачів КП «Теплоенерго» Лозівської міської ради (44 будинки), було виявлено, що відсоток індивідуальних (виконаних мешканцями у межах власних квартир) утеплень зовнішніх стін багатоквартирних будинків коливається від 0% до 16,3 % від загальної площі зовнішньої поверхні зовнішніх стін. За статистичним прийомом «медіана», середнє значення індивідуальних утеплень для даних будівель на 2019 рік становить 4,4 %. За відсутності механізмів, які б контролювали цей процес на державному та на місцевому рівнях, спостерігатиметься тенденція щодо збільшення показника індивідуальних утеплень. Отже, постала необхідність дати визначення процесу індивідуальних утеплень, його впливу на енергоефективність будівель, як невід'ємного елементу сучасного стану житлово-комунального господарства України.

Індивідуальне утеплення – це комплекс заходів несистемного характеру, вчинених мешканцями багатоквартирних будинків та спрямованих на скорочення втрат теплоти з приміщень, в межах яких воно здійснене.

В даній роботі під індивідуальним утепленням розуміється несистемне утеплення, часткове утеплення, фрагментарне утеплення, клаптикове утеплення та неконтрольоване утеплення.

На рис.1 та 2 зображено конструкцію зовнішньої стіни з фрагментом часткового утеплення та розрахункову схему. На рис. 1 також представлена фотографія прикладу несистемного (клаптикового) утеплення.

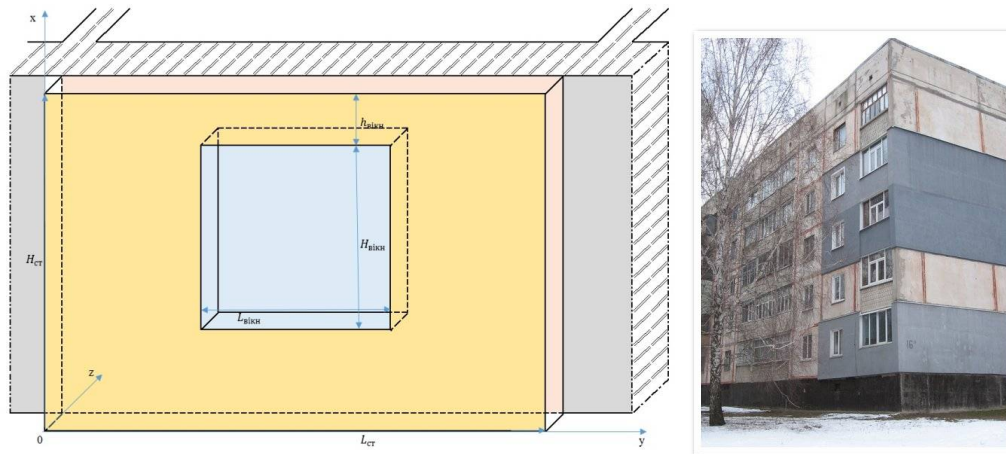


Рисунок 1 – Конструкція зовнішньої стіни з фрагментом часткового утеплення та приклад індивідуального утеплення будинку

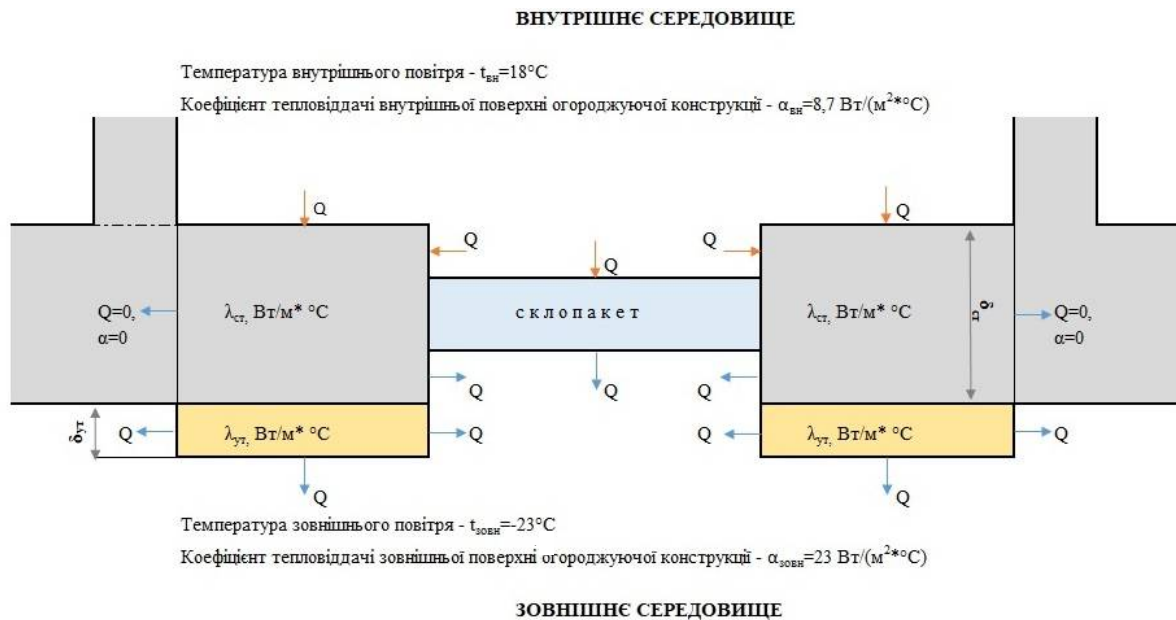


Рисунок 2 – Розрахункова схема та конструкція зовнішньої стіни з фрагментом часткового утеплення

Мета дослідження

Через наявність торців шару утеплювача, має місце збільшення площі тепловіддачі, а отже, збільшується й тепловий потік та він перерозподіляється. У випадку, коли комерційний облік споживання теплової енергії відсутній та є необхідність визначення теплового навантаження будівлі, дане дослідження набуває актуальності.

Метою даного дослідження є визначення теплового потоку через фрагмент зовнішньої стіни житлового багатоквартирного будинку з шаром утеплювача на ньому в залежності чи є в наявності утеплювач в фрагментах стін поряд з досліджуваним фрагментом. У випадку, представленою на рис. 1 та 2, тепловий потік розподіляється не тільки поперек огорожувальної конструкції, а й вздовж у горизонтальному та вертикальному напрямках, а, отже, є необхідність побудови тривимірної математичної моделі.

Одновимірна математична модель

Основне рівняння для стаціонарного теплового потоку при теплопередачі через плоску багат шарову стіну в одновимірній постановці має вид [7] (Вт або ккал/год)

$$Q = q \cdot F; q = \frac{t_B - t_3}{\sum R_i},$$

де Q, q, F – тепловий потік, Вт, щільність теплового потоку Вт/м² або ккал/(м² · год) та площа поверхні стіни, поперек якої передається теплота, м²; $\sum R_i$ – сумарний термічний опір теплопередачі м² · °C/Вт або м² · °C · год/ккал

$$\sum R_i = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3},$$

де α_B та α_3 – коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря та від стіни до зовнішнього повітря Вт/(м² · °C) або ккал/(год · м² · °C); δ_i та λ_i – товщини, м, та коефіцієнти теплопровідності шарів стіни, Вт/(м · °C) або ккал/(год · м · °C); n – шарів стіни (цегла, бетон, керамзитобетон, штукатурка, утеплювач); t_B та t_3 – температури внутрішнього та зовнішнього повітря, °C.

Тривимірна математична модель

Для стіни з утеплювачем в тривимірній стаціонарній постановці диференціальне рівняння теплопровідності має вид [7, 8]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) = 0.$$

Коли коефіцієнт теплопровідності матеріалу по осях координат x та y можна прийняти постійним, а по осі z : у зоні стіни $\lambda_{cm} = const$, у зоні утеплювача $\lambda_{ym} = const$, диференціальне рівняння теплопровідності прийме вид рівняння Лапласа [7, 8] (у межах шарів стіни та утеплювача):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0.$$

а) Граничні умови IV роду

Припустимо, що між поверхнями стіни та утеплювача здійснюється ідеальний контакт. Відповідно до граничних умов IV роду

$$\lambda_{ym} \frac{\partial t_{ym}}{\partial z} = \lambda_{cm} \frac{\partial t_{cm}}{\partial z}$$

має місце рівність теплових потоків, які проходять через поверхню стикання $z = z_{cm}$.

б) Граничні умови III та II роду

1. Внутрішня стіна:

Згідно з законом Ньютона-Ріхмана та законом збереження енергії кількість теплоти, яка відводиться з одиниці поверхні за одиницю часу внаслідок тепловіддачі, повинна дорівнювати теплоті, що підводиться до одиниці поверхні за одиницю часу внаслідок теплопровідності із внутрішніх об'ємів тіла, тобто

$$-\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha_B (t_B - t) \text{ в межах області, обмеженої координатами}$$

$$z = 0; y = \left(0 \dots \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right); \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right) \dots L_B \right); x = (0 \dots (H_{cm} - H_B - h_B); (h_B \dots H_B)).$$

2. Зовнішня стіна

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha_3 (t - t_3) \text{ в межах області, обмеженої координатами}$$

$$z = \delta_{cm} + \delta_{ym}; y = \left(0 \dots \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right); \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right) \dots L_B \right); x = (0 \dots (H_{cm} - H_B - h_B); (h_B \dots H_B)).$$

У разі, якщо утеплювача немає, тобто $\delta_{ym} = 0$, λ_{ym} зміниться на λ_{cm} .

3. Стик між стіною та сусіднім приміщенням (висота). Приймається умова відсутності теплового потоку (тільки в межах шару стіни та якщо він якісно тепло- і гідроізований). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha (t_B - t), \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial y} = 0,$$

$$y = 0, y = L_{cm}, z = (0 \dots \delta_{cm}), x = (0 \dots H_{cm}).$$

4. Стик між стіною та сусіднім приміщенням (довжина). Приймається умова відсутності теплового потоку (тільки в межах шару стіни та якщо він якісно тепло- і гідроізований). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha (t_B - t), \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial x} = 0,$$

$$x = 0, x = H_{cm}, z = (0 \dots \delta_{cm}), y = (0 \dots L_{cm}).$$

5. Стик між стіною та склопакетом (висота). Приймається умова відсутності теплового потоку (при якісній тепло- і гідроізоляції). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha (t_B - t), \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial y} = 0,$$

$$y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right), y = \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right), z = (\delta_{cm} - h_{пак} - \delta_{пак}) \dots (\delta_{cm} - h_{пак});$$

$$x = (H_{cm} - H_B - h_B) \dots (H_{cm} - h_B).$$

6. Стик між стіною та склопакетом (довжина). Приймається умова відсутності теплового потоку (при якісній тепло- і гідроізоляції). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, \quad -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha (t_B - t), \quad \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial x} = 0,$$

$$y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right) \dots \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right); \quad z = (\delta_{cm} - h_{нак} - \delta_{нак}) \dots (\delta_{cm} - h_{нак});$$

$$x = (H_{cm} - H_B - h_B); \quad x = (H_{cm} - h_B).$$

в) Граничні умови на бокових поверхнях, які враховуються тільки у тривимірній моделі.

А) Зовнішні

7. По висоті утеплювача на стику

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{T_H} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym}); \quad x = 0, x = H_{cm};$$

а) $y = 0$, б) $y = L_{cm}$

8. По довжині утеплювача на стику

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{T_L} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym}); \quad y = 0 \dots L_{cm};$$

а) $x = 0$, б) $x = H_{cm}$.

9. По висоті утеплювача і стіни біля вікна

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{B_h} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym});$$

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{B_h} (t - t_3); \quad z = (\delta_{cm} - h_{нак}) \dots \delta_{cm};$$

$$x = (H_{cm} - H_B - h_B) \dots (H_{cm} - h_B).$$

а) $y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right)$, б) $y = \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right)$,

10. По довжині утеплювача і стіни біля вікна

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{B_L} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym});$$

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{B_L} (t - t_3); \quad z = (\delta_{cm} - h_{нак}) \dots \delta_{cm};$$

$$y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right) \dots \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right);$$

$$\text{а) } x = (H_{cm} - H_B - h_B); \quad \text{б) } x = (H_{cm} - h_B).$$

Б) внутрішні

11. Біля вікна (по висоті)

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_B (t_B - t); \quad z = 0 \dots (\delta_{cm} - h_{нак} - \delta_{нак}); \quad x = (H_{cm} - H_B - h_B) \dots (H_{cm} - h_B);$$

$$\text{а) } y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right), \quad \text{б) } y = \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right).$$

12. Біля вікна (по довжині)

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_B (t_B - t); \quad z = 0 \dots (\delta_{cm} - h_{нак} - \delta_{нак}); \quad y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right) \dots \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right);$$

$$\text{а) } x = (H_{cm} - H_B - h_B); \quad \text{б) } x = (H_{cm} - h_B).$$

У випадку неврахування бокових потоків приймається $\alpha = 0$ (тільки в умовах 7 – 10, та/або 11 – 12). Граничні умови III роду у такому випадку переходять у граничні умови II роду.

г) Підрахунок кількості теплоти (тепловтрат)

1. Всередині прямого в стіну

$$Q_{TO} = Q_1 + Q_{11} + Q_{12}$$

2. Ззовні прямого з огороження

$$Q_{CO} = Q_2 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}$$

У цих рівняннях індекси при теплових потоках відповідають граничним умовам. Теплові потоки визначаються як сума елементарних теплових потоків (щільностей) поперек сітки розбиття у відповідній площині.

У стаціонарному випадку ці два значення повинні бути рівними. Допустиме розходження встановлюється прийнятим методом розрахунку.

Розрахунки і аналіз

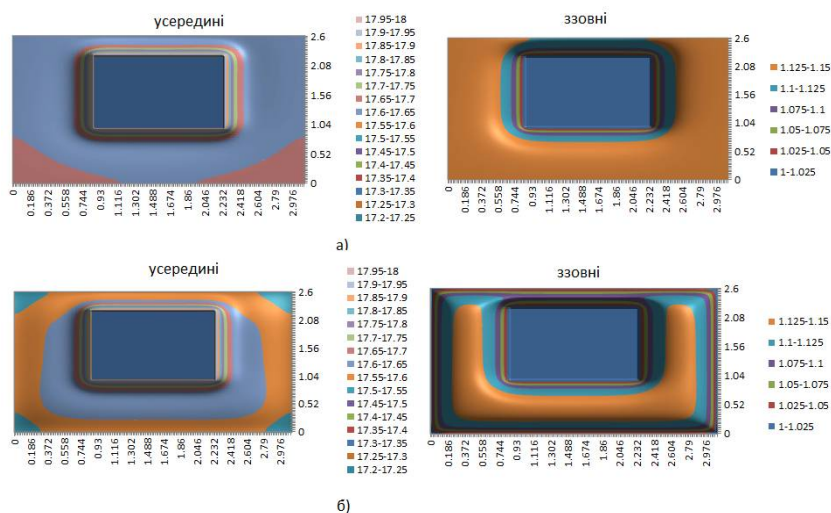
Для розв'язання даної задачі використовується чисельний кінцево-різницекий метод змінних напрямлень у тривимірному виді в комбінації з методом неявної прогонки [9]. Для його реалізації з урахуванням особливостей задачі була створена комп'юте-

рна програма. При зміні граничних умов програма також може розв'язувати двохвимірні та одновимірні задачі. Варіанти розрахунків:

в умовах 7а), 7б); 8а), 8б); α_{T_H} і α_{T_L} – прирівнюються до нуля – отримаєм $Q = 0$ – умова прилягання утеплювача

- а) ліворуч; б) праворуч,
або
а) знизу; б) зверху.

На рис. 3 приведений результат досліджень огорожувальної конструкції приміщення з вікном зі склопакету (має синій колір). Середні температури зовнішнього повітря $+1^\circ\text{C}$, усередині приміщення $+18^\circ\text{C}$. Наведені два варіанти розрахунку: коли всі суміжні приміщення утеплені (рис. 3 а), та коли утеплена тільки стіна, яка розглядається (рис. 3 б). У тривимірних розрахунках враховувались теплові потоки з бокових поверхонь вікна та через торцеві поверхні утеплення у варіанті б). У результаті збільшення теплового потоку через стіну у варіанті б) порівняно з варіантом а) склало 11 %. Ці два результати є крайніми – системна термомодернізація та клаптикове утеплення, інші варіанти будуть відображати збільшення теплового потоку через несистемність між 0 та 11 %.



а) з усіх боків прилягає утеплювач (системна термомодернізація), б) клаптикове утеплення

Рисунок 3 – Результати моделювання розподілу температур поверхні у фрагменті огорожувальної конструкції

Обговорення результатів

Як видно з рис. 3, температурні поля поверхонь стін є тривимірними, є додаткові теплові потоки (теплові мости), які не враховуються у спрощеному одновимірному розрахунку.

У одновимірному розрахунку при утепленні тепловий потік від стіни зменшується в 2,43 рази. При врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна (теплових мостів) та системному утепленні – в 1,75 разів. При клаптиковому утепленні та врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна – в 1,6 разів.

Наступним етапом розрахунків є визначення фактичних температур повітря у приміщеннях багатопверхового будинку з урахуванням фактичного стану огорожувальних конструкцій та системи опалення, нагрівальних приладів, режимних параметрів теплоносія та параметрів зовнішнього повітря. Методи та засоби цього аналізу приведені у [10] та можуть враховувати підсумкові дані коригування тепловтрат після математичного моделювання, описаного у цій роботі. У підсумку результати будуть враховуватись у проектах термомодернізації будівель, реконструкції систем теплопостачання, раціональному розміщенні джерел, підборі обладнання та регулюванні роботи приладів. Деякі результати наведені у роботах [11, 12].

Висновки

У роботі обґрунтована тенденція до збільшення показника індивідуальних утеплень зовнішніх стін багатоквартирних будинків та недоліки, до яких призводять ці дії. Дано визначення проблеми індивідуальних утеплень. Виконано математичне моделювання фрагменту частково утепленої стіни огорожувальної конструкції з визначенням теплового потоку шляхом розв'язання тривимірного диференціального рівняння теплопровідності з заданням граничних умов II, III та IV роду та розподілом характеристик шару будівельних конструкцій та ізоляції. Ці результати можуть бути використані при аналізі ефективності індивідуального утеплення будинку в цілому з урахуванням фрагментарних утеплень та порівнянні з системною термомодернізацією. У нашому випадку несистемність утеплення огорожувальних конструкцій будинку зменшує корисний ефект від утеплення з 1,75 до 1,6 (зменшення тепловтрат від стіни). При аналізі ефективності термомодернізації всього будинку необхідно враховувати яким чином розташовані утеплення, вікна, двері, остеклення балконів, дахи і підлоги.

Література

1. СНиП Н-3-79**. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
2. Зміна № 1 до СНиП Н-3-79**. Строительная теплотехника. Затверджена наказом Державного комітету України в справах містобудування і архітектури від 17 червня 1996р. № 117.
3. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31 : 2006. –Офіційне видання. – К. : Мінрегіонбуд України, 2006.
4. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31 : 2016. –Офіційне видання. – К. : Мінрегіон України, 2017.
5. Симонов С.И. Проблемы термомодернизации жилых домов первых массовых серий / С.И. Симонов, И.Н. Симонова, О.А. Черных // Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету. – 2017. – Вип. 1. – С. 84–93.
6. Н.В. Тимофеев, С.А. Сахновская, С.М. Боклаг, А И. Петунина Эффективность фрагментарной скрепленной теплоизоляции наружных стен // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2011, том 7, № 2, 91–97.
7. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача, Издание 4-е перераб. и дополненное. – М.: "Энергоиздат", 1981. – 415 с.
8. Перестюк М.О., Маринець В.В. Теорія рівнянь математичної фізики. - К.:Либідь, 2014, –363 с.
9. Самарский А.А. Теория разностных схем / Самарский А.А. – М.: Наука, 1989. – 616 с.

10. Ганжа А.М., Марченко Н.А., Семененко Л.В. Визначення ефективності теплопостачання багатоповерхового житлового будинку з урахуванням нерівномірності підведення теплоти до приміщень та несистемних утеплень // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2019 – Том 9. – № 1. <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/130/176>.

11. Моделирование процессов передачи теплоты от котельни до жилого массива на основе гидравлических расчетов сложной тепловой сети / А.М. Ганжа, Н.А. Марченко, В.М. Підкопай, Е.М. Нємцев // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" : зб. наук. пр. Темат. вип. : "Гідравлічні машини та гідроагрегати" – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 22 (1244). – С. 83–87. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2017_22.pdf.

12. Рациональные параметры теплоносителя от джерела в системі теплопостачання з урахуванням фактичних характеристик обладнання / А.М. Ганжа, В.М. Підкопай, Е.М. Нємцев // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – №2. – С. 76–81. http://www.ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/21209/1/eete2017_2_10Hanzha.pdf.

Bibliography (transliterated)

1. SNiP N-3-79**. Stroitel'naya teplotekhnika / Gosstroy SSSR. – M.: TsITP Gosstroya SSSR, 1986.

2. Zmina # 1 do SNiP N-3-79**. Stroitel'naya teplotekhnika. Zatverdzhena nakazom Derzhavnogo komitetu Ukrainy v spravah mlstobuduvannya i arhitekturi vld 17 chervnya 1996r. # 117.

3. Teplova Izolyatsiya budivel: DBN V.2.6-31 : 2006. – Ofitsiynе vidannya. – K. : Minregionbud Ukrainy, 2006.

4. Teplova izolyatsiya budivel: DBN V.2.6-31 : 2016. – Ofitsiynе vidannya. – K. : Minregion Ukrainy, 2017.

5. Simonov S.I. Problemy termomodernizatsii zhilykh domov pervykh massovykh seriy / S.I. Simonov, I.N. Simonova, O.A. Chernykh // Zbirnik naukovykh prats Donbaskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. – 2017. – Vip. 1. – P. 84–93.

6. N.V. Timofeev, S.A. Sahnovskaya, S.M. Boklag, A.I. Petunina Effektivnost fragmentarnoy skreplennoy teploizolyatsii naruzhnykh sten // Suchasne promislove ta tsivilne budivnitstvo. – 2011, tom 7, # 2, 91–97.

7. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha, Izdanie 4-e pererab. i dopolnennoe. – M.: "Energoizdat", 1981. – 415 s.

8. Perestyuk M.O., Marinets V.V. Teoriya rivnyan matematichnoyi fiziki. -K.:LibId, 2014, –363 s.

9. Samarskiy A.A. Teoriya raznostnykh shem / Samarskiy A.A. – M.: Nauka, 1989. – 616 s.

10. Ganzha A.M., Marchenko N.A., Semenenko L.V. Vyznachennya efektyvnosti teplopостachannya bagatopoverhovogo zhitlovogo budynku z urahuvannyam nerivnomirnosti pidvedennya teploty do primischen ta nesistemnykh utepelen // Naukoviy visnik Tavriyskogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu. – 2019 – Tom 9. – # 1. <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/130/176>.

11. Modelyuvannya protsesiv peredachi teploty vid kotelni do zhitlovogo masivu na osnovi gidravlichnykh rozrahunkiv skladnoyi teplovoyi merezhi / A.M. Ganzha, N.A. Marchenko, V.M. Pidkopay, E.M. NEmtsev // Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu "Harkivskiy politekhnichniy Institut" : zb. nauk. pr. Temat. vip. : "GIdravlichni mashini ta

gIdroagregati" – Harkiv : NTU «HPI», 2017. – # 22 (1244). – P. 83–87.
http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2017_22.pdf.

12. Ratsionalni parametri teplosiya vid dzherela u sisteml teplopostachannya z urahuvannyam faktichnih harakteristik obladnannya / A.M. Ganzha, V.M. Pidkopay, E.M. Nemtsev // Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya. – 2017. – #2. – P. 76–81.
http://www.el.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/21209/1/eete2017_2_10Hanzha.pdf.

УДК 697.1:697.3:536.2

Ганжа А.М., д.т.н., завідувач кафедри, Семененко Л.В. головний спеціаліст,
Броневський Ю.Ф., директор, Савраєва Ю.І., аспірант

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО УТЕПЛЕННЯ

На даний час проблемі загальної термомодернізації огороджувальних конструкцій будівель приділяється багато уваги як на рівні науковців, так і на рівні споживачів. Це є одним з ефективних шляхів зменшення споживання природного газу, зниження негативного впливу на навколишнє середовище, дотримання і поліпшення комфортних умов у приміщенні. За останнє десятиліття населення стрімко почало утеплювати своє житло з ціллю підвищити внутрішню температуру повітря до комфортної в багатопверховому житловому секторі. Через недостатню увагу органів влади у житлово-комунальному секторі, недостатню кількість наукових досліджень та широкого інформування населення, відбувається масове утеплення огороджувальних конструкцій мешканцями багатоквартирних будинків в межах власних квартир. Але дослідження теплових процесів, які протікають при індивідуальному (несистемному) утепленні огороджувальних конструкцій, їх ефективності, на даний час повністю не завершено. Тому поставлена проблема, особливо в умовах значного подорожчання природного газу та електроенергії є актуальною.

У роботі виконано математичне моделювання фрагменту частково утепленої стіни огороджувальної конструкції з визначенням теплового потоку шляхом розв'язання тривимірного диференціального рівняння теплопровідності з граничними умовами II, III та IV роду та розподілом характеристик шару будівельних конструкцій та ізоляції. Ці результати можуть бути використані при аналізі ефективності індивідуального утеплення будинку в цілому з урахуванням фрагментарних утеплень та порівнянні з системною термомодернізацією.

У результаті моделювання визначені температурні поля поверхонь стін, які є тривимірними, є додаткові теплові потоки (теплові мости), які не враховуються у спрощеному одновимірному розрахунку. У одновимірному розрахунку при утепленні тепловий потік від стіни зменшується в 2,43 рази. При врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна (теплових мостів) та системному утепленні – в 1,75 разів. При клаптиковому утепленні та врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна – в 1,6 разів.

Наступним етапом розрахунків є визначення фактичних температур повітря у приміщеннях багатопверхового будинку з урахуванням фактичного стану огороджувальних конструкцій та системи опалення, нагрівальних приладів, режимних парамет-

рів теплоносія та параметрів зовнішнього повітря. Методи та засоби цього аналізу можуть враховувати підсумкові дані коригування тепловтрат після математичного моделювання, наведеного у цій роботі. У підсумку результати будуть враховуватись у проєктах термомодернізації будівель, реконструкції систем теплопостачання, раціональному розміщенні джерел, підборі обладнання та регулюванні роботи приладів.

Ганжа А.Н., Семененко Л.В. Бронеvский Ю.Ф., Савраева Ю.И.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО УТЕПЛЕНИЯ

В настоящее время проблеме общей термомодернизации ограждающих конструкций зданий уделяется большое внимание как на уровне ученых, так и на уровне потребителей. Это является одним из эффективных путей уменьшения потребления природного газа, снижения негативного воздействия на окружающую среду, соблюдения и улучшения комфортных условий в помещении. В последнее десятилетие население стремительно начало утеплять свое жилье с целью повысить внутреннюю температуру воздуха до комфортной в многоэтажном жилом секторе. Из-за недостаточного внимания органов власти в жилищно-коммунальном секторе, недостаточного количества научных исследований и широкого информирования населения происходит массовое утепление ограждающих конструкций жителями многоквартирных домов в пределах собственных квартир. Но исследование тепловых процессов, протекающих при индивидуальном (несистемном) утеплении ограждающих конструкций, их эффективности, в настоящее время полностью не завершено. Поэтому поставленная задача, особенно в условиях значительного удорожания природного газа и электроэнергии, актуальна.

В работе выполнено математическое моделирование фрагмента частично утепленной стены ограждающей конструкции с определением теплового потока путем решения трехмерного дифференциального уравнения теплопроводности с граничными условиями рода II, III и IV и распределением характеристик в слое строительной конструкции и утепления. Эти результаты могут быть использованы при анализе эффективности индивидуального утепления в целом с учетом фрагментарных утеплений и сравнении с системной термомодернизацией.

В результате моделирования определены температурные поля поверхностей стен, которые являются трехмерными, есть дополнительные тепловые потоки (тепловые мосты), которые не учитываются в упрощенном одномерном расчете. В одномерном расчете при утеплении тепловой поток от стены уменьшается в 2,43 раза. При учете суммарного теплового потока от боковых поверхностей у окна (тепловых мостов) и системном утеплении – в 1,75 раза. При лоскутном утеплении и учете суммарного теплового потока от боковых поверхностей у окна – в 1,6 раза.

Следующим этапом расчета является определение фактических температур воздуха в помещениях многоэтажного здания с учетом фактического состояния ограждающих конструкций и системы отопления, нагревательных приборов, режимных параметров теплоносителя и параметров наружного воздуха. Методы и средства этого анализа могут учитывать итоговые данные корректировки теплопотерь после математического моделирования, приведенного в данной работе. В результате результаты будут учитываться в проєктах термомодернізації зданий, реконструкції систем тепло-

снабжения, рациональном размещении источников, подборе оборудования и регулировании работы приборов.

Anton Ganzha, D.E.Sc., Head of Heat engineering and energy efficient technologies department, Liudmyla Semenenko, Head specialist, Yuzef Bronevskyi, director, Yuliia Savraieva, graduate student

MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL EFFICIENCY OF BUILDING ENVELOPE OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH ACCOUNT OF INDIVIDUAL INSULATION

At present, the problem of general thermal modernization of building envelopes is given much attention both at the level of scientists and consumers. This is one of the effective ways to reduce natural gas consumption, reduce the negative impact on the environment, maintain and improve comfortable indoor conditions. Over the last decade, the population has rapidly begun to insulate their homes in order to raise the indoor air temperature to a comfortable level in the multi-storey residential sector. Due to insufficient attention of the authorities in the housing and communal sector, the lack of scientific research and widespread public awareness, there is a massive thermal insulation of building by residents of multi-store buildings within their own apartments. But the study of thermal processes that occur in individual thermal insulation of enclosing structures is currently not fully completed. Therefore, in the context of significant increases in gas and electricity prices, this problem is relevant.

In the study was carried out mathematical modeling of a fragment of a partially insulated wall of an enclosing structure with determination of heat flux by solving a three-dimensional differential equation of thermal conductivity with boundary conditions of II, III and IV kind and distribution of characteristics of building structures and insulation. These results can be used in the analysis of the efficiency of insulation of the building taking into account the fragmentary insulation and of comparison with systemic thermal modernization.

As a result of modeling, the three-dimensional temperature fields of wall surfaces, are determined, there are additional heat fluxes (thermal bridges), which are not considered in the simplified one-dimensional calculation. In one-dimensional calculation, the heat flux from the wall is reduced by 2.43 times during insulation. Taking into account the total heat flow from the side surfaces near the window (thermal bridges) and system insulation - by 1.75 times. With fragmentary insulation and considering the total heat flux from the side surfaces near the window - by 1.6 times.

The next stage of calculations is the determination of the actual air temperatures in the premises of a multi-storey building considering the actual condition of enclosing structures and heating systems, heaters, mode parameters of the coolant and outdoor air parameters. The methods and means of this analysis can take into account the final data of heat loss adjustment after the mathematical modeling presented in this paper. In consequence, the results will be taken into account in the projects of thermal modernization of buildings, reconstruction of heating systems, rational placement of sources, selection of equipment and regulation of devices.

Keywords: thermal modernization, building envelope, energy efficiency of buildings, heat flow, fragmentary insulation, uncontrolled insulation, individual insulation, three-dimensional temperature field.

Krichkovskaya L.V., Doctor of Biology, Full Professor, Essam Elnaggar, Post-graduate,
Dubonosov V.L., Senior teacher

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF APPLICATION OF THE PHYTOSORBENT WITH NANOTUBES IN THE PROCESS OF ADSORPTIVE OIL PURIFICATION

National technical university "KhPI", Kharkiv

Keywords: adsorptive purification, sunflower and soybean oil, free fatty acids, peroxide compounds, metals.

Introduction

Refined vegetable oils after technological operations of hydration and alkaline neutralization contain some groups of chemical compounds in dissolved state: pigments, primary and secondary oxidation by-products, toxic elements (heavy metals), residual soap, phospholipids, moisture and other impurities. Being presenting in oils they worsen their salable condition and quality, also for various reasons they complicates heat exchange and hydrodynamic regimens in further processing of vegetable oils [1]. Adsorptive purification provides first (and in certain cases the only one) possibility to considerably reduce presence of contaminating materials in oils. For this reason adsorptive purification makes the greatest influence on product quality among all other purification stages.

Analysis of scientific-technical data and problem statement.

According to traditional purification scheme oils are exposed to adsorptive purification after passing the processes of hydration, neutralization, rinsing and drying [2]. To reduce oxidation of oils during adsorptive purification it's recommended to vacuumize adsorbents before their adding into oils and to provide the whole process under vacuum. In periodic schemes of fat purification an adsorbent is fed into the apparatus under vacuum at temperature of 90-95⁰C, and after agitating and exposition it is separated on frame filter-presses. In world practice devices for continuous purification are widely applied which composition includes tight filters of various design with mechanized removing of a deposit. For all technological flowcharts the following processing stages are common: preparation of concentrated oil suspension of an adsorbent; deaeration, preliminary and final refining; separation of an adsorbent on cyclically working filters [3].

Theoretical laws of the adsorptive purification process, in particular, chemisorption of contaminating materials containing in vegetable oils are described thoroughly enough in scientific and technical literature [3,4,5].

The key question of effective adsorptive purification is an applied adsorbent. Adsorbents existing today can be divided conventionally into several groups.

The first one includes high-effective adsorbents of imported origin (mainly of German (Sud-Chemieag firm) and american (Endelguard company) manufacture), which are peculiar in their high service of suppliers and quality at relatively low costs.

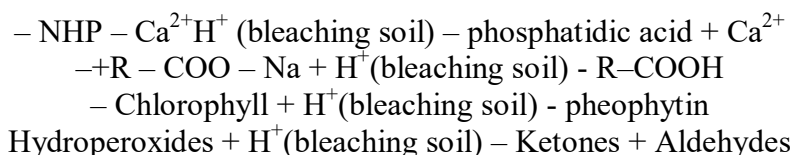
The second group are presented by adsorbents of Russian production having 1,5–2 times lower average coefficient of purification and oil-absorption power that consequently leads to their increased consumption and losses of oil with waste materials [6].

Unfortunately, in Ukraine activated bleaching clays are not manufactured. Among the ones used in fat-and-oil industry the most known are [7]:

- polish bleaching soil of the trademark Ieltar-100 produced by chemical industrial complex Siarkopol (Tornobzheg, Poland) of precipitate raw bentonites from Zakarpatye and Cherkassy regions;
- bleaching soil of the trademark «Ag-Optimum-210FF» produced by chemical industrial complex Sued-Chemie (Germany);
- «Engelguard – F» bleaching soil of the USA production.

Testing of these clays in Ukrainian fat-and-oil enterprises have shown that all indexes (oil-absorption power, acidity, powder formation, filtration index) of the above-stated clays are approximately the same. Purification factor of the American soil «Engelguard-F» is by 10% more than of the Polish one «Ieltar-100», but cost of the first one is twice more. Besides, raw materials for the Polish bleaching soil are supplied from Ukraine. Therefore, most of the enterprises of fat-and-oil and even petrochemical branches in the western regions of Ukraine (in particular, close corporation «Lvov complex», public corporation «Nezhinsky complex», public corporation «Lvov Petro-oil plant») work with Polish bleaching soil already more than 5 years.

The adsorptive purification is a complex process engaging many chemical reactions both desired and undesired ones. For example, bleaching soil schematically looks like [8]:



As a result of this process some impurities are adsorbed within pores of a bleaching soil and some of them transform into secondary impurities which negatively influence not only organoleptic properties, shelf-life of oils and fats, subsequent manufacturing processes (hydrogenation or re-etherification), final costs of industrial expenses, but also on the most important – consumer health.

That's why it's very important to choose correctly grade of a bleaching soil with properties and characteristics providing obtaining of a high-quality product with minimum quantity of primary and secondary impurities, basing on the following parameters:

- type of processed raw materials;
- features of an equipment;
- aims of bleaching or sorption;
- quality of oil or fat.

For adsorptive purification of plant oils adsorbents traditionally used can be divided into two groups: mineral and carbon-containing ones. Mineral native, naturally activated bentonites and synthetic amorphous compounds of silicon dioxide are attributed to the first group. The most widespread reagents are activated bleaching clays. The second group is presented by carbon-containing substances obtained from organic raw materials by pyrolysis with the subsequent activating in a flow of water steam or carbon dioxide [9].

Analysis of current state in scientific research concerning adsorptive purification shows that in Ukraine only 2 dissertation papers are devoted to this problem. The first one [10] is about a choice for the most effective sorbents from proven territories of minerals in Ukraine and development of advanced technology for adsorptive purification of sunflower oil. Author of this work has shown that non-activated palygorskite of the Cherkassy proven terri-

tory can be used as effective and inexpensive adsorbent allowing to substantially reduce content of peroxide compounds, phospholipids and colorants in sunflower oil.

Another work is devoted to elaboration of new adsorbent from sunflower peel obtained by acid hydrolysis with rinsing and leaching [11].

The obtained sorbent had the following composition: carbon – 54,62–55,63 %; hydrogen – 5,26–5,36 %; nitrogen – 0,82–1,48 %; oxygen – 37,23–39,0 %; sulphur – not more than 0,3 %. Use of this adsorbent has appeared effective in technology of alkaline neutralization that minimized losses of neutral fat.

Proceeding from the above-stated, we have developed new composition and improved technology for the adsorbent from peel with nanotubes using method of pyrolysis.

The purpose and tasks of the research

The purpose of this research is scientific substantiation for the technology of adsorptive purification of vegetable oils using phytosorbent from sunflower peel with nanotubes.

Research tasks:

- to carry out experimental research of adsorptive activity of a new adsorbent towards free fatty acids, phospholipids, colorants and metals containing in non-refined sunflower and soybean oils;
- to develop practical recommendations concerning further research.

Objects and methods of the research

As research objects the samples of non-refined sunflower and soybean oils, bleaching clay of «Ieltar-100» trademark and adsorbent from sunflower peel with nanotubes have been chosen.

Determination of acid and peroxide values, mass fraction of phospholipids and colour indexes was carried out by standard methods used in oil-and-fat industry, metal content (Fe,Na,K) – by method of X-ray-fluorescent spectroscopy using Elvatech firm device.

Research results for adsorptive activity of the adsorbent from sunflower peel with nanotubes.

For last years an increasing attention was paid to safety of foodstuff including vegetable oils and fats. Safety is evaluated by impurity limit level of technogenic and natural origin – dioxines and polycyclic aromatic hydrocarbons [10].

On the first stage adsorptive activity of a new adsorbent with nanotubes against free fatty acids, phospholipids, colorants and some metals presenting in non-refined sunflower and soybean oils has been researched.

Processing conditions for vegetable oils within a laboratory reactor were the following: temperature +45–72 °C, duration of agitating – 25–60 mines; agitating intensity – 120–400 rpm; residual pressure in a reactor – 1,2 mm Hg.

The table 1 presents experimental data concerning change of some organoleptic, physico-chemical and structure parameters and also content of Fe,Na,K in samples of sunflower and soybean oils prior to and after processing with commercial bleaching clay of the «Ieltar-100» trademark and the adsorbent developed from sunflower peel with nanotubes.

The data shown in the table 1 prove that adsorbent with nanotubes from sunflower peel efficiently eliminates free fatty acids, peroxide compounds, phospholipids, colorants and some metals from non-refined vegetable oils, and in more extent than it's provided with application of commercial bleaching clay of the «Ieltar- 100» trademark [10–12].

Thus, high adsorptive activity of the new phytosorbent with nanotubes from sunflower peel is confirmed.

Conclusions

1. Basing on analysis of scientific advances in the field of adsorptive purification the especial importance of the latter in technology of vegetable oil purification from contaminating materials and impurities and also insufficiency of scientific researches in development of domestic sorbents have been pointed out.

Table 1 – Influence of adsorbents on quality parameters of oils

The parameters evaluated	Sunflower oil	Soybean oil
Initial sample		
Acid value, mg KOH/g	3,02± 0,3	4,1± 0,36
Peroxide value, ½ mMol O / kg	0,101± 0,01	1,79 ±0,20
Phospholipids, %	0,45± 0,39	2,1± 0,19
Colour index, iodine units	30,0± 0,28	57± 4,9
Metals, mg/kg	Na 115,0 ± 10,7 K 120,0 ± 11,0 Fe 49,0 ± 4,8	Na 35,0 ± 3,9 K 96,3 ± 9,2 Fe 7,0 ± 0,8
Adsorption with clay «Ieltar– 100»		
Acid value, mg KOH/g	0,5 ± 0,04	0,8 ± 0,06
Peroxide value, ½ mMol O / kg	0,036 ± 0,004	0,85 ± 0,07
Phospholipids, %	0,25 ± 0,03	0,9 ± 0,08
Colour index, iodine units	8,0 ± 0,7	10,0 ± 1,2
Metals, mg/kg	Na 2,81 ± 0,3 K 20,52 ± 2,1 Fe 0,23 ± 0,02	Na 2,72 ± 0,3 K 10,4 ± 1,2 Fe 2,3 ± 0,2
Adsorption with adsorbent from peel with nanotubes		
Acid value, mg KOH/g	0,25 ± 0,02	0,20 ± 0,18
Peroxide value, ½ mMol O / kg	0,015 ± 0, 002	0,56 ± 0,06
Phospholipids, %	0,2 ± 0,02	0,15 ± 0,02
Colour index, iodine units	5,0 ± 0,4	6,0 ± 0,07
Metals, mg/kg	Na No K No F No	Na No K No Fe No

Taking into account the above information, the main directions of research were identified, which are to develop a technology for the synthesis of carbon adsorbents based on

carbon-containing sorbents and to establish the relationship between the characteristics of the obtained carbon adsorbents and the conditions of their formation.

Conclusions

1. Thus, by modification it is possible to vary the properties of the obtained carbon products in the desired direction. Modification of VU will make it possible to obtain a viscoadsorption carbon material on its basis.

2. High adsorptive activity of the developed phytosorbent with nanotubes towards free fatty acids, peroxide compounds, phospholipids, colorants and some metals (Fe,Na,K) has been found.

3. The results obtained point on necessity of further continuation of scientific research concerning influence of the phytosorbent with nanotubes on qualitative characteristics of vegetable oils including safety parameters.

4. The research provided by us testifies that raw materials for production of the sorbent is wastes of oil-and-fat manufacture. It allows to carry out strategy for complex processing of raw materials which is one of the main trends in modern technology.

Литература

1. Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений //Вода: химия и экология. – 2008, №1.–С.19–25.

2. Guo X., Zhang S., Shan X. Adsorption of metal ions on lignin // J. Hazard. Matter.– 2008.–V. 151.–P. 134–142.

3. Wan Ngah W.S., Hanafiah M.A. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A Review // Bioresource. Technol. 2008. –V. 99. – P. 3935–3948.

4. Тарнопольская М.Г. Фильтрующие материалы для очистки воды от нефтепродуктов и критерии их выбора //Вода и экология: проблемы и решения. –2005. №3. – С.74–79.

5. Передерий М.А., Сиротин П.А., Казаков В.А. Хотуляева В.Н. Безотходная переработка бурых углей в пористые углеродные материалы различного назначения // Химия твердого топлива. 2002. №6. – С.19–27.

6. Еремина А.О., Головина В.В., Угай М.Ю., Степанов С.Г., Морозов А.Б. Адсорбция фенолов и нефтепродуктов на сорбционных материалах из бурого угля //Химия твердого топлива. 2004. №4. – С.32–39.

7. Еремина А.О., Головина В.В., Угай М.Ю., Рудковский А.В. Углеродные адсорбенты из древесных отходов в процессе очистки фенолсодержащих вод //Химия растительного сырья. 2004. №2. – С. 67–71.

8. Багровская Н.А., Никифорова Т.Е., Козлов В.А., Лилин С.А. Сорбционные свойства древесных опилок. //Химия в интересах устойчивого развития. 2006. Т.14., №1. –С. 1–7.

9. Кнатько В.М., Кнатько М.В., Юлин В.А. Сорбент для очистки объектов окружающей среды. //Экологические системы и приборы. 2004. №12. – С. 38.

10. Андриевский Г.В., Клочков В.К. Гидратированные фуллерены как универсальные биоантиоксиданты и роль в этом особых упорядоченных структур воды. //Сб. Тезисов УП Междун. Симп. «Биологические механизмы старения». Харьков. – 2006. – С.91–92.

11. Buseck P.R. Geological fullerenes: review and analysis. (англ.)// *Earth and Planetary Science Letters*. (2002) 203(I 3–4): 781–792.

12. Скороходов В.Ф., Месяц С.П., Остапенко С.П. Решение проблемы очистки сточных вод промышленных предприятий от многокомпонентных загрязнений // *Горный журнал*. 2010. – № 9. – С. 106–108.

Bibliography (transliterated)

1. Artemov A.V., Pinkin A.V. Sorbtsionnyie tehnologii ochistki vodyi ot neftyanyih zagryazneniy // *Voda: himiya i ekologiya*. – 2008, #1. – P. 19–25.

2. Guo X., Zhang S., Shan X. Adsorption of metal ions on lignin // *J. Hazard. Matter.* – 2008. – V. 151. – P. 134–142.

3. Wan Ngah W.S., Hanafiah M.A. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A Review // *Bioresource. Technol.* 2008. – V. 99. – P. 3935–3948.

4. Tarnopolskaya M.G. Filtruyushchie materialy dlya ochistki vodyi ot nefteproduktov i kriterii ih vyibora // *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. – 2005. #3. – P. 74–79.

5. Perederiy M.A., Sirotin P.A., Kazakov V.A. Hotulyaeva V.N. Bezothodnaya pererabotka buryih ugley v poristyye uglerodnyie materialy razlichnogo naznacheniya // *Himiya tverdogo topliva*. 2002. #6. – P. 19–27.

6. Eremina A.O., Golovina V.V., Ugay M.Yu., Stepanov S.G., Morozov A.B. Adsorbtsiya fenolov i nefteproduktov na sorbtsionnyih materialah iz burogo uglya // *Himiya tverdogo topliva*. 2004. #4. – P. 32–39.

7. Eremina A.O., Golovina V.V., Ugay M.Yu., Rudkovskiy A.V. Uglerodnyie adsorbenty iz drevesnyih othodov v protsesse ochistki fenolsoderzhaschih vod // *Himiya rastitelnogo syirya*. 2004. #2. – P. 67–71.

8. Bagrovskaya N.A., Nikiforova T.E., Kozlov V.A., Lilin S.A. Sorbtsionnyie svoystva drevesnyih opilok. // *Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya*. 2006. T.14., #1. – P. 1–7.

9. Knatko V.M., Knatko M.V., Yulin V.A. Sorbent dlya ochistki ob'ektov okruzhayushey sredy. // *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2004. #12. – P. 38.

10. Andrievskiy G.V., Klochkov V.K. Gidratirovannyye fullereny kak universalnyie bioantioksidanty i rol v etom osobyih uporyadochennyih struktur vodyi. // *Sb. Tezisev UP Mezhdun. Simp. «Biologicheskie mehanizmyi starenia»*. Harkov. – 2006. – P. 91–92.

11. Buseck P.R. Geological fullerenes: review and analysis. (англ.)// *Earth and Planetary Science Letters*. (2002) 203(I 3–4): 781–792.

12. Skorohodov V.F., Mesyats S.P., Ostapenko S.P. Reshenie problemyi ochistki stochnyih vod promyshlennyyih predpriyatiy ot mnogokomponentnyih zagryazneniy // *Gornyy zhurnal*. 2010. – # 9. – P. 106–108.

УДК 629.039.58

Кричковська Л.В., Ессам Елнагар, Дубоносів В.Л.

**ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ФІТОСОРБЕНТУ
З НАНОТРУБКАМИ В ПРОЦЕСІ АДСОРБТИВНОГО ОЧИЩЕННЯ ОЛІЇ**

Проаналізовано деякі літературні дані за основними характеристиками ряду сорбційних матеріалів (вуглеводних, природних і сорбентів, отриманих з відходів агро-

промислового комплексу) в результаті термічної обробки. Розглянуто основні сорбційні властивості; гідності та недоліки. Досліджено вплив температури на продуктивність піролізу рослинної сировини і властивості карбонізаторів, що утворюються в діапазоні температур 150–600 °С. Тривалість експозиції матеріалів при кінцевій температурі процесу у всіх дослідках була однаковою і становила 1 ч. Аналіз експериментальних даних дозволяє зробити висновок, що температура є основним фактором, що впливає на процес карбонізації та виходу кінцевого продукту. Не залежно від атмосфери піролізу вихід продукту з рослинної сировини зі значним збільшенням температури знижується. В даний час основною сировиною для промислового отримання адсорбентів є в багатьох дослідженнях органічні речовини - деревина, копалини вугілля, торф, залишки переробки сільськогосподарської сировини через їх дешевизну і велику кількість. Вирішення проблеми створення сорбентів на основі рослинної сировини з включенням до їх складу гідратованих фулеренів вирішувало питання створення сорбентів і проблеми екології, так як відходи не завжди знаходили корисне застосування. Концентровані водні розчини гідратованого C60, скорочено C60FWS, є молекулярно-колоїдні системи сферичних фрактальних кластерів, структурною одиницею яких є міцний, високогідрофільний супрамолекулярний комплекс, що складається з молекули фулерену C60, укладеної в першу гідратну оболонку, котра містить 24 молекули води: C60 (H₂O) 24-гідратований фулерен C60 (C60HyFn). Гідратовані фулерени створюють в своєму оточенні впорядковану, структурно гетерогенне водне середовище, в якому спрямованість і кінетика хімічних процесів відрізняється від таких, що відбуваються в чистій (невпорядкованій) воді та сприяють утворенню шпарин, необхідних для активної сорбції.

Ключові слова: адсорбенти, піролиз, відходи агропромислового комплексу, фулерени.

Кричковская Л.В., Эссам Элнаггар, Дубоносов В.Л.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИТОСОРБЕНТА С НАНОТРУБКАМИ В ПРОЦЕССЕ АДСОРБТИВНОГО ОЧИЩЕНИЯ МАСЛА

Проанализированы некоторые литературные данные по основным характеристикам ряда сорбционных материалов (углеводных, природных и сорбентов, полученных из отходов агропромышленного комплекса) в результате термической обработки. Рассмотрены основные сорбционные свойства; достоинства и недостатки. Исследовано влияние температуры на производительность пиролиза растительного сырья и свойства карбонизаторов, образующихся в диапазоне температур 150–600 °С. Продолжительность экспозиции материалов при конечной температуре процесса во всех опытах была одинаковой и составляла 1 ч. Анализ экспериментальных данных позволяет заключить, что температура является основным фактором, влияющим на процесс карбонизации и выхода конечного продукта. Не зависимо от атмосферы пиролиза выход продукта из растительного сырья со значительным увеличением температуры снижается. В настоящее время, ввиду дешевизны и большого количества, основным сырьем для промышленного получения адсорбентов являются во многих исследованиях органические вещества – древесина, ископаемые уголь, торф, остатки переработки сельскохозяйственного сырья. Решение проблемы создания сорбентов на основе растительного сырья с включением в их состав гидратированных фуллеренов решало вопрос создания сорбентов и проблемы экологии, так как отходы не всегда находили полезное применение. Концентрированные водные растворы гидратированного C60, сокращенно C60FWS, являются молеку-

лярно-коллоидними системами сферических фрактальних кластеров, структурної одиницею яких є мікрогідрофільний, високогідрофільний супрамолекулярний комплекс, що складається з молекули фуллерена C₆₀, включеної в першу гідратну оболонку : C₆₀ (H₂O) 24-гідратований фуллерен C₆₀ (C₆₀H_yFn). Гідратовані фуллерени створюють в своєму оточенні упорядковану, структурно гетерогенну водну середовище, в якій напрямленість і кінетика хімічних процесів відрізняється від процесів в чистій (неупорядкованій) воді і сприяють утворенню щелей, необхідних для активної сорбції.

Ключевые слова: адсорбенти, пиролиз, відходи агропромислового комплексу, фуллерени.

Krichkovskaya L.V., Doctor of Biology, Full Professor, Essam Elnaggar, Post-graduate,
Dubonosov V.L., Senior teacher

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF APPLICATION OF THE PHYTOSORBENT WITH NANOTUBES IN THE PROCESS OF ADSORPTIVE OIL PURIFICATION

In the present article importance of adsorptive purification of vegetable oils is shown as the most responsible technological stage. Insufficiency of scientific developments in the scope of domestic sorbents in Ukraine is pointed out. The phytosorbent with nanotubes from sunflower peel improving some quality parameters of non-refined sunflower and soybean oils to standard values for refined oils has been offered.

Some literature data on the main characteristics of a number of sorption materials (carbonaceous, natural, fibrous, and sorbents obtained from agricultural waste - *Corylus avellana* Lambert nuts) as a result of heat treatment are analyzed. The main sorption properties are considered; dignity; limitations. The effect of temperature on the productivity of pyrolysis of plant raw materials and the properties of the resulting carbonizates in the temperature range 150-600 °C was investigated. The duration of exposure of materials at the final temperature of the process in all experiments was the same and amounted to 1 h. Analysis of the experimental data allows us to conclude that temperature is the main factor affecting the process of carbonization of the initial plant material. Regardless of the pyrolysis atmosphere, the yield of the product from plant raw materials decreases with a significant increase in temperature. At present, the main raw material for the industrial production of adsorbents is in many studies organic substances - wood, fossil coal, peat, remnants of the processing of agricultural raw materials due to their low cost and large amount. Solving the problem of creating sorbents based on plant raw materials with the inclusion of hydrated fullerenes in their composition solved the problem of creating sorbents and environmental problems, since the waste did not always find a useful application. Concentration of water solution of hydrated C₆₀, fast C₆₀FWS, ϵ molecular-colloidal systems and spherical fractal clusters, structural unit of which is micro-hydrophilic, high-hydrophilic supramolecular complex, molecules can be folded to fit into) 24-hydration of fullerene C₆₀ (C₆₀H_yFn). The hydrated cultivation is set in its own well-ordered, structurally heterogeneous watery middle, in which the directness and kinetics of chemical processes are seen in such, that it is necessary to be washed in order to clean

Keywords: adsorptive purification, sunflower and soybean oil, free fatty acids, peroxide compounds, metals.

Лебедєв В.В., к.техн.н., доцент, Мірошніченко Д.В., д.техн.н., професор,
Лендич Є.С.*, учень, Борисенко Л.М.*, вчитель, Савченко Д.О., студент,
Мазченко М.В., студент, Тихомирова Т.С., к.техн.н., доцент,
Литвиненко Є.І., к.техн.н. доцент, Ворожбіян Р.М., к.техн.н. доцент

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОТРИМАННЯ ГЕЛІВ НА ОСНОВІ АГАР-АГАРУ ДЛЯ КОСМЕТОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ З АНТИБАКТЕРІАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Харківська гімназія №65

Ключові слова: гідрогелі, агар-агар, дослідження, антибактеріальні властивості, гумінові кислоти, гелеутворення, в'язкість.

Вступ. Останніми роками у світі різко спалахнула необхідність в забезпеченні антисептичними речовинами, а гумінові кислоти крім цього мають безліч інших потенційно корисних властивостей [1]. Але на сучасний момент їх використання в косметичці та медицині є незначним: в медицині гумінові кислоти застосовуються, по більшій частині, в ветеринарії, а в косметології-або зовсім маленька доля речовин в препаратах або у чистому вигляді як антисептичний засіб [2–3].

Визначення фізико-хімічних властивостей сумішей на основі агар-агару також може бути корисним для його подальшого використання, так як він хоча і проявляє властивості гідрогелів, є сумішшю полісахаридів [4–6]. Відмінності між цими 2 класами сполук можуть бути використані в подальших дослідженнях для харчової промисловості, медицини, фармацевтики і косметології [7].

В контексті косметологічних застосувань основними потенційними перевагами антисептичних гелів на основі з агар-агару повинні стати [8]: багатофункціональність, мінімальна загроза для організму, простота в виробництві та відносна приємність для людини.

Мета статті – вивчення особливостей отримання гелів на основі агар-агару для косметології та медицини з антибактеріальними властивостями.

Об'єкти та методи дослідження. У роботі використовувався агар-агар харчовий «ДОБРИК» (Україна) торгівельної марки ТОВ "Нова-Пак" (Україна). Використовували гумінову кислоту, яку отримували за ГОСТ 9517 «Методи визначення виходу гумінових кислот» [9]. Суть методу полягає в обробці аналітичного зразка бурого вугілля лужним розчином пірофосфату натрію, подальшій екстракції зразка розчином гідроксиду натрію, осадження гумінових кислот із надлишком мінеральної кислоти та визначення маси осада, що утворюється. Масова частка гумінових кислот у лужному розчині 8,5 % мас.

Розчини агар-агару концентрацією 1,6 % готувалися по загальновідомою методикою: наважку заливали певною кількістю дистильованої води і залишали на добу для набухання. Потім суміш нагрівали на водяній бані при безперервному перемішуванні і доводили до кипіння на електроплитці. Отримані розчини залишали для природного охолодження на кілька годин. Вибір концентрації розчинів у воді ґрунтувався на численних даних про концентрації агар-агар, що забезпечує стійке гелеутворення при кім-

натній температурі (в нашому випадку -25°C). Діапазон концентрацій становить 1,5–2 %. На цій підставі було вибрано верхнє значення рівне 1,7 %, яке більш ніж удвічі менше концентрації утворення твердого гелю. Перевірка показала, що розчин такої концентрації залишається досить текучим при 25°C для вимірювання в'язкості за допомогою капілярного віскозиметра. Мінімальна концентрація обрана на основі попередніх експериментів і літературних даних, які свідчать, що розчини з концентрацією 0,1 % і менше поведуться як в'язкі ньютонівські рідини.

При отриманні висококонцентрованих полімерних гідрогелів з молоком та медом концентрацією 25 та 50 % полімерної частини наважку заливали певною кількістю дистильованої води і залишали на добу для набухання, суміш нагрівали на водяній бані при безперервному перемішуванні до отримання однорідного розчину. Потім отриманий розчин полімерних гідрогелів з молоком та медом виливали на скло та досліджували гелеутворення. Концентрація 25 та 50 % полімерної частини у полімерних гідрогелях обумовлена подальшим потенційним використанням їх для отримання косметологічних масок для обличчя, спеціальних тейпів при травмах та розтяганнях м'язів та суглобів.

У досліджених полімерних гідрогелях визначають умовну в'язкість ньютонівських рідин згідно з ГОСТ 8420 [10], час втрати липкості за ГОСТ 22181 [11], температуру топлення студню з 0,85 % мас. за ГОСТ 16280 [12] і час появи плісняви на гідрогелях. Електронні знімки отриманих композицій виконуються на електронному мікроскопі HDcolor CMOS Sensor (Китай).

Обговорення результатів. В першу чергу оцінювалася структурна завершеність в приготованих розчинах. На рис. 1 наведена залежність умовної в'язкості розчинів гідрогелів агар-агару від вмісту гумінової кислоти.

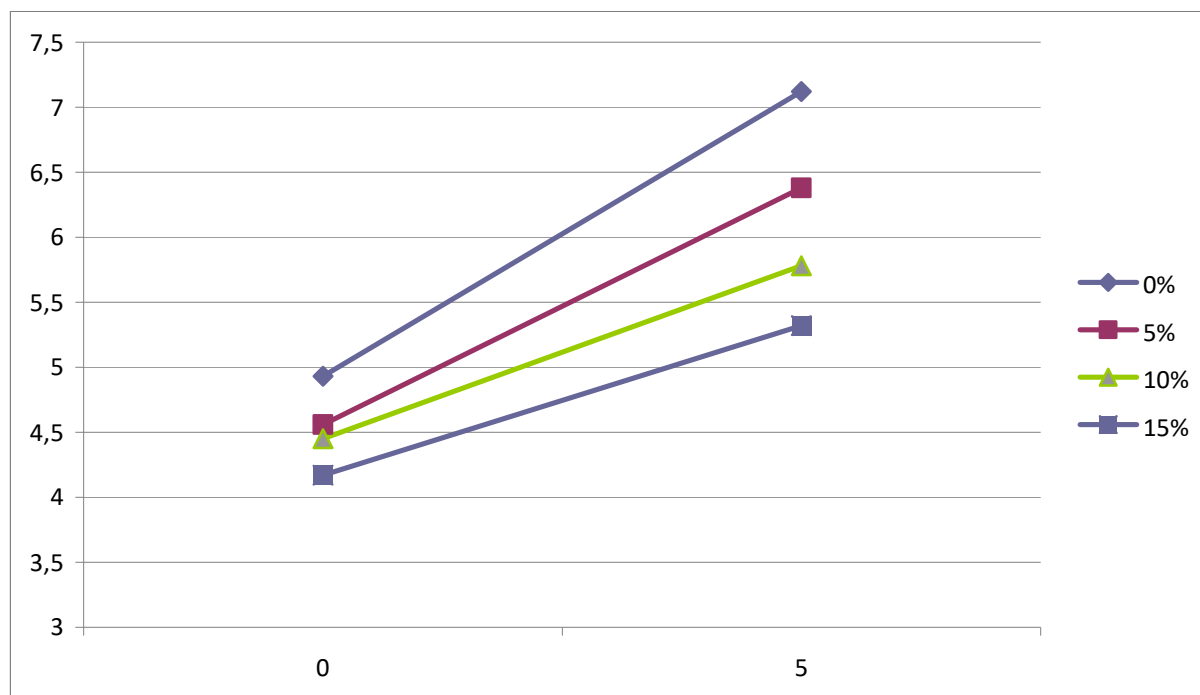


Рисунок 1 – Залежність в'язкості від вмісту гумінової кислоти

Нижче приведена залежність температури топлення студню гідрогелів агар-агару від вмісту гумінової кислоти – рис. 2.

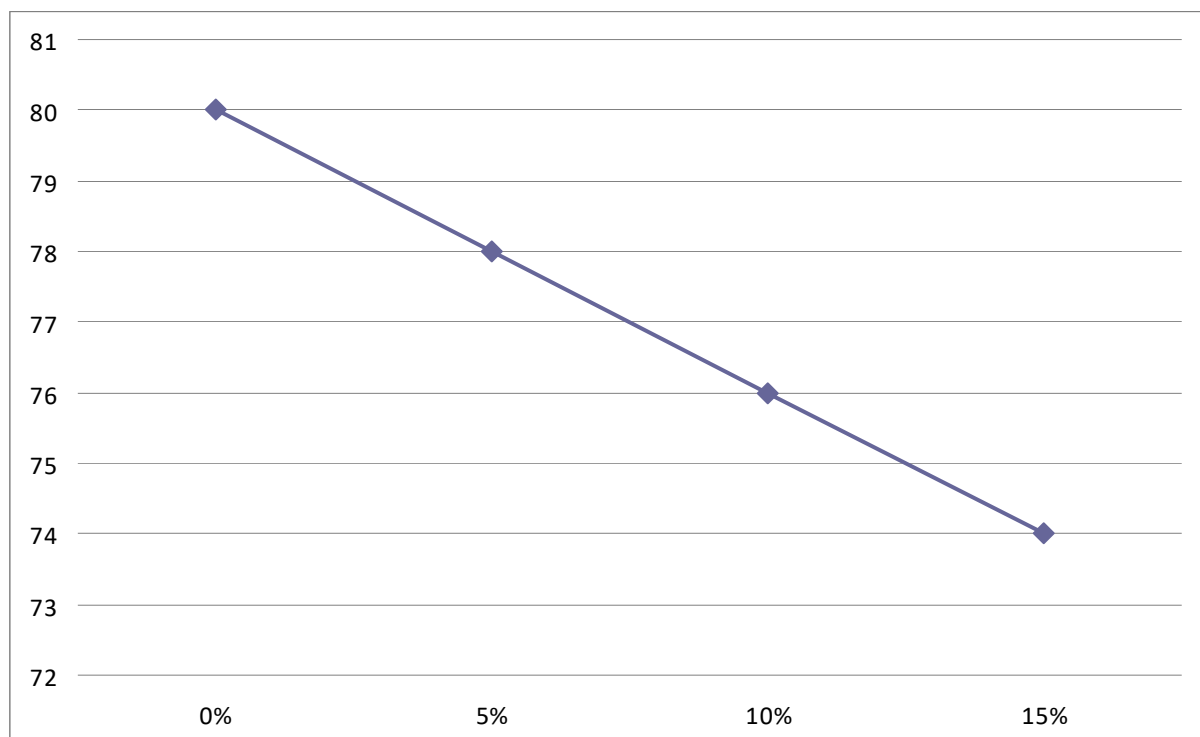


Рисунок 2 – Залежність температури топлення студню гідрогелів від вмісту гумінової кислоти, °C

Нижче в таблиці 1 наведені дані щодо впливу різного вмісту гумінової кислоти на час втрати липкості і появи цвілі на поверхні полімерних гідрогелів.

Таблиця 1 – Вплив різного вмісту гумінової кислоти на втрату липкості і появи цвілі на поверхні полімерних гідрогелів

	0%	5%	10%	15%
Час втрати липкості, хв.	5	7	10	15
Час появи цвілі, годин	24	Не з'являється	Не з'являється	Не з'являється

З рис. 1–2 і табл. 1 видно, що введення до складу полімерних гідрогелів гумінових кислот вповільнює процеси структуроутворення, що призводить до зменшення в'язкості всіх досліджуваних композицій. Також зниження температури топлення студню гідрогелів при збільшенні вмісту гумінових кислот в них свідчить про знижений рівень гелеутворення, що призводить також до збільшення часу втрати липкості полімерних гідрогелів.

Не менш важливо відзначити той факт, що гумінові кислоти у полімерних гідро-гелях мають високу антибактеріальну активність, повністю зупиняють процеси утво-рення в них плісняви, що наочно видно з рис. 3.

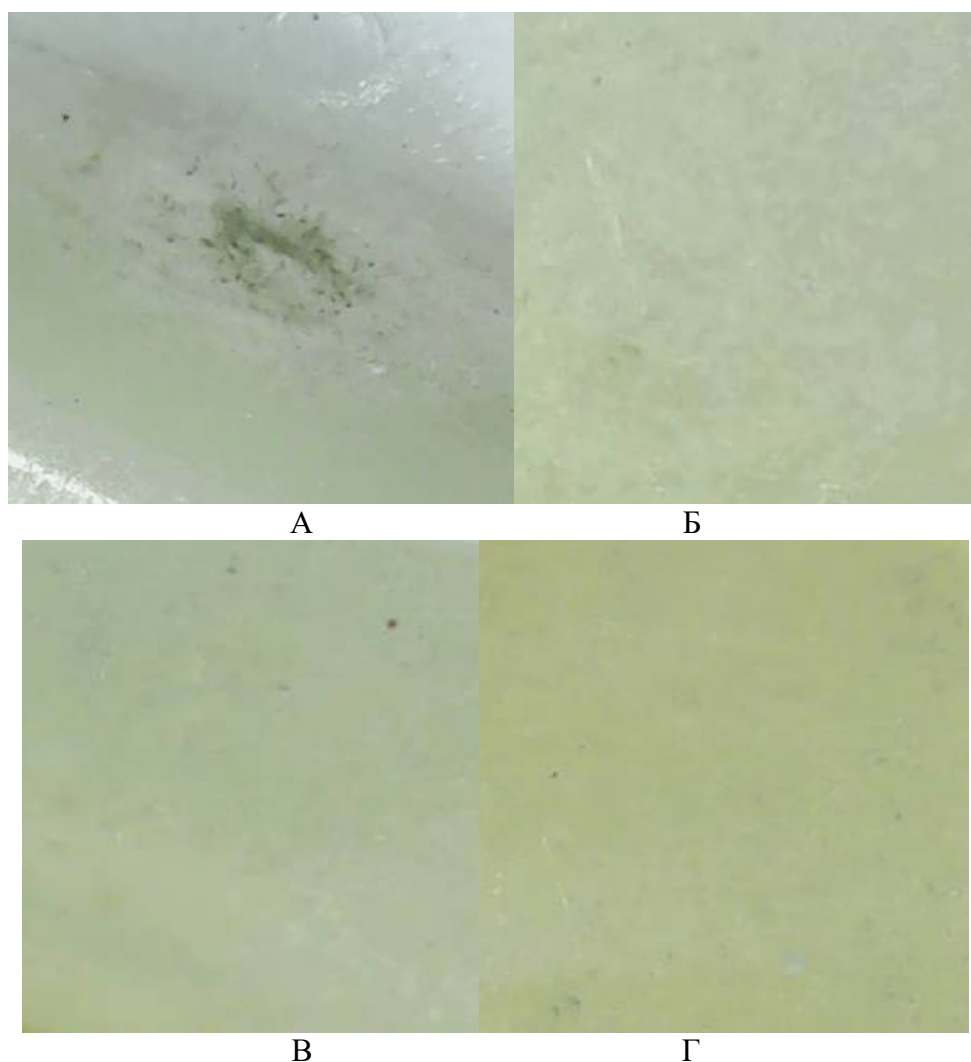


Рисунок 3 – Мікрофотографії (500х) досліджуваних полімерних гідрогелів агар-агару з різним вмістом гумінової кислоти: А – полімерний гідрогель агар-агару; Б полімерний гідрогель з 5 % вмістом гумінових кислот; В – полімерний гідрогель агар-агару з 10 % вмістом гумінових кис-лот; Г – полімерний гідрогель агар-агару з 15 % вмістом гумінових кислот

Таким чином, були розроблені косметологічні полімерні гідрогелі з антибактері-альним ефектом, які можуть бути використані при обробці рук, обличчя та інших від-критих та контактних для людини ділянок шкіри за для боротьби з коронавірусними бактеріями.

Висновки. В статті проведено дослідження з вивчення процесів гелеутворення та особливостей реологічних властивостей гідрогелів на основі агар-агару з метою отримання сучасних гідрогелів з антибактеріальним ефектом.

В ході дослідження ми дійшли наступних висновків:

– встановлено, що введення до складу полімерних гідрогелів гумінових кислот вповільнює процеси структуроутворення, що призводить до зменшення в'язкості всіх

досліджуваних композицій. Також зниження температури топлення студню гідрогелів агар-агару при збільшенні вмісту гумінових кислот в них свідчить про знижений рівень гелеутворення, що призводить також до збільшення часу втрати липкості полімерних гідрогелів агар-агару.

– показано, що гумінові кислоти у полімерних гідрогелях агар-агару мають високу антибактеріальну активність, повністю зупиняють процеси утворення в них плісняви;

– найбільш ефективними з точки зору отримання гідрогелів агар-агару з антибактеріальним ефектом є композиції агар-агару зі вмістом гумінових кислот 15 %.

Література

1. Платонова В.В., Елесеєва Д.Е., Швыкин А.Ю. Метод предварительной оценки физиологической активности гуминовых и гуминоподобных веществ // Вестник новых медицинских технологий. - 2010. - №3. – с. 26–29.
2. Ansorg R., Rochus W. Studies on the antimicrobial effect of natural and synthetic humic acids (author's transl) // Arzneimittel-Forschung-Drug Research. – 1978. – 28. – p. 2195–2198.
3. Kneist S. Antibakterielle und antimykotische Wirkung von Huminsubstanzen aus dem Alteicher Moor // Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt. Jahrbuch. – 2005. – pp. 65.
4. Sousa A.M., Borges J., Silva A.F., Goncalves M.P. Influence of the extraction process on the rheological and structural properties of agars // Carbohydrate Polymers. – 2013. – 96(1). – pp. 163–171.
5. Usov A.I. Polysaccharides of the red algae // Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry. – 2011. – 65. – pp. 115–217.
6. Максимова О.А., Митин В.В. Определение динамики гелеобразования агар-агара // Пищевая промышленность. – 2013. – №7. – С. 4.
7. Nordqvist D., Vilgis T.A. Rheological Study of the Gelation Process of Agarose-Based Solutions // Food Biophysics. – 2011. – 6(4) – pp. 450.
8. Lebedev V., Miroshnichenko D., Xiaobin Z., Pyshyev S., Savchenko D. Technological Properties of Polymers Obtained from Humic Acids of Ukrainian Lignite // Petroleum and Coal. – 2021. – 63 (3). – pp. 646–654.
9. ГОСТ 9517-94 (ИСО 5073-85) Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот.
10. ГОСТ 8420-74 Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости.
11. ГОСТ 22181-91 (ИСО 2535-74) Смолы полиэфирные ненасыщенные. Методы определения времени желатинизации.
12. ГОСТ 16280-2002. Агар пищевой. Технические условия.

Bibliography (transliterated)

1. Platonova V.V., Eleseeva D.E., Shvykin A.Yu. Metod predvaritel'noj ocenki fiziologicheskoy aktivnosti guminovyh i guminopodobnyh veshchestv // Vestnik novykh medicinskih tekhnologij. – 2010. – №3. – p. 26-29.

2. Ansorg R., Rochus W. Studies on the antimicrobial effect of natural and synthetic humic acids (author's transl) // *Arzneimittel-Forschung-Drug Research*. – 1978. – 28. – p. 2195–2198.
3. Kneist S. Antibakterielle und antimykotische Wirkung von Huminsubstanzen aus dem Alteicher Moor // *Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt. Jahrbuch*. – 2005. – pp. 65.
4. Sousa A.M., Borges J., Silva A.F., Goncalves M.P. Influence of the extraction process on the rheological and structural properties of agars // *Carbohydrate Polymers*. – 2013. – 96(1). – p. 163–171.
5. Usov A.I. Polysaccharides of the red algae // *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*. – 2011. – 65. – p. 115–217.
6. Maksimova O.A., Mitin V.V. Opredelenie dinamiki geleobrazovaniya agar-agara // *Pishchevaya promyshlennost'*. – 2013. – No7. – P.4.
7. Nordqvist D., Vilgis T.A. Rheological Study of the Gelation Process of Agarose-Based Solutions // *Food Biophysics*. – 2011. – 6(4) – p. 450.
8. Lebedev V., Miroshnichenko D., Xiaobin Z., Pyshyev S., Savchenko D. Technological Properties of Polymers Obtained from Humic Acids of Ukrainian Lignite // *Petroleum and Coal*. – 2021. – 63 (3). – pp. 646–654.
9. GOST 9517-94 (ISO 5073-85) Topливо tverdoe. Metody opredeleniya vyhoda guminovyh kislot.
10. GOST 8420-74 Materialy lakokrasochnye. Metody opredeleniya uslovnoy vyazkosti.
11. GOST 22181-91 (ISO 2535-74) Smoly poliefirnye nenasyshchennye. Metody opredeleniya vremeni zhelatinizatsii
12. GOST 16280-2002. Agar pishchevoj. Tekhnicheskie usloviya.

УДК 678

Лебедев В.В., Мірошніченко Д.В., Лендич Є.С.*, Борисенко Л.М.*, Савченко Д.О.,
Мазченко М.В., Тихомирова Т.С., Литвиненко Є.І., Ворожбіян Р.М.

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Харківська гімназія №65

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОТРИМАННЯ ГЕЛІВ НА ОСНОВІ АГАР-АГАРУ ДЛЯ КОСМЕТОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ З АНТИБАКТЕРІАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

У сучасному світі особлива увага приділяється матеріалам із контрольованими характеристиками. У цьому аспекті полімери та матеріали на їх основі мають ряд специфічних властивостей для ефективного використання в медицині та косметології. Гумінові речовини задовольняють більшість цих особливостей, тому їх використання є дуже актуальним. Вивчення особливостей процесів гелеутворення в полімерних системах типу агар-агар, якій має досить універсальні властивості, дозволяють використовувати його як основу для гелів та полімерних носіїв, а також в процесах отримання медичних та косметологічних матеріалів з різними властивостями, що може мати важливе значення при вирішенні ряду актуальних питань. Зокрема це легкі і дешеві в вироб-

ниці антисептичні гелі, пов'язки на ранах з абсорбційними та захисними властивостями, всіляка косметика. В статті проведено дослідження з вивчення процесів гелеутворення та особливостей реологічних властивостей гідрогелів на основі агар-агару з метою отримання сучасних гідрогелів з антибактеріальним ефектом. Встановлено, що введення до складу полімерних гідрогелів гумінових кислот вповільнює процеси структуроутворення, що призводить до зменшення в'язкості всіх досліджуваних композицій. Введення до складу полімерних гідрогелів гумінових кислот вповільнює процеси структуроутворення, що призводить до зменшення в'язкості всіх досліджуваних композицій. Також зниження температури топлення студню гідрогелів при збільшенні вмісту гумінових кислот в них свідчить про знижений рівень гелеутворення, що призводить також до збільшення часу втрати липкості полімерних гідрогелів. Показано, що гумінові кислоти у полімерних гідрогелях мають високу антибактеріальну активність, повністю зупиняють процеси утворення в них плісняви. Встановлено, що найбільш ефективними с точки зору отримання гідрогелів з антибактеріальним ефектом є композиції агар-агару зі вмістом гумінових кислот 15%. Таким чином, були розроблені косметологічні полімерні гідрогелі з антибактеріальним ефектом, які можуть бути використані при обробці рук, обличчя та інших відкритих та контактних для людини ділянок шкіри за для боротьби з коронавірусними бактеріями.

Ключові слова: гідрогелі, агар-агар, дослідження, косметологія, гелеутворення, в'язкість.

Лебедев В.В., Мирошніченко Д.В., Лендич Е.С., Борисенко Л.М., Савченко Д.А.,
Мазченко М.В., Тихомирова Т.С., Литвиненко Е.И., Ворожбян Р.М.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АГАР-АГАРА ДЛЯ КОСМЕТОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ С АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

В современном мире особое внимание уделяется материалам с контролируемыми характеристиками. В этом аспекте полимеры и материалы на их основе обладают рядом специфических свойств для эффективного использования в медицине и косметологии. Гуминовые вещества удовлетворяют большинство этих особенностей, поэтому их использование очень актуально. Изучение особенностей процессов гелеобразования в полимерных системах типа агар-агар, которой обладает достаточно универсальными свойствами, позволяют использовать его как основу для гелей и полимерных носителей, а также в процессах получения медицинских и косметологических материалов с различными свойствами, что может иметь важное значение при решении ряда актуальных вопросов. В частности, это легкие и дешевые в производстве антисептические гели, повязки на ранах с абсорбционными и защитными свойствами, всяческая косметика. В статье проведено исследование по изучению процессов гелеобразования и особенностей реологических свойств гидрогелей на основе агар-агара с целью получения современных гидрогелей с антибактериальным эффектом. Установлено, что введение в состав полимерных гидрогелей гуминовых кислот замедляет процессы структурообразования, что приводит к уменьшению вязкости всех исследуемых композиций. Также снижение температуры плавления студней гидрогелей при увеличении содержания гуминовых кислот в них свидетельствует о пониженном уровне гелеобразования, что приводит также к увеличению времени потери липкости полимерных гидрогелей. По-

казано, что гуминовые кислоты в полимерных гидрогелях имеют высокую антибактериальную активность и практически полностью останавливают процессы образования в них плесени. Установлено, что наиболее эффективными с точки зрения получения гидрогелей с антибактериальным эффектом являются композиции агар-агара с содержанием гуминовых кислот 15%. Таким образом, были разработаны косметологические полимерные гидрогели с антибактериальным эффектом, которые могут быть использованы при обработке рук, лица и других открытых и контактных для человека участков кожи для борьбы с коронавирусными бактериями.

Ключевые слова: гидрогели, агар-агар, исследования, антибактериальные свойства, гуминовые кислоты, гелеобразование, вязкость.

Lebedev V.V., Miroshnichenko D.V., Lendich E.S., Borisenko L.M., Savchenko D.A.,
Mazchenko M.V., Tikhomirova T.S., Litvinenko E.I., Vorozhbiyan R.M.

FEATURES OF OBTAINING GELS BASED ON AGAR-AGAR FOR COSMETOLOGY AND MEDICINE WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES

In the modern world, special attention is paid to materials with controlled characteristics. In this aspect, polymers and materials based on them have a number of specific properties for effective use in medicine and cosmetology. Humic substances satisfy most of these features, so their use is very important. The study of the features of the processes of gelation in polymer systems such as agar-agar, which has rather universal properties, makes it possible to use it as a basis for gels and polymer carriers, as well as in the processes of obtaining medical and cosmetic materials with different properties, which can be important in solving a number of topical issues. In particular, these are lightweight and cheap to manufacture antiseptic gels, dressings on wounds with absorption and protective properties, all kinds of cosmetics. In the article, a study was carried out to study the processes of gelation and the features of the rheological properties of hydrogels based on agar-agar in order to obtain modern hydrogels with an antibacterial effect. It was found that the introduction of humic acids into the composition of polymer hydrogels slows down the processes of structure formation, which leads to a decrease in the viscosity of all the studied compositions. Also, a decrease in the melting temperature of hydrogel jellies with an increase in the content of humic acids in them indicates a reduced level of gelation, which also leads to an increase in the time of loss of stickiness of polymer hydrogels. It has been shown that humic acids in polymer hydrogels have high antibacterial activity and almost completely stop the processes of mold formation in them. It was found that the most effective from the point of view of obtaining hydrogels with an antibacterial effect are agar-agar compositions with a humic acid content of 15 %. Thus, cosmetic polymer hydrogels with an antibacterial effect have been developed, which can be used in the treatment of hands, face and other areas of the skin that are open and contact for humans to combat coronavirus bacteria.

Keywords: hydrogels, agar-agar, research, antibacterial properties, humic acids, gelation, viscosity.

Троценко О.В., Григоров А.Б., д. техн. н., професор, Назаров В.М., к. техн. н., професор

ОТРИМАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна*

Ключові слова: дизельне паливо, компаундування, синтез, присадка, діазосполуки, властивості, стабільність, колір

Вступ. Підвищення якості моторних палив, зокрема дизельних, відноситься до ряду першочергових завдань, на вирішення якого спрямовані зусилля передових нафтопереробних підприємств України. Певну складність у вирішенні цього завдання вносить відсутність власної якісної вуглеводневої сировини, застарілість технологій виробництва палива та їх значна енергоємність. Ці фактори призвели до тієї ситуації, коли відбувається щорічне збільшення імпортованого палива у загальному обігу нафтопродуктів. При цьому, спостерігаються постійні перебої в забезпеченні існуючої потреби у паливі та стрімке зростання цін на паливо. Одним з рішень у змінненні цієї ситуації є використання у складі дизельних палив поліфункціональних присадок, які дозволяють збільшити обсяги виробництва палива та підвищити його якість. Окрім цього, використання присадок дозволяє отримати якісне паливо з наявної вуглеводневої сировини без використання складних технологій очищення продуктів – паливних фракцій, що без сумніву впливає на зниження їх собівартості.

Аналіз публікацій. Історія використання присадок у дизельних паливах для поліпшення їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей бере свій початок з першої половини XX сторіччя і, навіть у сучасних умовах виробництва палив є досить велими актуальним.

Присадки у складі дизельного палива використовують для поліпшення таких властивостей як миючі, диспергувальні, змащувальні, депресорні, протикорозійні та займистість, що виражена у одиницях цетанового числа [1–4].

Недоліком таких присадок є складність їх отримання, висока вартість та те, що вони в основному здатні поліпшувати тільки одну з наведених властивостей. Також, при формуванні пакету присадок до дизельного палива слід брати до уваги і їх сумісність.

Частково позбавитися означених вище недоліків можливо за рахунок застосування у складі дизельних палив біфункціональних та поліфункціональних присадок. Так, в роботі [5] у дизельному паливі для тепловозу запропоновано використовувати присадку DFC2020, яка збільшує повноту згорання палива, підвищуючи його коефіцієнт корисної дії (ККД), та знижує кількість шкідливих викидів в атмосферу.

Авторами роботи [6] проведені дослідження властивостей дизельного палива з додаванням багатофункціональної присадки «Thermol-D». Вона складається з вуглеводнів і поверхнево-активних речовин та здатна поліпшувати змащувальні, антиокислювальні, диспергуючі властивості та займистість. Встановлено, що додавання 2 % Thermol-D до складу дизельного палива підвищило на 21 % термічний ККД двигуна,

зменшило викиди оксиду вуглецю на 32–36 % та викиди оксидів азоту на 18–20,5 %. В якості поліфункціональної присадки до дизельних палив досліджувалося додавання наночастинки (розмір до 25 ppm) оксиду церію (CeO_2). Було встановлено, що означені наночастинки здатні покращувати повноту згоряння дизельного палива та зменшувати шкідливі викиди вихлопних газів [7].

В роботі [8] синтезовано нітратні похідні соєвої олії та оцінено їх вплив на властивості дизельного палива. Встановлено, що ці продукти характеризуються підвищеною стабільністю і мають здатність відновлювати NO_x , забезпечувати значне підвищення змащувальної здатності палива та цетанового числа.

Відома багатофункціональна паливна присадка SO-2E, яка є ефективною для покращення повноти згоряння дизельного палива та зменшення шкідливих викидів в атмосферу. Застосування цієї присадки в концентрації 0,2 об. % призводить до зменшення викидів NO на 7,8–11,8 % [9].

В роботі [10] досліджено використання наноемulsionної структурованої паливної присадки, яка при кількості 125 ppm у складі комерційного дизельного палива підвищує його стабільність, покращує процес згоряння та призводить до його економії (до 9,7 %).

Для підвищення якості дизельного палива в роботі [11] запропоновано використовувати паливну присадку (octamix), яка була отримана шляхом змішування етанолу, аміачного бору та триоктилборату. При додаванні 1 % присадки до дизельного палива термічний ККД двигуна збільшився на 26,2 %, також у вихлопних газах зменшився вміст NO_x (на 15,66 %), CO (на 46,67 %), CO_2 (на 23,63 %), CH (на 24,24 %).

Зважаючи на позитивний вітчизняний та закордонний досвід використання поліфункціональних присадок у дизельних паливах, нами запропоновано використовувати у якості поліфункціональної присадки органічну речовину, яка є представником класу ароматичних діазосполук.

Лабораторні дослідження. Дослідження впливу запропонованої поліфункціональної присадки на властивості дизельного палива відбувалося за програмою, що наведена на рис. 1.

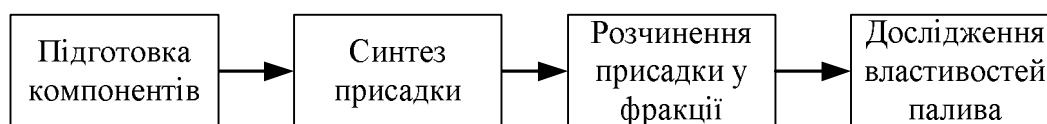


Рисунок 1 – Програма досліджень

Зазначимо, що у якості середовища, де розчинялася отримана присадка, було обрано прямогонну дизельну фракцію (240–350 °C), яка була отримана з вітчизняного газового конденсату. Тобто, дослідження відбувалися з використанням наявної, реальної сировини, яка використовується підприємствами нафтопереробної галузі України для виробництва дизельних палив.

Розчинення присадки у дизельній фракції, відбувалося за допомогою лабораторного перемішуючого пристрою лопатевого типу при температурі 35 °C, протягом 6 годин, а діапазон концентрацій присадки знаходився у межах від 0 до 1,0 %. При розчиненні присадки у дизельній фракції відбувалося її стійке забарвлення. Колір змінювався від жовтого до насиченого помаранчевого, в залежності від концентрації розчиненої присадки. Дану властивість присадки можна розглядати у якості позитивного явища,

особливо при виробництві брендованого дизельного палива з поліпшеними експлуатаційними або екологічними властивостями, а також у боротьбі з її фальсифікацією.

При лабораторному дослідженні отриманої суміші спочатку досліджувалась її фізична стабільність за допомогою приладу, схему якого наведено на рис. 2. Фізична стабільність дизельного палива відноситься до основних його властивостей, яка разом з хімічною стабільністю характеризує термін і умови його зберігання.

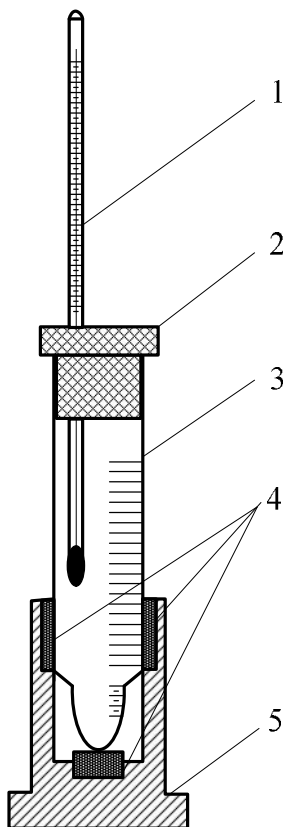


Рисунок 2 – Прилад для визначення фізичної стабільності палива:
1 – термометр; 2 – кришка; 3 – колба; 4 – прокладки; 5 – підставка

Методика дослідження фізичної стабільності полягала в заповненні колби приладу (3) досліджуваною пробєю палива у кількості 50 см³ (див. рис. 2). Далі колба (3) закупорювалася кришкою (2) з розташованому у ній термометром (1) та встановлювалася на металеву підставку (5). Далі, для дослідження фізичної стабільності дизельного палива в умовах підвищених температур прилад встановлювався в сушильну шафу, нагріту до температури плюс 50 °С. Там він витримувався протягом 24 годин. Після цього, його виймали з сушильної шафи та візуально проводили оцінку фізичної стабільності палива. Після цього, для дослідження фізичної стабільності дизельного палива в умовах низьких температур прилад встановлювався в холодильну камеру з температурою мінус 25 °С. Там він витримувався також протягом 24 годин, а далі відбувалася оцінка фізичної стабільності палива. Проведене дослідження показало, що в означеному діапазоні температур, в складі досліджуваного дизельного палива не відбувалося розшарування та утворення осаду, а значить, воно повністю зберігало свою фізичну стабільність.

Результати дослідження інших властивостей дизельного палива, виражених в зміні значень фізико-хімічних показників (густини, в'язкості і температури застигання) в залежності від концентрації поліфункціональної присадки, наведено на рис. 3–5.

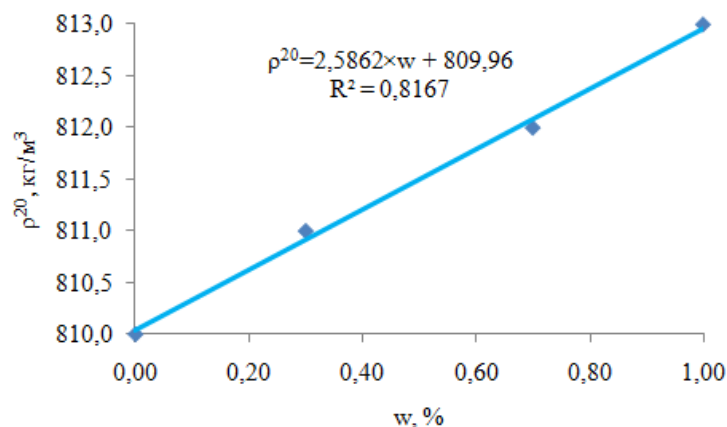


Рисунок 3 – Залежність ρ^{20} від w

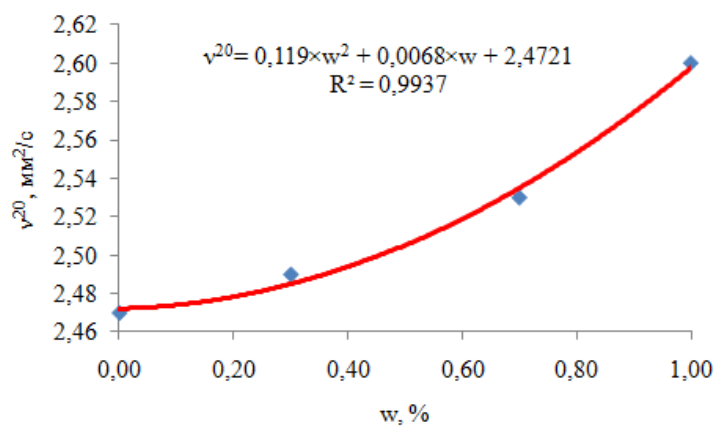


Рисунок 4 – Залежність ν^{20} від w

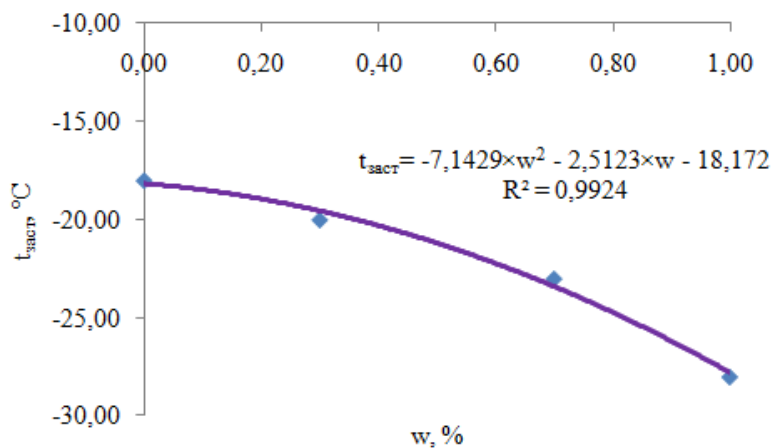


Рисунок 5 – Залежність $t_{\text{заст}}$ від w

Згідно інформації, що представлена на рис. 3–5, збільшення концентрації поліфункціональної присадки у дизельній фракції до 1,0 %, впливає на збільшення її ρ^{20} (на 3 кг/м^3), ν^{20} (на $0,16 \text{ мм}^2/\text{с}$) та зменшення $t_{\text{заст}}$ (на $-10 \text{ }^\circ\text{C}$). Очевидно, що при подальшому збільшенні концентрації присадки буде спостерігатися більш суттєве поліпшення властивостей дизельної фракції. При цьому, припустимо, що максимально-припустима концентрація присадки у дизельній фракції буде обмежуватися розчинністю присадки у фракції та фізичною стабільністю отриманої суміші. Збільшення величини густини та в'язкості дизельного палива, якщо вона не перевищує значень встановлених [12], є позитивним моментом, який впливає на зменшення витрати палива у наслідок протічок і підтікань, зменшує нагароутворення, підвищує ККД двигуна та поліпшує змащувальну здатність дизельного палива особливо в плунжерній парі паливного насоса [13, 14]. Зменшення температури застигання свідчить про поліпшення депресорних властивостей від яких, залежить температурний діапазон застосування дизельного палива [15].

Висновки. Застосування для поліпшення властивостей дизельного палива присадок є найбільш раціональним та економічно доцільним шляхом для збільшення обсягів виробництва дизельного палива, підвищення його рівня якості до існуючих вимог нормативної документації, і як наслідок, здійснювати імпортозаміщення, що повністю відповідає «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року».

Спектр присадок, які сьогодні використовуються у дизельному паливі є величезним різноманітним, але при цьому світові тенденції, що склалися у сфері виробництва та застосування присадок у дизельних паливах такі, що найбільшою перевагою користуються поліфункціональні присадки – здатні одночасно поліпшувати декілька властивостей палива. При цьому, спрощується процедура підбору пакету присадок до палива (не має потреби визначати їх сумісність та оптимальні концентрації) та знижується вартість власне дизельного палива.

Додавання до складу дизельної фракції 1,0 % отриманої нами поліфункціональної присадки надає їй стійкий колір, дозволяє дещо збільшити її густину і в'язкість та значно поліпшити низькотемпературні властивості (на $-10 \text{ }^\circ\text{C}$). При цьому, слід розуміти, що для більш значного поліпшення властивостей дизельних фракцій та товарних палив, концентрацію присадки необхідно збільшити, але це потребує проведення додаткових досліджень.

Література

1. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с.
2. Безюков О.К. Современные присадки к дизельному топливу / О.К. Безюков, В.А. Жуков, М.М. Маад // Вестник АГТУ. – 2016. – № 1 (61). – С. 28–33.
3. Беркань В.О. Присадки для дизельных топлив / В.О. Беркань, А.В. Мамлиева // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2015. – №2(2). – С. 41–46.

4. Li H. Effect of Multifunctional fuel additive package on fuel injector deposit, combustion and emissions using pure rape seed oil for a DI diesel / Li H., Lea-Langton, A., Biller, P., Andrews, G. et al.// SAE Int. J. Fuels Lubr. – 2010. – №2(2). – Pages. 54–65.
5. Вихопень І.Р. Випробування дизельного палива, модифікованого присадкою DFC2020 / І.Р. Вихопень, О.В. Клецька, О.В. Кіріцева, А.Л. Сумцов, М.А. Барібін // Вісник приазовського державного технічного університету. – 2020. – №41. – С. 188–196.
6. Ashok B. Multi-functional fuel additive as a combustion catalyst for diesel and biodiesel in CI engine characteristics / B. Ashok, K. Nanthagopal et al.// Fuel. – 2020. – № 278, [118250]. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118250>.
7. Venkatraman Narasiman. Experimental investigation of DI diesel engine performance with oxygenated additive and SOME Biodiesel / Venkatraman Narasiman, Suppandipilai Jeyakumar, Muthu Mani // JSME Journal of Thermal Science and Technology. – 2015. – Vol.10. – No.1. – Pages 1–9.
8. Suppes, G.J. Multifunctional diesel fuel additives from triglycerides / G. Suppes, J., Goff, M., Burkhart, M. L., Bockwinkel et al. // Energy and Fuels. – 2001. – 15(1). – Pages 151–157.
9. Labeckas G. The effect of fuel additive SO-2E on diesel engine performance when operating on diesel fuel and shale oil / G. Labeckas, A. Pauliukas, S. Slavinskas // Transport. – 2006. – № 21(2). – Pages 71–79.
10. Hicks R. Nanoemulsion Fuel Additive Used as a Diesel Combustion Catalyst / R. Hicks // Hindawi Journal of Combustion. – 2020. – Volume 1. – Pages 1–6.
11. Suleyman Simsek. Impact of a novel fuel additive containing boron and hydrogen on diesel engine performance and emissions /Suleyman Simsek, Samet Uslu, Mukerrem Sahin, Fatih Arlı et al. // Energy Sources. 2021. – Part A. – Pub Date : 2021-07-01, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1946621>.
12. ДСТУ 7688:2015 «ПАЛИВО ДИЗЕЛЬНЕ ЄВРО. Технічні умови». ДЦ «УкрНДНЦ», Київ, 2015. – 16 с.
13. Шмелев В.П. Опыт исследований и эксплуатации топливной аппаратуры судовых дизелей: монография / В.П. Шмелев, А.Л. Лемещенко, А.Е. Пилецкий. – СПб. ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2009. – 118 с.
14. Надежкин А.В. Результаты ресурсных испытаний плунжерных пар топливных насосов на различных видах судовых дисциplinных топлив / А.В. Надежкин, С.В. Глушков, К.Х. Лыу // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – Т. 1. – № 3(33). – С. 146–152.
15. Васильев Г.Г. Применение депрессорнодиспергирующих присадок при производстве дизельных топлив ЕВРО / Г.Г. Васильев, Н.В. Наврилов, М.М. Лобашова // Мир нефтепродуктов. – 2013. – № 1 – С. 5–11.

Bibliography (transliterated)

1. Motorni paliva: vlastivosti ta yakist [tekst] pidruchnik / Sergiy Boychenko, Andriy Pushak, Petro Topilnitskiy, Kazimir Leyda; za zag. red. prof.S. Boychenka. – K. : «Tsentr uchbovoyi literaturi», 2017. – 324 p.

2. Bezyukov O.K. Sovremennyye prisadki k dizelnomu toplivu / O.K. Bezyukov, V.A. Zhukov, M.M. Maad // Vestnik AGTU. – 2016. – # 1 (61). – P. 28–33.
3. Berkan V.O. Prisadki dlya dizelnykh topliv / V.O. Berkan, A.V. Mamlieva // Vestnik molodogo uchenogo UGNTU. – 2015. – #2(2). – P. 41–46.
4. Li H. Effect of Multifunctional fuel additive package on fuel injector deposit, combustion and emissions using pure rape seed oil for a DI diesel / Li H., Lea-Langton, A., Biller, P., Andrews, G. et al. // SAE Int. J. Fuels Lubr. – 2010. – #2(2). – Pages. 54–65.
5. Vihopen I.R. Viprobuвання дизельного палива, модифікованого присадкою DFC2020 / I.R. Vihopen, O.V. Kletska, O.V. Kiritseva, A.L. Sumtsov, M.A. Baribin // Visnik priazovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. – 2020. – #41. – P. 188–196.
6. Ashok B. Multi-functional fuel additive as a combustion catalyst for diesel and bio-diesel in CI engine characteristics / B. Ashok, K. Nanthagopal et al. // Fuel. – 2020. – # 278, [118250]. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118250>.
7. Venkatraman Narasiman. Experimental investigation of DI diesel engine performance with oxygenated additive and SOME Biodiesel / Venkatraman Narasiman, Suppandipillai Jeyakumar, Muthu Mani // JSME Journal of Thermal Science and Technology. – 2015. – Vol.10. – No.1. – Pages 1–9.
8. Suppes, G.J. Multifunctional diesel fuel additives from triglycerides / G. Suppes, J., Goff, M., Burkhart, M. L., Bockwinkel et al. // Energy and Fuels. – 2001. – 15(1). – Pages 151–157.
9. Labeckas G. The effect of fuel additive SO-2E on diesel engine performance when operating on diesel fuel and shale oil / G. Labeckas, A. Pauliukas, S. Slavinskas // Transport. – 2006. – № 21(2). – Pages 71–79.
10. Hicks R. Nanoemulsion Fuel Additive Used as a Diesel Combustion Catalyst / R. Hicks // Hindawi Journal of Combustion. – 2020. – Volume 1. – Pages 1–6.
11. Suleyman Simsek. Impact of a novel fuel additive containing boron and hydrogen on diesel engine performance and emissions / Suleyman Simsek, Samet Uslu, Mukerrem Sahin, Fatih Arlı et al. // Energy Sources. 2021. – Part A. – Pub Date : 2021-07-01, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1946621>.
12. DSTU 7688:2015 «PALIVO DIZELNE EVRO. Tehnichni umovi». DTs «UkrNDNTs», Kyiv, 2015. – 16 p.
13. Shmelev V.P. Opyit issledovaniy i ekspluatatsii toplivnoy apparaturyi sudovykh dizeley: monografiya / V.P. Shmelev, A.L. Lemeschenko, A.E. Piletskiy. – SPb. GMA im. adm. S.O. Makarova, 2009. – 118 p.
14. Nadezhkin A.V. Rezultaty resursnykh ispytaniy plunzhernykh par toplivnykh nasosov na razlichnykh vidakh sudovykh distilyatnykh topliv / A.V. Nadezhkin, S.V. Glushkov, K.H. Lyiu // Morskie intellektualnyie tekhnologii. – 2016. – T. 1. – # 3(33). – P. 146–152.
15. Vasilev G.G. Primenenie depressornodispergiruyushchikh prisadok pri proizvodstve dizelnykh topliv EVRO / G.G. Vasilev, N.V. Navrilov, M.M. Lobashova // Mir nefteproduktov. – 2013. – # 1 – P. 5–11.

УДК 665.753.4

Троценко О.В., Григоров А.Б., Назаров В.М.

ОТРИМАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Відомо, що одним із шляхів підвищення рівня експлуатаційних властивостей дизельних палив є введення до їх складу спеціальних компонентів – присадок. Цей шлях на сьогоднішній день є досить раціональним та економічно доцільним для України, особливо в умовах відсутності якісної нафтової сировини для виробництва палив, що у свою чергу призводить до значної імпортозалежності.

Спектр присадок, які використовуються у дизельних паливах, є вельми різноманітним, що вносить певні складності до підбору їх збалансованого пакету, особливо з огляду на їх ефективність та сумісність одна з одною. Дещо спростити цю процедуру можливо за рахунок додавання до дизельних палив поліфункціональних присадок, використанню яких присвячено багато періодичної літератури.

Спираючись на актуальність напрямку наукових досліджень, пов'язаного з поліпшенням властивостей дизельного палива, яке виробляється на підприємствах нафтопереробної галузі України, нами було запропоновано використовувати у складі дизельних палив речовину, яка відноситься до класу ароматичних діазосполук та володіє поліфункціональними властивостями. Так, дана присадка додавалася до прямогонної дизельної фракції (240–350 °С) у кількості до 1,0 %, з подальшим дослідженням властивостей отриманої суміші. Дослідження показали, що присадка значно поліпшує низькотемпературні властивості (на -10 °С), сприяє підвищенню густини і в'язкості та додатково надає стійкий колір (від жовтого до помаранчевого) дизельному паливу. Отже, може бути використана у складі товарних дизельних палив, з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: дизельне паливо, компаундування, синтез, присадка, діазосполуки, властивості, стабільність, колір

Троценко О.В., Григоров А.Б., Назаров В.М.

ПОЛУЧЕНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Известно, что одним из путей повышения уровня эксплуатационных свойств дизельных топлив является введение в их состав специальных компонентов – присадок. Этот путь на сегодняшний день достаточно рационален и экономически целесообразен для Украины, особенно в условиях отсутствия качественного нефтяного сырья для производства топлив, что в свою очередь приводит к значительной зависимости от импорта.

Спектр присадок, используемых в дизельных топливах, весьма разнообразен, что вносит определенные сложности в подбор их сбалансированного пакета, особенно, учитывая их эффективность и совместимость друг с другом. Несколько упростит эту

процедуру можно за счет добавления в дизельное топливо полифункциональных присадок, использованию которых посвящено много периодической литературы.

Опираясь на актуальность направления научных исследований, связанного с улучшением свойств дизельного топлива, которое выпускаются на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли Украины, нами было предложено использовать в составе дизельных топлив вещество, относящееся к классу ароматических диазосоединений и обладающее полифункциональными свойствами. Так, данная присадка добавлялась к прямогонной дизельной фракции (240–350 °C) в количестве до 1,0 %, с последующим исследованием свойств полученной смеси. Исследования показали, что присадка значительно улучшает низкотемпературные свойства (на -10 °C), способствует повышению плотности и вязкости топлива, и дополнительно придает дизельному топливу устойчивый цвет (от желтого до оранжевого). Следовательно, может быть использована в составе товарных дизельных топлив с повышенными эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: дизельное топливо, компаундирование, синтез, присадка, диазосоединения, свойства, стабильность, цвет

Trotsenko A.V., Grigorov A.B., Nazarov V.N.

OBTAINING DIESEL FUEL WITH IMPROVED PROPERTIES

It is known that one of the ways to increase the level of operational properties of diesel fuels is the injection of special components – additives – into their composition. Today this way is a quite rational and economically feasible for Ukraine, especially in the absence of high-quality oil raw materials for the production of fuels, which in turn leads to a significant dependence on imports.

The range of additives used in diesel fuels is very diverse, which makes it difficult to select a balanced package, especially considering their effectiveness and compatibility with each other. This procedure can be a bit simplified by adding poly-functional additives to diesel fuel, the use of which is devoted to a lot of periodical literature.

Based on the relevance of the direction of scientific research related to improving the properties of diesel fuel, which is produced at the enterprises of the oil refining industry in Ukraine, we proposed to use a substance belonging to the class of aromatic diazocompounds and having polyfunctional properties in the composition of diesel fuels. Thus, this additive was added to a straight-run diesel fraction (240–350 °C) in an amount of up to 1.0%, followed by a study of the properties of the resulting mixture. Studies have shown that the additive significantly improves low-temperature properties (by -10 °C), contributes to an increase in fuel density and viscosity, and additionally gives diesel fuel a stable color (from yellow to orange). Consequently, it can be used in the composition of commercial diesel fuels with improved performance properties.

Keywords: diesel fuel, compounding, synthesis, additive, diazocompounds, properties, stability, color

Utkina K.B., Ph. D. (Geography Sciences), Assoc. Prof., Garbuz A.G., MSc (Environmental Sciences), Kulyk M. I., Ph. D. (Technical Sciences), Assoc. Prof

SURFACE WATER QUALITY IN KHARKIV RECREATIONAL AREAS: 2006-2020

V.N. Karazin Kharkiv National Universit, Kharkiv, Ukraine

Keywords: surface water quality, recreational area, chemical analysis, dissolved oxygen, BOD₅, total mineralization, biogenic substances content, oil products, surfactants, heavy metals.

Introduction

Kharkiv is the second largest city in Ukraine with population more than 1.5 million people. There are several types of recreational areas where residents can spend their free time. Areas located near rivers and lakes are the most popular among residents during May - September period. For such types of recreational area, water quality and available infrastructure are very crucial. Every year, before the start of the summer season, local authorities make control field trips for assessment of water quality.

The main four rivers that flow through Kharkiv territory are: (i) the Udy River, which belongs to the medium-sized rivers (catchment basin – 3864 km², length – 164 km) and is a tributary of the Seversky Donets; (ii) the Lopan River, a tributary of the Udy River, which also can be classified as a middle river (catchment basin – 2000 km², length – 96 km), (iii) the Kharkiv River, a tributary of the Lopan River, which belongs to small rivers (catchment basin – 1160 km², length – 71 km), (iv) the Nemyshlya River – a small river (catchment basin – 72.2 km², length – 27 km) that flows into the Kharkiv River. The total length of rivers within the city territory is about 58 km. Kharkiv's rivers are shallow, with a low flow velocity, and are subject to significant anthropogenic impact. There are many natural and man-made reservoirs, associated with these rivers – more than 20 reservoirs are located on the territory of Kharkiv. Local population usually use them for recreation purposes: swimming, sunbathing, fishing etc. [1]. All surface waters suffer from various pollution sources, the most significant ones are discharges of treated and insufficiently treated municipal and industrial wastewaters, urban and agricultural surface run-off, runoff from landfills [2, 3]. The main pollution sources in Kharkiv are Dykanivski WWTP (138,92 mln m³ per year) and Bezludivski WWTP (51,03 mln m³ per year). They both belong to KharkivVodokanal Municipal Company and their discharges amount 46 % from total discharges for the whole river basin [4]. Surface water quality is very important for both recreation activity and economic activity of the city. This topic is very popular in other countries and scientists are performing various types of projects [5 – 8].

The aim of the paper is to assess dynamics of water quality in four main recreational areas in Kharkiv and to develop recommendations for improvement of water quality.

Main part

Description of water bodies

There are several recreational areas in Kharkiv, but most popular are Zhuravlevskiy Hydropark, Oleksiivskiy Lugopark, Udyanskiy Hydropark and Osnovyanske Lake. They are located in different districts of Kharkiv. (Fig. 1) [9].

Zhuravlevskiy Hydropark is located on the Kharkiv River, it was constructed together with small dam and was opened in 1962. The reservoir has semi-closed aquatorium with low water exchange in the low-water period; this fact explains why the water in some years has very poor quality especially on organo-optical parameters. The water mirror area is 1 340 000 m². Its aquatoria is completely located within the residential area of the Kharkiv City in Kievskiy District [1].

Oleksiivskiy Lugopark is located on the Lopan River, it was created due to construction of Pavlivska dam in 1965 (dam was reconstructed in 2009). The reservoir has low water exchange in low-water periods. The water mirror area is 230 000 m². Aquatoria is located on the territory of six residential parts of the Kharkiv City within Shevchenkivsky and Holodnogirsky Districts [1].

Udyanskiy Hydropark was set up in 1971 due to construction of Novobavarska dam, is located on the Udy River (dam was reconstructed in 2010). The reservoir has also a low water exchange during low-water periods. The water mirror area is 350 000 m². Aquatoria is located on in the residential part of the city in Novobavarskiy District [1].

Osnovyanske Lake was created due to sand mining activity. The water mirror area is 430 000 m². Aquatoria is located on in the residential part of the city in Osnovyanskiy District [1].

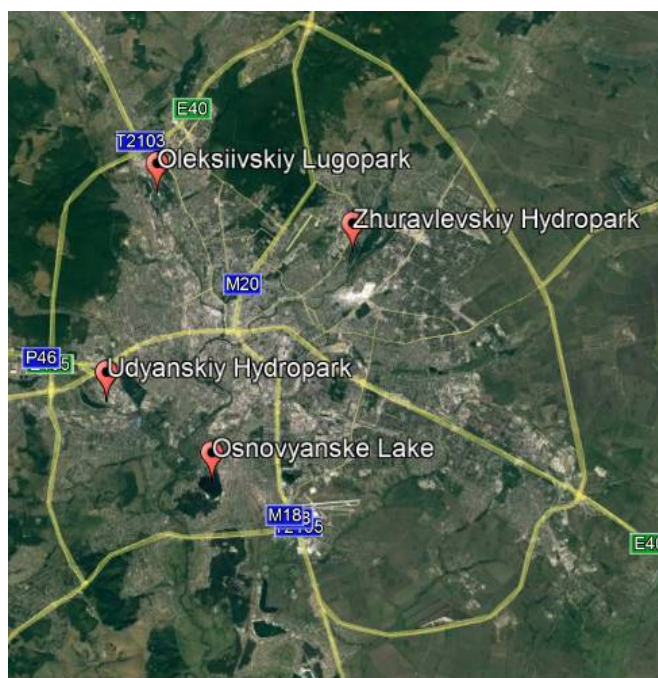


Figure 1 – Location of four main recreational areas in Kharkiv: Zhuravlevskiy Hydropark, Oleksiivskiy Lugopark, Udyanskiy Hydropark and Osnovyanske Lake

Description of experiment and results

Water sampling was performed during 2006–2020. The time and season of sampling correspond to the periods of high and low water periods. According to hydrological parameters for Kharkiv, the spring flood period is April–May (rarely also includes the first decade of June), and the summer low water period is August – September. These periods are interested because local population use recreational areas, thus anthropogenic pressure is increasing and water quality is very important. Water quality is controlled by State Company “Kharkiv

Oblast Center for Control and Prevention of Diseases” (under the Ministry of Health of Ukraine) and by local environmental authorities [10].

Water samples analysis were performed in a certified Laboratory of Analytical Chemical Research of the Institute of Environmental Sciences, V. N. Karazin Kharkiv National University, we analysed the following parameter: pH, transparency, nitrates, nitrites, ammonia, dissolved oxygen, chlorides, total hardness, alkalinity, BOD₅, COD, total mineralisation, phosphates, oil products, surfactants, heavy metals. Laboratory methods and equipment were used [11]. For evaluation of water quality we used national standard “Hygienic requirements to composition and peculiarities of surface water bodies used for recreational and municipal purposes”, MAC values were taken for recreational areas, used for swimming, sport and rest of population [12]. Also EU Directive 2006/7/EC concerning the management of bathing water quality was used for assessment of water quality [13]. Obtained average data for all periods are presented in Tables 1–4.

Table 1 – Water quality in Zhuravlevskiy Hydropark, data of chemical analysis, average data

Parameter	Unit	Sampling period						MAC, Ukraine [8]	MAC, EU [9]
		2006-2010		2011-2015		2016-2020			
		15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.		
Transparency	cm	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≤ 100
pH	pH units	8,1	8,6	7,8	8,2	7,3	8,4	6,5-8,5	6-9
Dissolved oxygen	mgO ₂ /dm ₃	3,8	4,6	4,0	4,3	3,2	4,2	≤ 4,0	-
BOD5	mgO ₂ /dm ₃	4,2	4,0	4,4	4,1	4,4	3,6	≥ 4,0	-
Total mineralization	mg/dm ³	688	734	650	742	624	746	≤ 1000	≤ 1000
Ammonim nitrogen	mg/dm ³	0,8	1,2	0,65	1,85	0,5	2,2	≤ 2,0	1,0
Nitrite nitrogen	mg/dm ³	1,15	2,62	1,92	3,3	1,48	2,6	≤ 3,3	0,1
Nitrate nitrogen	mg/dm ³	18,2	24,7	15,8	26,7	22,3	34,1	≤ 50,0	30
Phosphates	mg/dm ³	1,2	1,45	0,85	1,2	0,24	0,29	≤ 3,5	3,5
Oil products	mg/dm ³	0,12	0,23	0,15	0,21	0,01	0,12	≤ 0,3	0,5
Surfactants	mg/dm ³	0,15	0,24	0,2	0,22	0,05	0,1	≤ 0,5	0,3
Cd	mg/dm ³	0,0009	0,001	0,0004	0,001	0,0005	0,0009	≤0,001	0
As	mg/dm ³	0,0012	0,002	0,002	0,0018	0,001	0,002	≤ 0,05	0
Hg	mg/dm ³	0,0002	0,0003	0	0,0001	0,0001	0,0001	≤0,0005	0
Pb	mg/dm ³	0,011	0,021	0,004	0,005	0	0	≤ 0,03	0

Discussion of results

Dissolved oxygen and BOD₅ are main criteria for assessment of organic pollution. There are various natural and anthropogenic sources making inputs of organic pollutants. In surface water BOD₅ should vary from 0,5 to 5,0 mg/dm³ depending on season and physiological and biochemical activity of microorganisms. As we see, there are deviations from norms in water samples from Zhuravlevskiy Hydropark and Udyanskiy Hydropark during all 15 year period: higher by 0.6-0.9 mg/dm³ for dissolved oxygen and lower by 0.3-1.2 mg/dm³

for BOD₅. We also can see violation of dissolved oxygen norms for dissolved oxygen and BOD₅ in Oleksiivskiy Lugopark during last 5 years. These can be a signal of excessive amount of organic pollution of water bodies as a result of an increase pressure on the recreational area and the creation of illegal beaches with a large number of people around the studied water bodies.

Table 2 – Water quality in Oleksiivskiy Lugopark, data of chemical analysis, average data

Parameter	Unit	Sampling period						MAC, Ukraine [8]	MAC, EU [9]
		2006-2010		2011-2015		2016-2020			
		15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.		
Trans- par- ency	cm	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≤ 100
pH	pH units	7,32	7,56	7,68	7,80	7,67	7,85	6,5-8,5	6-9
Dissolved oxygen	mgO ₂ /dm ₃	3,2	3,4	3,6	4,0	4,0	4,9	≤ 4,0	-
BOD5	mgO ₂ /dm ₃	5,2	4,7	4,4	4,2	4,9	3,85	≥ 4,0	-
Total miner- alization	mg/dm ³	483	548	516	591	504	532	≤ 1000	≤ 1000
Ammonim nitrogen	mg/dm ³	0,68	0,82	0,93	0,11	1,2	1,9	≤ 2,0	1,0
Nitrite nitro- gen	mg/dm ³	2,1	2,4	1,96	2,85	1,85	2,3	≤ 3,3	0,1
Nitrate nitro- gen	mg/dm ³	15,3	21,2	16,1	19,7	12,1	18,6	≤ 50,0	30
Phosphates	mg/dm ³	2,42	2,85	1,64	1,67	0,48	0,62	≤ 3,5	3,5
Oil products	mg/dm ³	0,06	0,1	0,11	0,12	0,07	0,11	≤ 0,3	0,5
Surfactants	mg/dm ³	0,08	0,11	0,04	0,06	0,07	0,08	≤ 0,5	0,3
Cd	mg/dm ³	0,0009	0,001	0,0004	0,001	0,0005	0,0009	≤0,001	0
As	mg/dm ³	0,0012	0,002	0,002	0,0018	0,001	0,002	≤ 0,05	0
Hg	mg/dm ³	0,0002	0,0003	0	0,0001	0,0001	0,0001	≤0,0005	0
Pb	mg/dm ³	0,011	0,021	0,024	0,025	0,022	0,029	≤ 0,03	0

Total mineralization in water bodies is average 695 mg/dm³ for Zhuravlevskiy Hydropark, 523 mg/dm³ for Oleksiivskiy Lugopark, 930 mg/dm³ for Osnovyanske Lake and 850 mg/dm³ for Udyanskiy Hydropark. It corresponds to normal mineralization level.

Biogenic substances content (namely nitrogen and phosphorus compounds) is the key parameter for hydrochemical characteristic of water quality and water ecosystem state. These parameters shows the eutrophication level and velocity, that is the cause of sharp deterioration of water quality and death of water life. Our data shows that in spring they are 1.5–2.2 times lower than in summer, that can be explained by the season, lighting and temperature. On the concentration of nitrogen-containing substances, the most polluted (in terms of the content of ammonium nitrogen and nitrite nitrogen) during the 15-year period is Udyanskiy Hydropark (the average is 2.02 mg/dm³ and 2.23 mg/dm³, respectively); we see also the highest pollution

by nitrate nitrogen of the water in Udyanskiy Hydropark (28.63 mg/dm³) and Osnovyanske Lake (24.29 mg/dm³). Excess of the MAC on ammonium nitrogen was identified in waters from Zhuravlevskiy Hydropark and Udyanskiy Hydropark during the low-water period, that indicates an excessive anthropogenic load on these objects, since the number of local population during this period increases in more than 10 times compared to the spring period. However, we should note a positive tendency in water quality: decrease phosphates by 5 times in all four water bodies during 15 years of research.

Table 3 – Water quality in Udyanskiy Hydropark, data of chemical analysis, average data

Parameter	Unit	Sampling period						MAC, Ukraine [8]	MAC, EU [9]
		2006-2010		2011-2015		2016-2020			
		15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.		
Transparency	cm	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≤ 100
pH	pH units	7,42	7,67	7,75	7,91	7,63	7,84	6,5-8,5	6-9
Dissolved oxygen	mgO ₂ /dm ₃	4,26	4,28	4,15	4,23	4,25	4,62	≤ 4,0	-
BOD5	mgO ₂ /dm ₃	4,22	4,35	4,02	3,88	4,8	3,24	≥ 4,0	-
Total mineralization	mg/dm ³	798	853	847	875	842	864	≤ 1000	≤ 1000
Ammonim nitrogen	mg/dm ³	2,0	1,94	2,11	2,18	1,83	2,06	≤ 2,0	1,0
Nitrite nitrogen	mg/dm ³	1,44	1,80	2,35	2,66	2,24	2,91	≤ 3,3	0,1
Nitrate nitrogen	mg/dm ³	28,41	19,65	24,5	29,4	30,5	39,3	≤ 50,0	30
Phosphates	mg/dm ³	1,71	1,86	1,54	1,63	0,46	0,84	≤ 3,5	3,5
Oil products	mg/dm ³	0,11	0,31	0,05	0,05	0,04	0,14	≤ 0,3	0,5
Surfactants	mg/dm ³	0,41	0,38	0,14	0,21	0,21	0,33	≤ 0,5	0,3
Cd	mg/dm ³	0	0	0	0,00051	0,0007	0,001	≤ 0,001	0
As	mg/dm ³	0	0	0,00011	0	0,0005	0,0002	≤ 0,05	0
Hg	mg/dm ³	0	0,0001	0	0,0000	0	0	≤ 0,0005	0
Pb	mg/dm ³	0,001	0,0012	0,006	0,007	0,011	0,015	≤ 0,03	0

Oil products and surfactants

During the study period, we have identified oil films and oily stains on the water surface only three times in Zhuravlevskiy Hydropark and two times in Osnovyanske Lake. These were associated to washing of cars and animals. At the same time chemical analysis have shown that oil products were lower than MAC and surfactants were two times lower than MAC.

Toxic heavy metals

Fortunately, we can indicate a constant decrease of pollution by As and Hg during last 15 years in all four water bodies. On the contrary, the content of Pb and Cd in the waters of the Zhuravlevskiy Hydropark and Oleksiivskiy Lugopark has increased by 2.5–3 times over the last 5 years, that is the result of anthropogenic pressure. These reservoirs are located very

closed to key highways, and the number of vehicles over the last 5 years has increased in 4 times, therefore, the surface runoff from adjacent roads inputs much more toxic pollutants. Exceeding the MAC for the content of toxic metals has not been determined.

For improvement of water quality we have developed recommendations.

Table 4 – Water quality in Osnovyanske Lake, data of chemical analysis, average data

Parameter	Unit	Sampling period						MAC, Ukraine [8]	MAC, EU [9]
		2006-2010		2011-2015		2016-2020			
		15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.	15 May – 15 June	15 Aug. – 15 Sept.		
Transparency	cm	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≥ 30	≤ 30	≤ 100
pH	pH units	8,0	8,34	8,16	8,26	8,1	8,45	6,5-8,5	6-9
Dissolved oxygen	mgO ₂ /dm ₃	3,1	3,9	3,34	3,96	3,07	4,0	≤ 4,0	-
BOD5	mgO ₂ /dm ₃	4,6	4,22	5,2	4,16	4,91	5,02	≥ 4,0	-
Total mineralization	mg/dm ³	829	947	913	944	956	984	≤ 1000	≤ 1000
Ammonim nitrogen	mg/dm ³	0,44	1,21	0,85	0,93	1,1	1,96	≤ 2,0	1,0
Nitrite nitrogen	mg/dm ³	1,85	1,96	2,17	2,46	1,44	2,23	≤ 3,3	0,1
Nitrate nitrogen	mg/dm ³	22,8	26,15	28,45	29,31	26,2	32,8	≤ 50,0	30
Phosphates	mg/dm ³	2,84	3,15	1,18	1,51	0,51	0,62	≤ 3,5	3,5
Oil products	mg/dm ³	0,04	0,005	0,07	0,09	0,08	0,15	≤ 0,3	0,5
Surfactants	mg/dm ³	0,19	0,11	0,06	0,15	0,24	0,26	≤ 0,5	0,3
Cd	mg/dm ³	0,0004	0,0005	0,0006	0,007	0,001	0,001	≤0,001	0
As	mg/dm ³	0	0	0	0	0	0	≤ 0,05	0
Hg	mg/dm ³	0	0	0,0001	0	0,0002	0,0003	≤0,0005	0
Pb	mg/dm ³	0,005	0,007	0,006	0,006	0,015	0,024	≤ 0,03	0

Conclusions and recommendations

1. Local population actively use four reservoirs (Zhuravlevskiy Hydropark, Oleksiivskiy Lugopark, Udyanskiy Hydropark and Osnovyanske Lake) for recreation. This causes increase in anthropogenic pressure on water ecosystem.

2. **Dissolved oxygen and BOD₅**: there are deviations from norms in water samples from Zhuravlevskiy Hydropark and Udyanskiy Hydropark during all 15 years period: higher by 0.6-0.9 mg/dm³ for dissolved oxygen and lower by 0.3–1.2 mg/dm³ for BOD₅. We also can see violation of norms for dissolved oxygen and BOD₅ in Oleksiivskiy Lugopark during last 5 years. **Total mineralization** in water bodies is average 695 mg/dm³ for Zhuravlevskiy Hydropark, 523 mg/dm³ for Oleksiivskiy Lugopark, 930 mg/dm³ for Osnovyanske Lake and 850 mg/dm³ for Udyanskiy Hydropark. It corresponds to normal mineralization level for rivers within city. **Biogenic substances content**: on the concentration of nitrogen-containing substances, the most polluted (in terms of the content of ammonium nitrogen and

nitrite nitrogen) during the 15-year period is Udyanskiy Hydropark (the average is 2.02 mg/dm³ and 2.23 mg/dm³, respectively); we see also the highest pollution by nitrate nitrogen of the water in Udyanskiy Hydropark (28.63 mg/dm³) and Osnovyanske Lake (24.29 mg/dm³). Excess of the MAC on ammonium nitrogen was identified in waters from Zhuravlevskiy Hydropark and Udyanskiy Hydropark during the low-water period. However, we should note a positive tendency in water quality: decrease phosphates by 5 times in all four water bodies during 15 years of research. **Oil products and surfactants:** chemical analysis have shown that oil products were lower than MAC and surfactants were two times lower than MAC. **Toxic heavy metals:** a constant decrease of pollution by As and Hg during last 15 years in all four water bodies. On the contrary, the content of Pb and Cd in the waters of the Zhuravlevskiy Hydropark and Oleksiivskiy Lugopark has increased by 2.5–3 times over the last 5 years, that is the result of anthropogenic pressure. Exceeding the MAC for the content of toxic metals has not been determined.

3. Recommendations for improvement of water quality in recreational areas: (i) to preform regular monitoring of water quality; (ii) to introduce regular and systematic control by one local authority; (iii) to improve infrastructure of recreational areas; (iv) to introduce regular cleaning of the recreational areas; (v) to install bio-WC; (vi) to install additional waste containers (preferably with separate waste collection); (vii) plant trees for better isolation from highways; (viii) to improve level of water treatment on WWTP; (ix) to create nature protected areas along rivers.

References

1. Лобойченко В. М., Жук В. Н. Оценка гидроэкологического состояния городских водоемов на примере Алексеевского пруда города Харькова. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2017. №105. С. 74–81.
2. Про забруднення водних ресурсів зворотними водами. URL: <https://ecolog-ua.com/news/pro-zabrudnennya-vodnyh-resursiv-zvorotnymy-vodamy-u-cyfrah-za-ostanniy-period> (Дата звернення: 14.07.2021).
3. «Программа охраны окружающей природной среды г. Харькова на 2013–2017 г.г.», утвержденная Решением сессии Харьковского городского совета Харьковской области от 19.12.2012 г. № 990/12. URL: <http://kharkiv.rocks/reestr/616823> (Дата звернення: 13.07.2021).
4. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2019 році. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/105379> (Дата звернення: 14.07.2021).
5. Water use and environmental pressures. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-use-and-environmental-pressures> (Дата звернення: 19.10.2021).
6. Pelamatti T., Rios-Mendoza L., Hoyos-Padilla E., Galván-Magaña F., De Camillis R., Marmolejo-Rodríguez A., González-Armas R. Contamination knows no borders: Toxic organic compounds pollute plastics in the biodiversity hotspot of Revillagigedo Archipelago National Park, Mexico. Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 170. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112623.
7. Teixeira P., Salvador D., Brandão J., Ahmed W., Sadowsky M. Valério E. Environmental and adaptive changes necessitate a paradigm shift for indicators of fecal contamination. Microbiology Spectrum. Vol 8, Issure 2. P. 1–20. doi: 10.1128/MICROBIOLSPEC.ERV-0001-2019.

8. Kakoyannis, Christina; Stankey, George H. Assessing and evaluating recreational uses of water resources: implications for an integrated management framework. 2002. 59 p. URL: https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr536.pdf (Дата звернення: 19.10.2021).
9. Безлюдовка, Журавлевский гидропарк, Алексеевский лугопарк: ТОП-5 пляжей Харьков. URL: https://kh.vgorode.ua/news/dosuh_y_eda/325652-hde-v-kharkove-pozharyt-shashlyk-top-5-mest-dlia-pyknyka-u-vody (Дата звернення: 12.07.2021).
10. Карта nereкомендованих для купання місць у Харківській області (оновлена). URL: <https://labcenter.kh.ua/?p=19018> (Дата звернення: 14.07.2021).
11. Некос А.Н., Гарбуз А.Г. Экологическая оценка объектов окружающей среды и пищевых продуктов (методика проведения исследований). Харьков: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. 104 с.
12. Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> (Дата звернення: 13.07.2021).
13. EU Directive 2006/7/EC concerning the management of bathing water quality. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aco0018> (Дата звернення: 15.07.2021).

Bibliography (transliterated)

1. Lobjchenko V.M., ZHuk V.N. Ocenka gidroekologicheskogo sostoyaniya gorodskih vodoemov na primere Alekseevskogo pruda goroda Kharkova. Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. 2017. №105. P. 74 – 81. (In Russian)
2. Pro zabrudnennia vodnykh resursiv zvorotnymy vodamy. URL: <https://ecolog-ua.com/news/pro-zabrudnennia-vodnykh-resursiv-zvorotnymy-vodamy-u-cyfrakh-za-ostanniy-period>. (In Ukrainian)
3. «Programma okhrany okruzhayushchey prirodnoy sredy g. Kharkova na 2013-2017 g.g.». utverzhennaya Resheniyem sessii Kharkovskogo gorodskogo soveta Kharkovskoy oblasti ot 19.12.2012 g. № 990/12. URL: <http://kharkiv.rocks/reestr/616823>. (In Russian).
4. Dopovid ppo stan navkolyshnoho pypodnoho sepedovyscha v Khapkivskii oblasti u 2019 potsi. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/105379>. (In Ukrainian).
5. Water use and environmental pressures. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-use-and-environmental-pressures>.
6. Pelamatti T., Rios-Mendoza L., Hoyos-Padilla E., Galván-Magaña F., De Camillis R., Marmolejo-Rodríguez A., González-Armas R. Contamination knows no borders: Toxic organic compounds pollute plastics in the biodiversity hotspot of Revillagigedo Archipelago National Park, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 2021. Vol. 170. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112623.
7. Teixeira P., Salvador D., Brandão J., Ahmed W., Sadowsky M., Valério E. Environmental and adaptive changes necessitate a paradigm shift for indicators of fecal contamination. *Microbiology Spectrum*. Vol 8, Issure 2. P. 1–20. doi: 10.1128/MICROBIOLSPEC.ERV-0001-2019.
8. Kakoyannis, Christina; Stankey, George H. Assessing and evaluating recreational uses of water resources: implications for an integrated management framework. 2002. 59 p. URL: https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr536.pdf.
9. Bezlyudovka. Zhuravlevskiy gidropark. Alekseyevskiy lugopark: TOP-5 plyazhey Kharkova. URL: https://kh.vgorode.ua/news/dosuh_y_eda/325652-hde-v-kharkove-pozharyt-shashlyk-top-5-mest-dlia-pyknyka-u-vody. (In Russian).

10. Karta nerekomendovanykh dlia kupannia mists u Kharkivskii oblasti (onovlena). URL: <https://labcenter.kh.ua/?p=19018>. (In Ukrainian).

11. Nekos A.N., Garbuz A.G. Ekologicheskaya ocenka ob"ektov okruzhayushchej sredy i pishchevyh produktov (metodika provedeniya issledovaniy). Har'kov: HNU imeni V. N. Karazina, 2012. 104 s. (In Russian).

12. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19 veresnia 2018 r. № 758 «Pro zatverdzhennia Poriadku zdiisnennia derzhavnogo monitorynhu vod». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>. (In Ukrainian).

13. EU Directive 2006/7/EC concerning the management of bathing water quality. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aco0018>.

УДК 504.4.054

Уткина К.Б., к. геогр. н., доцент, Гарбуз А.Г., магістр екології, Кулик М.І., к. техн. н., доцент

ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД В РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОНАХ М. ХАРКОВА: 2006–2020 РОКИ

Мета. Оцінка динаміки якості води в чотирьох основних рекреаційних зонах м. Харкова та розробка рекомендацій щодо покращення якості води. **Методи.** Польові, лабораторні, аналітична обробка даних. **Результати.** У статті надано аналіз динаміки якості води для чотирьох основних рекреаційних зон м. Харкова: Журавлівського гідропарку, Олексіївського Лугопарку, Удянського гідропарку та Основ'янського озера. Період спостереження: 2006–2020 рр., час: травень-червень та серпень-вересень. Наведено середні дані. Зразки проаналізовано в сертифікованій лабораторії аналітичних хімічних досліджень Каразінського навчально-наукового інституту екології. Лабораторні дані порівнювали з національними стандартами України та Європи. Зроблено висновки за такими ключовими параметрами: розчинений кисень і БПК₅, загальна мінералізація, вміст біогенних речовин, нафтопродукти та поверхнево-активні речовини, вміст токсичних важких металів. Відсутня певна динаміка досліджуваних місць за окремими забруднюючими речовинами. **Висновки.** Розроблено такі рекомендації щодо покращення якості води: проводити регулярний моніторинг якості води; запровадити регулярний та систематичний контроль з боку місцевих органів влади; покращити інфраструктуру рекреаційних зон; проводити регулярне прибирання зон відпочинку; встановити біо-туалети; встановити додаткові контейнери для сміття (бажано із роздільним збором); висадити дерева для забезпечення кращої ізоляції від автомагістралей; покращити рівень очищення води на очисних спорудах; створення природоохоронних територій вздовж річок.

Ключові слова: якість поверхневих вод, рекреаційна зона, хімічний аналіз, розчинений кисень, БПК₅, загальна мінералізація, вміст біогенних речовин, нафтопродукти, ПАР, важкі метали.

Уткина Е.Б., Гарбуз А.Г., Кулик М.И.

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ Г. ХАРЬКОВА: 2006–2020 ГОДА

Цель. Оценка динамики качества воды в четырех основных рекреационных зонах г. Харькова и разработка рекомендаций по улучшению качества воды. **Методы.** Полевые, лабораторные, аналитическая обработка данных. **Результаты.** В статье пред-

ставлен анализ динамики качества воды для четырех основных рекреационных зон, расположенных в Харькове: Журавлевский гидропарк, Алексеевский лугопарк, Удянский гидропарк и Основьянское озеро. Период исследования: 2006-2020 гг., время: май-июнь и август-сентябрь. Представлены средние данные. Образцы были проанализированы в сертифицированной лаборатории аналитических химических исследований Каразинского учебно-научного института экологии. Лабораторные данные сравнивались с национальными стандартами Украины и Европы. Выводы сделаны по следующим ключевым параметрам: растворенный кислород и БПК₅, общая минерализация, содержание биогенных веществ, нефтепродукты и ПАВ, содержание токсичных тяжелых металлов. Отсутствует определенная динамика исследуемых мест по отдельным загрязняющим веществам. **Выводы.** Разработаны следующие рекомендации по улучшению качества воды: проводить регулярный мониторинг качества воды; ввести регулярный и систематический контроль со стороны местных органов власти; улучшение инфраструктуры рекреационных зон; проводить регулярную уборку зон отдыха; установить био-туалеты; установить дополнительные контейнеры для мусора (желательно с раздельным сбором); высадить деревья для обеспечения лучшей изоляции от автомагистралей; улучшить уровень очистки воды на очистных сооружениях; создание охраняемых природных территорий вдоль рек.

Ключевые слова: качество поверхностных вод, рекреационная зона, химический анализ, растворенный кислород, БПК₅, общая минерализация, содержание биогенных веществ, нефтепродукты, ПАВ, тяжелые металлы.

Utkina K. B., Ph. D. (Geography Sciences), Assoc. Prof., Garbuz A. G., MSc (Environmental Sciences), Kulyk M. I., Ph. D. (Technical Sciences), Assoc. Prof

SURFACE WATER QUALITY IN KHARKIV RECREATIONAL AREAS: 2006-2020

The aim of the paper is to assess dynamics of water quality in four main recreational areas in Kharkiv and to develop recommendations for water quality improvement. **Methods.** Field and laboratory methods and analytical data processing. **Results.** The paper presents analysis of dynamics in water quality for four main recreational areas located in Kharkiv: Zhuravlevskiy Hydropark, Oleksiivskiy Lugopark, Udyanskiy Hydropark and Osnovyanske Lake. Period of study: 2006-2020, time: May-June and August-September. Average data are presented. Samples were analysed at certified Laboratory of Analytical Chemical Research of the Karazin Institute of Environmental Sciences. Laboratory data were compared with national UA standards and European ones. Conclusions were made for the following key parameters: dissolved oxygen and BOD₅, total mineralization, biogenic substances content, oil products and surfactants, toxic heavy metals content. There is no specific dynamics on the pollution level. **Conclusions.** The following recommendations for improvement of water quality were developed: (i) to preform regular monitoring of water quality; (ii) to introduce regular and systematic control by one local authority; (iii) to improve infrastructure of recreational areas; (iv) to introduce regular cleaning of the recreational areas; (v) to install bio-WC; (vi) to install additional waste containers (preferably with separate waste collection); (vii) plant trees for better isolation from highways; (viii) to improve level of water treatment on WWTP; (ix) to create nature protected areas along rivers

Keywords: surface water quality, recreational area, chemical analysis, dissolved oxygen, BOD₅, total mineralization, biogenic substances content, oil products, surfactants, heavy metals.

Бєлих І.А., к.біол.н., доцент, Самойленко С.І., к.техн.н., доцент,
Висеканцев І.П., к.мед.н., с.н.с., Белінська А.П., к.техн.н., доцент,
Варанкіна О.О., к.техн.н., доцент, Близнюк О.М., д.техн.н., професор,
Масалітіна Н.Ю., к.техн.н., доцент, Мироненко Л.С., к.техн.н., Кукушкін А.І., к.біол.н.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ІММОБІЛІЗОВАНИХ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В БІОТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: іммобілізація клітин, включення в структуру гелю, альгінатні мікросфери, кріоконсервування, життєздатність клітин, дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*

Вступ

Одним із пріоритетних напрямків сучасної біотехнології є створення систем іммобілізованих клітин. В біотехнологічних виробництвах широке розповсюдження отримало використання іммобілізованих клітин – продуцентів біологічно активних речовин.

Всі способи іммобілізації клітин поділяють на п'ять груп: адсорбція клітин на поверхні носіїв, включення біоматеріалу у гель, мікрокапсулювання за допомогою мембранних технологій, зшивання біологічного матеріалу з поверхнею за допомогою біфункціональних реагентів, ковалентне зв'язування [1, 2].

Однією з галузей застосування іммобілізованих клітин є біотехнологічні виробництва, що використовують як продуценти промислові штами мікроорганізмів. Іммобілізовані мікроорганізми-продуценти дозволяють значно підвищити вихід біологічно активних речовин у культуральне середовище, забезпечують стерильність мікробіологічного виробництва, запобігають забрудненню навколишнього середовища в зоні виробництва (іммобілізація патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів), знижують собівартість продуктів виробництва за рахунок підвищення технологічності й продуктивності процесів [3, 4].

Враховуючи досвід, накопичений у виробництві, в теперішній час проводяться дослідження зі створення лікарських засобів іммобілізованих клітин. Все більше уваги дослідники і біотехнологи приділяють розробці препаратів пробіотиків, іммобілізованих в носіях із полісахаридних гелів [2]. Такі препарати мають низку переваг над класичними лікарськими формами (капсули, пігулки, ліофілізовані порошки, розчини). Препарати іммобілізованих клітин можна ціленаправлено транспортувати в органи та тканини з патологічними процесами [3]. Існують теоретичні передумови, що дозволяють очікувати більш високий терапевтичний ефект від застосування цих препаратів і можливість їхнього цілеспрямованого транспорту в певні органи та тканини.

Дослідження існуючих рішень проблеми

Іммобілізація шляхом адсорбції – найбільш м'який і кращий для живих клітин спосіб фіксації в порівнянні із включенням в органічні полімери [5, 6]. Він дозволяє значно підвищити ефективність біокаталізу і біодеградації [7].

Як адсорбенти мікробних клітин можуть використовуватися целюлозні плівки, пористе скло і хітозанові кульки. При порівнянні цих носіїв виявилось, що іммобілізація клостридій на целюлозних плівках більш ефективна для продукції олігосахаридів із полісахаридів, ніж на пористому склі та хітозані [8].

Перспективними носіями є пористі вуглецеві матеріали, зокрема, активоване вугілля. Атоми вуглецю на поверхні кристалів, особливо в місцях дефектів кристалічної решітки, перебувають в іншому електронному й енергетичному стані, ніж атоми, що знаходяться в об'ємі фази. Наявність у перших вільних валентностей полегшує їх хімічну і сорбційну взаємодію з різними речовинами [9]. Вугільні матеріали мають високу хімічну і біологічну стійкість, механічну міцність, достатню проникність для ферменту і субстратів, велику питому поверхню (1000 м²/г і більше). Вони забезпечують можливість одержання форм біокатализаторів, зручних у технологічному відношенні (гранул, тканин, волокон). Іммобілізацію біопрепаратів на вугільних матеріалах проводять за допомогою як адсорбції, так і хімічного зв'язування з використанням біфункціональних реагентів. Для іммобілізації цілих клітин можуть використовуватися глиняні та діатомові гранули [10, 11]. Торф'яні біофільтри з іммобілізованими бактеріями, що окислюють етилен, застосовуються в овочесховищах для адсорбції етилену, що є альтернативою хімічним уловлювальним агентам, які відрізняються високою вартістю і вимагають відновлення [12].

Були розроблені неорганічні носії, що містять вуглець, для створення високостабільних гетерогенних біокатализаторів. Макроструктуровані керамічні носії, покриті шаром каталітичного волокнистого вуглецю і графітоподібним вуглецем, успішно застосовувалися для іммобілізації як бактеріальних і дріжджових клітин, що зростають, так і тих, що знаходяться у спокої. Автори відзначили, що носії із шаром каталітичного волокнистого вуглецю забезпечують міцне зв'язування мікробних клітин, а також повне збереження ферментативної активності мікроорганізмів і максимальну стабілізацію отриманих біокатализаторів [13–15].

Ковалентна модифікація різних носіїв, вперше випробувана для іммобілізації ферментів, може бути використана також і при зв'язуванні цілих клітин. Ковалентні взаємодії відбуваються між реакційно здатними карбоксильними групами та аміногрупами на поверхні клітини і біфункціональним агентом, що забезпечує поперечну зшивку. Як агент, що зшиває, часто використовують глутаральдегід [16], хлориди хрому і титану [3], карбодіімід [17].

Цілі клітини можуть бути також іммобілізовані за допомогою метало-хелатного методу. Цей метод заснований на хелатуючих властивостях перехідних металів, зокрема, титану (IV), цирконію (IV) та ін., які є особливо привабливими через нетоксичність їхніх оксидів [18]. Відзначається підвищення стабільності, а також температурного і рН оптимумів дії ксилосо(глюкозо-)ізомерази *Arthrobacter sp.* при зв'язуванні цілих клітин за допомогою гідроксиду кобальту [19].

Включення клітин мікроорганізмів у структуру полімерного носія. Іммобілізація мікроорганізмів шляхом включення в структуру гелів дозволяє досягти високої щільності клітин у біореакторі, що збільшує продуктивність біотехнологічних процесів. Крім того, мікробні клітини, іммобілізовані в матриці гідрогелю, деякою мірою, захищені від несприятливих впливів навколишнього середовища, таких як зміна рН та температури, впливу органічних розчинників і токсичних сполук у високій концентрації, а також від контамінації чужорідною мікрофлорою [20, 21].

При такій іммобілізації мікроорганізмів, як носії застосовують полімерний гель, полімерну плівку або полімерне волокно. Нерозчинні матеріали, які є основою для мат-

риць подібних носіїв, можуть бути органічними або неорганічними сполуками, синтетичними похідними або природними продуктами [4].

Тривале зберігання клітин є необхідним етапом сучасних біотехнологій. Біотехнологічні процеси є яскравим прикладом високих технологій, з якими пов'язують перспективи багатьох виробництв. В даний час все більш пильна увага фахівців у нашій країні та за кордоном привертають питання довгострокового зберігання клітин в іммобілізованому стані [22, 23, 24, 26, 27].

В Інституті проблем кріобіології і кріомедицини НАН України вивчали зберігання і метаболічну активність мезенхімальних стромальних клітин (МСК) людини у вигляді суспензії одиночних клітин та інкапсульованих в альгінатні мікросфери [25].

Було встановлено, що процедура інкапсуляції не справляла істотного впливу на життєздатність і метаболічну активність МСК. Після кріоконсервування під захистом як 5 %, так і 10 % диметилсульфоксиду (ДМСО) альгінатні мікросфери зберігали структурну цілісність, а включені в них МСК характеризувалися життєздатністю і метаболічною активністю, порівнянними з відповідними показниками деконсервованої суспензії одиночних МСК [25]. Отримані результати свідчать про можливість збереження життєздатності та метаболічної активності інкапсульованих в альгінатні мікросфери МСК після кріоконсервування [25].

Вивчено вплив тривалого зберігання клітин мікроорганізмів, іммобілізованих у кріогель полівінілового спирту, на їх виживання та біосинтез цільових метаболітів [26].

Було показано, що пробіотичні штами мікроорганізмів *Escherichia coli*, *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae*, які були іммобілізовані в 1%-му альгінатному гелі без добавок або з додаванням лактози, сахарози, знежиреного молока та захисного сахарозо-молочно-лактозного середовища, зберігали адгезивну активність після іммобілізації в альгінатному гелі та зберіганні за різних низьких температур протягом 24 місяців (термін спостереження) [27].

Таким чином, на наш погляд, перспективним напрямком використання іммобілізованих клітин у біотехнологічному виробництві є включення клітин мікроорганізмів у гель з подальшим кріоконсервуванням. Одним з найбільш перспективних носіїв є гель альгінату натрію.

Мета та основні задачі дослідження

Метою даної роботи є вивчення та модифікація методики іммобілізації дріжджових клітин *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) в гелі та довгострокове зберігання отриманих систем іммобілізованих клітин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- ознайомитись з існуючими методиками іммобілізації клітин;
- вибрати та модифікувати методику одержання іммобілізованих клітин стосовно даного біологічного об'єкта і носія;
- відпрацювати метод об'єктивної оцінки життєздатності іммобілізованих в альгінатні гелі дріжджових клітин;
- дослідити вплив умов кріоконсервування на життєздатність дріжджових клітин, іммобілізованих в гелі.

Матеріали та методи досліджень

В роботі використані основні загальноприйняті методи досліджень і культивування, що використовуються в системі біотехнологічної промисловості, а саме: культивування дріжджів; оцінка життєздатності по колонієутворенню на агаризованих сере-

довищах (чашковий метод Коха); нефелометричний метод визначення кількості мікробних клітин.

За основу технології іммобілізації клітин дріжджів *S. cerevisiae* в альгінатному гелі була використана методика, запропонована Shen T.J., Marshall R.T. (1993 р.) та модифікована в Інституті проблем кріобіології і кріомедицини НАН України [22–24].

Для іммобілізації клітин *S. cerevisiae* в альгінатні гранули використовували 2%-вий розчин альгінату натрію та 0,2 М розчин кальцію хлориду CaCl_2 , а для розчинення гранул – 4%-вий розчин дигідрату двунатрієвої солі етилендіамінтетраоцтової кислоти (Na_2 -ЕДТА). Розчини стерилізували 30 хвилин при 0,5 атм [22–24].

Як кріопротектор застосовували 5% розчин ДМСО. Кріоконсервуючі захисні середовища: дистильована вода, 1% розчин альгінату натрію, 5% розчин ДМСО, 1 % розчин альгінату натрію з додаванням 5% ДМСО.

Швидкість охолодження: 1, 5, 10, 15°C/хв. до мінус 40 °C з наступним зануренням зразків у рідкий азот [22–24].

Відігрів зразків проводили на водяній бані при температурі 37 °C [22–24].

Дріжджі, що підлягали консервації, вирощували в аеробних умовах, при оптимальній температурі (25–35 °C) на сусло-агарі. Культури дріжджів, в залежності від швидкості росту, інкубували протягом 2–3 діб – до переходу їх в фазу стаціонарного росту. Вирощені на агарі культури змивали захисним середовищем Файбича і готували густу суспензію 10^8 – 10^9 КУО/мл [22, 23, 28].

Вихідне сусло (з показниками цукру = 11 та рН = 5,5) розбавляли водопровідною водою до показника цукру = 8 (по цукрометру), доводили рН до 6,8–7,2 та стерилізували в автоклаві 40 хвилин при $\Delta P = 0,8$ атм. Частину поживного середовища готували з 2 % агару і розливали на чашки та косяки [24, 28].

Для приготування щільного поживного середовища використовували неохмелене пивне сусло, яке розбавляли водопровідною водою до вмісту цукру 7–8° по Баллінгу (вимірювали цукрометром) і стерилізували у бутлях при 110 °C протягом 10 хвилин. Перед використанням надосадову рідину обережно зливали. Далі до 1 л стерильного сусла додавали 18 г агар-агару, нагрівали до розчинення агару і розливали середовище в стерильні пробірки або чашки, стерилізували при 110° 10 хвилин [28].

Рідке сусло після зливання відстоюної рідини з осаду розливали у пробірки або колби і стерилізували при режимі, зазначеному для сусла-агару [28].

В ході експерименту були досліджені наступні середовища заморожування [22–24]: 1. суспензія клітин + дистильована вода; 2. суспензія клітин + 1 % альгінат натрію; 3. суспензія клітин + 5 % ДМСО; 4. суспензія клітин + 5 % ДМСО + 1 % альгінат натрію.

Статистичну обробку отриманих даних проводили з використанням «Statistica V.6.» програмного забезпечення.

Результати дослідження

Етапи іммобілізації клітин *S. cerevisiae* в альгінатні гранули

1. Змивали клітини зі скошеного агару в 5 мл фізіологічного розчину, таким чином отримали вихідну суспензію клітин з концентрацією змиву $S_{\text{сусп.}} \approx 1 \times 10^{10}$ КУО/мл. Кількість мікробних клітин визначали нефелометричним методом за допомогою фотоелектроколориметра [22, 23].

2. Змішували отриману суспензію клітин з 2%-вим розчином альгінату натрію у співвідношенні 1:1 (до 1 мл клітин суспензії додавали 1 мл 2%-вого розчину альгінату натрію) [22, 23].

3. У 2 мл стерильний шприц набирали 1 мл суспензії і давали урівноважитись суміші протягом 5 хвилин [22, 23].

4. В колбу, що містить 50 мл 0,2 М розчину CaCl_2 , з висоти 5 см із гранулятора по краплям випускали суміш клітин при безперервному коливанні колби (з 1 мл отримували 97–98 крапель, тобто об'єм крапель складав 0,01 мл, а діаметр – 2,6–2,7 мм) та залишали на 1 годину для затвердіння при температурі $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ [22, 23].

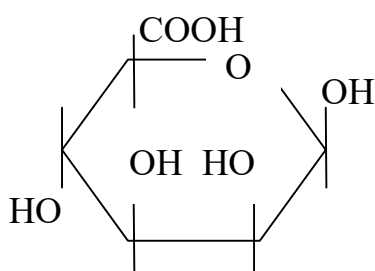
5. Отримані гранули діставали з розчину CaCl_2 за допомогою сита або мікробіологічної петлі, частину гранул поміщали у кріокапсули (по 10 гранул у 1 мл кріокапсулу) для подальшого кріоконсервування, а частину розчиняли у 4%-вому розчині $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ при кімнатній температурі та визначали життєздатність чашковим методом для контролю: 10 гранул поміщали в 10 мл 4%-вого $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ на 20 хвилин, при цьому розбавлення складає (-2). Після розчинення сіяли на чашки з агаром з розведень (-5) і (-6) [22, 23].

6. До 1 мл суспензії клітин з концентрацією $C_{\text{сусп}} \approx 1 \times 10^{10}$ КУО/мл додавали 1 мл фізіологічного розчину та проводили посів з розведень (-5) і (-6) для контролю [22, 23].

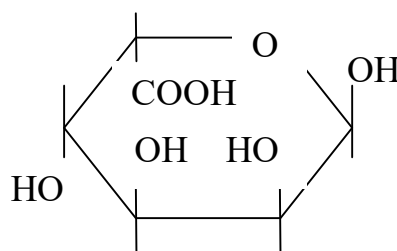
7. Заморожування клітинної суспензії та гранул проводили по програмах розроблених в Інституті проблем кріобіології і кріомедицини НАН України: 1-етапне охолодження зі швидкостями 0,4; 4; 40 $^\circ\text{C}/\text{хв.}$, 2-етапне зі швидкістю охолодження на першому етапі 0,02–0,2 $^\circ\text{C}/\text{хв.}$ від 20 $^\circ\text{C}$ до мінус 20 $^\circ\text{C}$ та зі швидкістю на другому етапі 2–3 $^\circ\text{C}/\text{хв.}$ в інтервалі температур від мінус 20 $^\circ\text{C}$ до мінус 196 $^\circ\text{C}$, а також занурення в рідкий азот. Заморожені зразки відігрівали на водяній бані при 37 $^\circ\text{C}$ [22, 23].

Назва «альгінати» об'єднує велику групу природних полімерних речовин, склад, структура і молекулярна маса яких залежить від джерела походження виділення, району вирощування сировини, сезону заготівлі тощо. Рослинні альгінати добувають лужною екстракцією з бурих водоростей, що належать до родів *Ascophyllum*, *Laminaria*, *Fucus*, *Macrocystis*, *Sargassum* та ін. [4].

Що стосується будови, то всі альгінати представляють собою нерозгалужені блок-сополімери солей двох уронових кислот [4]:

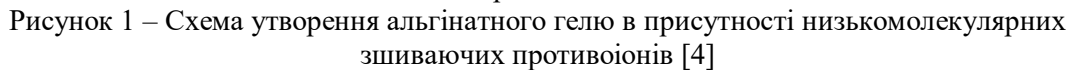


D-маннуорова кислота



L-гулуорова кислота

Полісахаридні ланцюги включають блоки, що складаються переважно з одного виду вуглеводних залишків, а також ділянки з більш-менш регулярним чергуванням ланок обох кислот, з'єднаних 1→4-глікозидними зв'язками. Сумарне співвідношення: маннуронат / гулуруонат – одна з найважливіших характеристик альгінатів, що визначає гелеутворюючі властивості тієї або іншої марки полімеру. Справа в тому, що ділянки з олігоманнуровими послідовностями мають близьку до лінійної «стрічкову» структу-



Включення біомаси в альгінатний гель проводили, додаючи по краплях суспензію клітин в розчині альгінату натрію до розчину солі кальцію хлориду або ацетату. Оскільки йонні реакції проходять дуже швидко, то тонкий шар гелю по периферії краплі утворюється практично відразу ж, а далі катіони Ca^{2+} дифундують в середину частинки, «зшиваючи» полімерні ланцюги в сітку іонотропного студню (рис. 2) [4].

ний біокатализатор, присутні, наприклад, іони натрію, то завдяки обміну Ca^{2+} на Na^{+} відбувається поступове розм'якшення і наступне розчинення гелю. З точки зору стабільності носія це – небажане явище, але з іншого боку, даний прийом розчинення гелю, що містить клітини, дозволяє провести підрахунок кількості мікроорганізмів у біокатализаторі на різних етапах його функціонування. Якщо в середовищі знаходяться речовини, здатні при взаємодії з іонами кальцію утворювати сполуки, константи дисоціації яких нижче відповідних констант дисоціації іонних пар у гелі, то за рахунок зсуву рівноваги буде відбуватися «екстракція» зшивача і руйнування матриці носія. Саме із цієї причини альгінатні студні не стабільні в присутності фосфатів, сульфатів, комплексонів типу ЕДТА, а також деяких органічних кислот [4].

Розчин ДМСО належить до проникних кріопротекторів та перешкоджає формуванню кристалів льоду за рахунок утворення водневих зв'язків з молекулами води. Це попереджає швидке наростання концентрації солей в позаклітинному середовищі та пошкодження клітин в результаті осмотичного шоку [29].

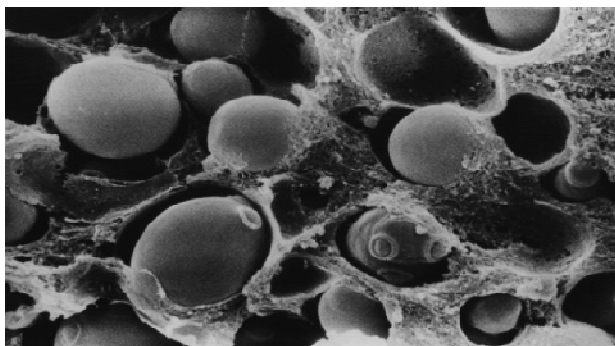


Рисунок 2 – Зображення дріжджових клітин, що іммобілізовані в альгінат кальцію [4]

Обладнання для іммобілізації клітин в іонотропні гелеві матриці. Для приготування великих кількостей гранул використовували спеціальні пристрої – гранулятори. Принципові схеми двох грануляторів [4] зображені на рис. 3.

У першому випадку (а) суспензія мікроорганізмів у розчині гелеутворювача 1 продавлюється через капіляр 3, а в коаксіальну з ним зовнішню трубку 4 подається регульований потік стерильного повітря або інертного газу, який зриває краплі рідкої фази з отвору капіляра. Підбором внутрішніх діаметрів каналів, тиском, що прикладається до рідини, а також і швидкістю потоку газу можна в широких межах варіювати розмір крапель і продуктивність гранулятора.

У другому випадку (б) рідина з клітинами 1 під тиском надходить у невелику камеру 7, що має знизу на виході капіляр 3, а функцію верхньої кришки камери виконує міцна гумова мембрана 8, в яку впирається шток 9, що передає на мембрану змінні коливання певної частоти. Ці коливання далі поширюються по рідині та порушують цілісність струменя, що виходить з капіляра, дроблячи його на краплі. Було показано, що за допомогою такого гранулятора можна успішно і у великих кількостях отримувати не тільки кульки альгінатного студню, що містять мікроорганізми, а й аналогічні частинки на основі термотропних гелевих матриць [4].

У лабораторії при отриманні невеликих партій іммобілізованих біокатализаторів ці операції можна виконувати за допомогою звичайного шприца або дозуючого насоса, подбавши про дотримання стерильності.

Після вивчення впливу концентрації альгінату, концентрації клітин та діаметра гранул на ефективність процесу включення дріжджових клітин в альгінатний гель було розроблено умови іммобілізації.

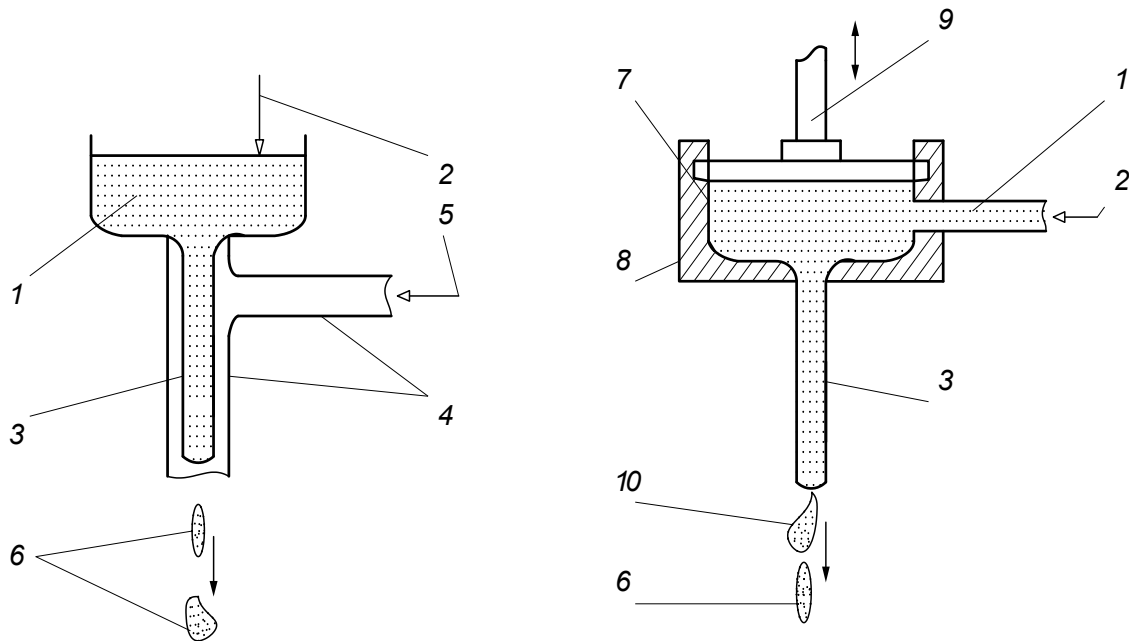


Рисунок 3 – Схеми грануляторів, призначених для отримання значних кількостей частинок іонотропних гелів, що містять іммобілізовані клітини [4]

- 1 – клітини, що підлягають іммобілізації, суспендовані в розчині гелеутворюючого полімеру;
 2 – тиск, прикладений до суспензії клітин; 3 – капіляр; 4 – трубка для подачі потоку газу;
 5 – подача стерильного повітря або інертного газу; 6 – краплі рідкої фази;
 7 – камера гранулятора; 8 – гумова мембрана; 9 – шток;
 10 – струмінь рідини на виході з капіляра

Вивчення впливу середовища заморожування на життєздатність клітин *S. cerevisiae* при різних режимах в процесі кріоконсервування

Етапи проведення експерименту:

1. Змивали з семи косяків дистильованою водою (по 5 мл) в одну колбу 35 мл суспензії клітин [22–24].
2. Підраховували концентрацію клітин у камері Горяєва і розбавляли отриману суспензію до концентрації 5×10^8 КУО/мл. В процесі розбавлень посівна концентрація дорівнювала у всіх зразках $2,5 \times 10^8$ КУО/мл [22–24].
3. Перша експериментальна група – 10 мл суспензії клітин ($C = 5 \times 10^8$ КУО/мл) + 10 мл дистильованої води [22–24].
4. Друга експериментальна група – 10 мл суспензії клітин ($C = 5 \times 10^8$ КУО/мл) + 10 мл 2 % альгінату натрію (1% альгінату натрію в загальному об'ємі) [22–24].
5. Третя експериментальна група – 10 мл суспензії клітин ($C = 5 \times 10^8$ КУО/мл) + 10 мл 10 % ДМСО (5 % ДМСО у загальному об'ємі) [22–24].
6. Четверта експериментальна група – 10 мл суспензії клітин ($C = 5 \times 10^8$ КУО/мл) + 5 мл 20 % ДМСО + 5 мл 4 % альгінату натрію (5% ДМСО і 1 % альгінату натрію у загальному об'ємі) [22–24].

7. Контрольну групу (K1, K2, K3, K4) – зразки з кожної експериментальної групи – висівали на чашки Петрі з сусло-агаром (по 5 штук) із розбавлень (-5) та (-6) [22–24].

8. Дослідні зразки охолоджували зі швидкостями: 1; 5; 10; 15 °C/хв. до мінус 40 °C з подальшим зануренням у рідкий азот. Також заморожування зразків проводили безпосереднім зануренням у рідкий азот [22–24].

9. Зразки відігрівали на водяній бані при температурі 37 °C [22–24].

10. Життєздатність дріжджів *S. cerevisiae* оцінювали чашковим методом Коха.

11. Контроль здійснювали за життєздатністю нативних клітин дріжджів *S. cerevisiae*, ресуспендованих у вищезазначених захисних середовищах, висіваючи їх на агаризовані ростові середовища [22–24].

У ході досліджень було встановлено, що на життєздатність клітин *S. cerevisiae* у процесі кріоконсервування впливають як склад середовища кріоконсервування, так і режими охолодження. У всіх середовищах заморожування, як без захисних компонентів, так і з додаванням кріопротектора, найбільш високі результати отримані при охолодженні зі швидкістю 1 °C/хв. (рис. 4). Показники життєздатності в зразках становили відповідно: 73,1 % – у дистильованій воді; 90,8 % – в 1 % розчині альгілату натрію; 87,1 % – в 5 % розчині ДМСО і 86,1 % – в 1 % розчині альгілату натрію з додаванням 5 % ДМСО [22–24].

При підвищенні швидкості охолодження від 5 °C/хв. до 15 °C/хв. кількість життєздатних клітин вірогідно зменшувалася. При зануренні в рідкий азот показник життєздатності знижувався відповідно по групах: до 0,4; 1,9; 0,7; 0,6 % [22–24] (рис. 4, рис. 5).

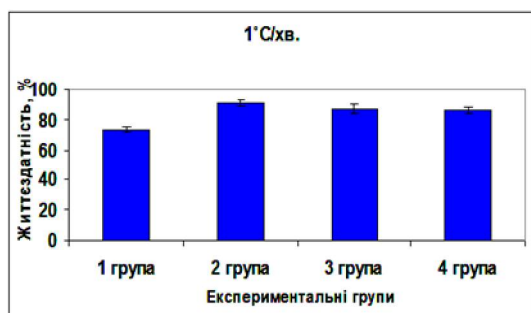


Рисунок 4 – Життєздатність клітин *S. cerevisiae* після заморожування зі швидкістю 1 °C/хв

1 групі – дистильованій воді; 2 групі – 1% розчині альгілату натрію; 3 групі – 5% розчині ДМСО; 4 групі – 1% розчині альгілату натрію + 5% ДМСО

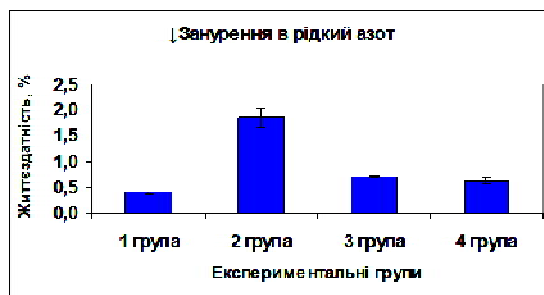


Рисунок 5 – Життєздатність клітин *S. cerevisiae*, суспендованих в наступних експериментальних середовищах, після занурення в рідкий азот

1 група – дистильована вода; 2 група – 1% розчин альгілату натрію; 3 група – 5% розчин ДМСО; 4 група – 1% розчин альгілату натрію + 5% ДМСО

Що стосується середовищ заморожування, найбільш низьку життєздатність спостерігали при заморожуванні клітин, ресуспендованих у дистильованій воді, при цьому встановлена залежність життєздатності від режимів охолодження (рис. 6).

При заморожуванні дріжджів в 1 % розчині альгілату натрію зі швидкостями 1, 5, 10, 15 °C/хв. і при зануренні в рідкий азот кількість життєздатних клітин становила

відповідно: 90,8; 74,5; 38,1; 16,0; 1,8 % [22–24] (рис. 7).

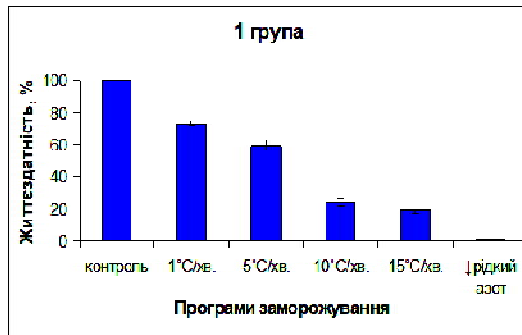


Рисунок 6 – Залежність життєздатності клітин *S. cerevisiae* від режимів охолодження при заморожуванні клітин, ресуспендованих в дистильованій воді

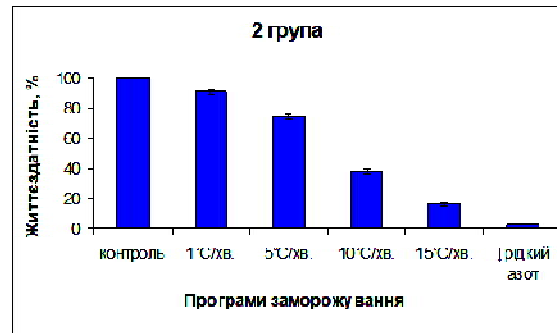


Рисунок 7 – Залежність життєздатності клітин *S. cerevisiae* від режимів охолодження при заморожуванні клітин в 1% розчині альгінату натрію

При заморожуванні клітин в 5 % розчині ДМСО і в 1 % розчині альгінату натрію з додаванням 5 % ДМСО, кількість життєздатних клітин також зменшувалася в міру підвищення швидкості охолодження, але вірогідно не відрізнялася від показника життєздатності клітин у зразках заморожених в 1 % розчині альгінату натрію [22–24] (рис. 8, рис. 9).



Рисунок 8 – Залежність життєздатності клітин *S. cerevisiae* від режимів охолодження при заморожуванні клітин в 5% розчині ДМСО

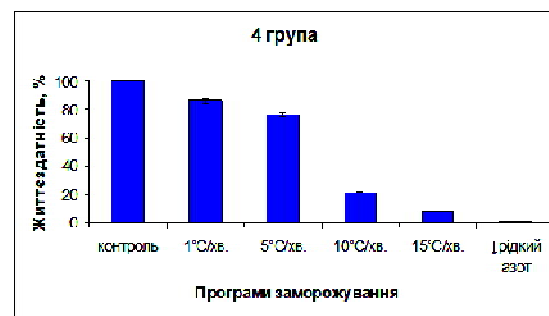


Рисунок 9 – Залежність життєздатності клітин *S. cerevisiae* від режимів охолодження при заморожуванні клітин в 1% розчині альгінату натрію з додаванням 5% ДМСО

Висновки. Спираючись на літературні данні було обрано методику іммобілізації та довгострокового зберігання дріжджових клітин *S. cerevisiae*.

Встановлено, що на життєздатність неіммобілізованих і іммобілізованих в альгінатному гелі клітин *S. cerevisiae* впливає режим охолодження.

Показана залежність життєздатності клітин від швидкості охолодження. Мінімальне значення кількості життєздатних клітин спостерігали при швидкому охолодженні. Зі зниженням швидкості охолодження життєздатність клітин у заморожених зразках зростала.

При всіх режимах заморожування спостерігали кріозахистний ефект альгінатного гелю. Життєздатність клітин іммобілізованих препаратів була вірогідно вище в порівнянні з неіммобілізованими клітинами.

Результати експериментів показали, що життєздатність іммобілізованих клітин була вище, чим вільних клітин дріжджів. Можливо, гелева матриця проявляє протективну дію на клітини дріжджів у процесі заморожування.

Література

1. Белых И.А., Грек А.М., Сакун А.В., Марущенко В.В., Гаташ С.В. Аналиты в биосенсорах // *Біофізичний вісник*. 2010. Т. 2. № 25. С. 144–158.
2. Mitropoulou G., Nedovic V., Goyal A., Kourkoutas Y. Immobilization Technologies in Probiotic Food Production. *Int J Nutr Metab*. Oct 28; 2013: 716861.
3. Иммобилизованные клетки и ферменты. Методы. / Под ред. Дж. Вудворда. – М.: Мир., 1988. – 215 с.
4. Синицын А.П., Райнина Е.И., Лозинский В.И., Спасов С.Д. Иммобилизованные клетки микроорганизмов. – М.: Изд-во МГУ, 1994. 288 с.
5. Самони В.В., Еликова Е.Е. Изучение закономерностей адсорбции бактериальных клеток на пористых носителях // *Микробиология*. 2004. Т. 73, № 6. С. 810–816.
6. Слабова О.И., Никитин Д.И. Иммобилизация олиготрофных бактерий на пористых носителях методом сорбции // *Микробиология*. 2005. Т. 74, № 3. С. 430–432.
7. Доронина Н.В., Ежов В.А., Троценко Ю.А. Аэробная биodeградация формальдегида, метанола и метиламина иммобилизованными клетками *Methylobacterium extorquens* // *Прикладная биохимия и микробиология*. 1997. № 2. С. 162–165.
8. Nakajima N., Ishihara K., Matsuura Y. Dietary-fiber-degrading enzymes from a human intestinal *Clostridium* and their application to oligosaccharide production from non-starchy polysaccharides using immobilized cells // *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 2002. V. 59. P. 182–189.
9. Олонцев В.Ф., Безруков Р.А. Российские активные угли. М.: Изд-во ГУ ВШЭ, 1999. 90 с.
10. Feng Y., Racke K.D., Bollag J.-M. Use of immobilized bacteria to treat industrial wastewater containing a chlorinated pyridinol. // *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 1997. V.47. P. 73–77.
11. Shan, H., Obbard, J. P. Ammonia removal from prawn aquaculture water using immobilized nitrifying bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2001. Vol. 57. P. 791–798.
12. Elsgaard, L. Ethylene removal by a biofilter with immobilized bacteria. *Applied Environmental Microbiology*. 1998. Vol. 8. P. 4168–4173.
13. Kovalenko, G.A., Kuznetsova, E.V., Mogilnykh, I.S. Catalytic filamentous carbons for immobilization of biologically active substances and non-growing bacterial cells // *Carbon*. 2001. V. 39. P. 1033–1043.
14. Коваленко Г.А., Перминова Л.В., Хомов В.В., Комова О.В., Чуенко Н.В., Симмаков А.В., Рудина Н.А. Углеродсодержащие макроструктурированные керамические носители для адсорбционной иммобилизации ферментов и микроорганизмов. IV. Биокаталитические, свойства адсорбированных дрожжевых мембран // *Биотехнология*. 2004. № 6. С. 34–43.
15. Коваленко Г.А., Перминова Л.В., Чуенко Т.В., Ившина И.Б., Куюкина М.С., Рычкова М.И. Углеродсодержащие макроструктурированные керамические носители для адсорбционной иммобилизации ферментов и микроорганизмов. V. Иммобилизация нерастущих клеток дрожжей и растущих клеток алканотрофных родококков // *Биотехнология*. 2006. № 1. С. 76–83.
16. Shriver-Lake L.C., Gammeter W.B., Bang S.S., Pazirandeh M. Covalent binding of genetically engineered microorganisms to porous glass beads. // *Analytica Chimica Acta*. 2002. V.470. P. 71–78.

17. Jirku, V., Turkova, J., Colowick S.P., Kaplan N.O. Cell immobilization by covalent linkage: Methods in enzymology. Orlando: Academic Press, 1987. V. 135. P. 341–357.
18. Cabral, J.M.S., Kennedy, J.F., Colowick S.P., Kaplan N.O. Immobilization of microbial cells on transition metal-activated supports: Methods in enzymology. Orlando: Academic Press, 1987. V. 135. P. 357–372.
19. Сапунова Л.И., Лобанок А.Г., Парахня Е.В., Казакевич И.О. Свойства препарата иммобилизованных клеток *Arthrobacter sp.* продуцента ксилото(глюкозо)изомеразы // Микробиология. 2003. Т. 72, № 3. С. 395–399.
20. Domingo J.S., Radway J.C., Wilde E. W., Hermann P., Hazen T.C. Immobilization of Burkholderia cepacia in polyurethanebased foams: embedding efficiency and effect on bacterial activity. // J. Industrial Microbiol. Biotechnol. 1997. V.18. P. 389–395.
21. Park, J.K., Chang, H.N. Microencapsulation of microbial cells // Biotechnol. Advances. 2000. V. 18. P. 303–319.
22. Пономарева В.Л., Высеканцев И.П., Гурина Т.М., Онасенко Е.С., Пишко О.В. Изучение влияния условий криоконсервирования на жизнеспособность клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, иммобилизованных в альгинатном геле // Вісник проблем біології і медицини. 2012. № Т.1, № 2. С. 14–17.
23. Пономарева В.Л., Высеканцев И.П., Гурина Т.М., Онасенко Е.С. Изучение влияния режимов охлаждения и защитных сред, содержащих альгинат натрия, на жизнеспособность клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Вісник проблем біології і медицини. 2011. № 3 (1). С. 35–37.
24. Подпоріна М.С., Бєлих І.А., Бабінець О.М., Висеканцев І.П. Визначення умов іммобілізації пробіотиків *Saccharomyces boulardii* та *Bifidobacterium bifidum* на ентеросорбентах // Матер. V Всеукр. наук.-практич. конф. Кам'янець-Подільський, 2011.
25. Правдюк А.И., Петренко Ю.А., Холодный В.С., Грищук В.П., Петренко А.Ю. Изучение криочувствительности мезенхимальных стромальных клеток в составе альгинатных микросфер // Пробл. криобиологии. 2010. Т. 20, № 3. С. 235–245.
26. Еременко Е.Н., Татарина Н.Ю. Влияние длительного хранения клеток микроорганизмов, иммобилизованных в криогель поливинилового спирта, на их выживаемость и биосинтез целевых метаболитов // Микробиология. 2007. Т. 76. № 3. С. 383–389.
27. Висеканцев І.П., Петров І.В., Буряк І.А., Марценюк В.П. Життєздатність та адгезія до еритроцитів людини пробіотичних штамів мікроорганізмів після іммобілізації в альгинатному гелі і зберігання за різних низьких температур // Вісник Українська медична стоматологічна академія. 2020. Т.2, Вип. 4 (72). С. 115–124.
28. Справочник по микробиологическим и вирусологическим методам исследования. Под ред. М.О. Бигера Изд-во «Медицина» Москва, 1967. С. 85–86.
29. Цуцаева А.А., Аграненко В.А., Федорова Л.И. Криоконсервирование клеточных суспензий. К.: Наук. думка, 1983. 240 с.

Bibliography (transliterated)

1. Bielykh I.A., Grek A.M., Sakun A.V., Maruschenko V.V., Gatash S.V. Analitiki v biosensorah // Biofizichnyi visnik. 2010. Т. 2. N 25. P. 144–158.
2. Mitropoulou G., Nedovic V., Goyal A., Kourkoutas Y. Immobilization Technologies in Probiotic Food Production. Int J Nutr Metab. Oct 28; 2013: 716861.
3. Иммобилизованные клетки и ферменты. Методы. / Под ред. Д.В. Вудворда. – М.: Мир., 1988. – 215 с.
4. Sinitsyn A.P., Raynina E.I., Lozinskiy V.I., Spasov S.D. Иммобилизованные клетки микроорганизмов. – М.: Изд-во МГУ, 1994. 288 с.

5. Samoni V.V., Elikova E.E. Izuchenie zakonomernostey adsorbtsii bakterialnykh kletok na poristyykh nosityakh // *Mikrobiologiya*. 2004. T. 73, N 6. P. 810–816.
6. Slabova O.I., Nikitin D.I. Immobilizatsiya oligotrofnykh bakteriy na poristyykh nosityakh metodom sorbtsii // *Mikrobiologiya*. 2005. T. 74, N 3. P. 430–432.
7. Doronina N.V., Ezhov V.A., Trotsenko Yu.A. Aerobnaya biodegradatsiya formaldegida, metanola i metilamina immobilizovannyimi kletkami *Methylobacterium extorquens* // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 1997. N 2. P. 162–165.
8. Nakajima N., Ishihara K., Matsuura Y. Dietary-fiber-degrading enzymes from a human intestinal *Clostridium* and their application to oligosaccharide production from non-starchy polysaccharides using immobilized cells // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2002. V. 59. P. 182–189.
9. Olontsev V.F., Bezrukov R.A. Rossiyskie aktivnyie ugli. M.: Izd-vo GU VShE, 1999. 90 s.
10. Feng Y., Racke K.D., Bollag J.-M. Use of immobilized bacteria to treat industrial wastewater containing a chlorinated pyridinol. // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1997. V. 47. P. 73–77.
11. Shan, H., Obbard, J. P. Ammonia removal from prawn aquaculture water using immobilized nitrifying bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2001. Vol. 57. P. 791–798.
12. Elsgaard, L. Ethylene removal by a biofilter with immobilized bacteria. *Applied Environmental Microbiology*. 1998. Vol. 8. P. 4168–4173.
13. Kovalenko, G.A., Kuznetsova, E.V., Mogilnykh, I.S. Catalytic filamentous carbons for immobilization of biologically active substances and non-growing bacterial cells // *Carbon*. 2001. V. 39. P. 1033–1043.
14. Kovalenko G.A., Perminova L.V., Homov V.V., Komova O.V., Chuenko N.V., Simakov A.V., Rudina N.A. Uglerodsoderzhaschie makrostrukturirovannyye keramicheskie nositeli dlya adsorbtsionnoy immobilizatsii fermentov i mikroorganizmov. IV. Biokataliticheskie, svoystva adsorbirovannykh drozhzhevykh membran // *Biotehnologiya* 2004. N 6. P. 34–43.
15. Kovalenko G.A., Perminova L.V., Chuenko T.V., Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Ryichkova M.I. Uglerodsoderzhaschie makrostrukturirovannyye keramicheskie nositeli dlya adsorbtsionnoy immobilizatsii fermentov i mikroorganizmov. V. Immobilizatsiya nerastuschiy kletok drozhzhey i rastuschiy kletok alkanotrofnykh rodokokkov // *Biotehnologiya*. 2006. N 1. P. 76–83.
16. Shriver-Lake L.C., Gammeter W.B., Bang S.S., Pazirandeh M. Covalent binding of genetically engineered microorganisms to porous glass beads. // *Analytica Chimica Acta*. 2002. V. 470. P. 71–78.
17. Jirku, V., Turkova, J., Colowick S.P., Kaplan N.O. Cell immobilization by covalent linkage: Methods in enzymology. Orlando: Academic Press, 1987. V. 135. P. 341–357.
18. Cabral, J.M.S., Kennedy, J.F., Colowick S.P., Kaplan N.O. Immobilization of microbial cells on transition metal-activated supports: Methods in enzymology. Orlando: Academic Press, 1987. V. 135. P. 357–372.
19. Sapunova L.I., Lobanok A.G., Parahnya E.V., Kazakevich I.O. Svoystva preparata immobilizovannykh kletok *Arthrobacter* sp. produtsenta ksiloza(glyukozo)izomerazyi // *Mikrobiologiya*. 2003. T. 72, N. 3. P. 395–399.
20. Domingo J.S., Radway J.C., Wilde E. W., Hermann P., Hazen T.C. Immobilization of *Burkholderia cepacia* in polyurethanebased foams: embedding efficiency and effect on bacterial activity. // *J. Industrial Microbiol. Biotechnol.* 1997. V. 18. P. 389–395.
21. Park, J.K., Chang, H.N. Microencapsulation of microbial cells // *Biotechnol. Advances*. 2000. V. 18. P. 303–319.
22. Ponomareva V.L., Vysekantsev I.P., Hurya T.M., Onasenko E.S., Pyshko O.V. Yzuchenye vliyaniya uslovyi kryokonservirovaniya na zhyznospobnost kletok drozhei

Saccharomyces cerevisiae, ymmobylyzovannykh v alhynatnom hele // Visnyk problem biolohii i medytsyny. 2012. № Т.1, № 2. Р. 14–17.

23. Ponomarieva B.L., Vysekantsev I.P., Huryna T.M., E.S. Onasienko E.S. Izuchenye vliyaniya rezhymov okhlazhdeniya y zashchytnykh sred, sodержashchykh alhynat natryia, na zhyznesposobnost kletok drozhzhei *Saccharomyces cerevisiae* // Visnyk problem biolohii i medytsyny. 2011. N 3 (1). P 35–37.

24. Podporina M.S., Bielykh I.A., Babinets O.M., Vysekantsev I.P. Vyznachennia umov immobilizatsii probiotykov *Saccharomyces boulardii* ta *Vifidobacterium bifidum* na enterosorbentakh // Mater. V Vseukr. nauk.-praktich. konf. Kamianets-Podilskyi, 2011.

25. Pravdiuk A.Y., Petrenko Yu.A., Kholodnyi V.S., Hryshchuk V.P., Petrenko A.Iu. Izuchenye kryochuvstvytelnosti mezenkhymalnykh stromalnykh kletok v sostave alhynatnykh mykrosfer // Probl. kryobyolohyy. 2010. T. 20, № 3. P. 235–245.

26. Eremenko E.N., Tatarynova N.Iu. Vliyanye dlytelnoho khraneniya kletok mykroorhanyzmov, immobylyzovannykh v kryohel polyvynylovoho spyrtu, na ykh vyzhyvaemost i byosyntezy tselevykh metabolitov // Mykrobiolohiya. 2007. T. 76. N 3. P. 383–389.

27. Vysekantsev I.P., Petrov I.V., Buriak I.A., Martseniuk V.P. Zhyttiezdatnist ta adhezii do erytrocytiv liudyny probiotychnykh shtamiv mikroorhanizmiv pislia immobilizatsii v alhynatnomu heli i zberihanniia za riznykh nyzkykh temperatur // Visnyk Ukrainka medychna stomatolohichna akademiia. 2020. T. 2, Vyp. 4 (72). P. 115–124.

28. Spravochnyk po mykrobiolohycheskym y vyrosolohycheskym metodam yssledovaniya. Pod red. M.O. Byhera Yzd-vo «Medytsyna» Moskva, 1967. P. 85–86.

29. Tsutsaeva A.A., Ahrenenko V.A., Fedorova L.Y. Kryokonservyrovanye kletochnykh suspenzyi. – K.: Nauk. dumka, 1983. 240 p.

УДК 663.14;57.086.1

Бєлїх І.А., к.біол.н., доцент, Самойленко С.І., к.техн.н., доцент,
Висеканцев І.П., к.мед.н., с.н.с., Бєлїнська А.П., к.техн.н., доцент, Варанкіна О.О.,
к.техн.н., доцент, Близнюк О.М., д.техн.н., професор, Масалїтіна Н.Ю., к.техн.н., доцент,
Мироненко Л.С., к.техн.н., Кукушкін А.І., к.біол.н.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ІММОБІЛІЗОВАНИХ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В БІОТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Робота присвячена сучасному стану та проблемам іммобілізації клітин мікроорганізмів, а також довгостроковому зберіганню систем іммобілізованих клітин для потреб біотехнологічних виробництв.

В експериментальній частині розроблені умови іммобілізації дріжджових клітин *S. cerevisiae* в альгінатному гелі та визначення їх життєздатності, що давало високу повторюваність результатів дослідів.

Результати експериментів показали, що життєздатність іммобілізованих клітин була вище, чим вільних клітин дріжджів. Так, при заморожуванні дріжджів в 1 % розчині альгінату натрію зі швидкостями 1, 5, 10, 15°C/хв. і при зануренні в рідкий азот кількість життєздатних клітин становила: 90,8; 74,5; 38,1; 16,0; 1,8 %. На основі аналізу літературних джерел, можна зробити висновок що, гелева матриця проявляє кріопротективну дію на клітини дріжджів у процесі заморожування.

Вивчено комплексний вплив режимів охолодження та консервуючих захисних середовищ, що містять альгінат натрію, на життєздатність дріжджів. Експериментально показано перевагу зберігання клітин в іммобілізованому стані. Встановлено, що на життєздатність клітин *S. cerevisiae* в процесі кріоконсервування впливають швидкість охолодження і склад середовища консервування. У всіх середовищах заморожування,

як без захисних компонентів, так і з додаванням кріопротектора, найбільш високі результати отримані при охолодженні зі швидкістю 1 °С/хв. Показники життєздатності в зразках становили: 73,1 % – у дистильованій воді; 90,8 % – в 1 % розчині альгінату натрію; 87,1 % – в 5 % розчині ДМСО і 86,1 % – в 1 % розчині альгінату натрію з додаванням 5 % ДМСО. При заморожуванні клітин в 5 % розчині ДМСО і в 1 % розчині альгінату натрію з додаванням 5 % ДМСО, кількість життєздатних клітин також зменшувалася в міру підвищення швидкості охолодження, але вірогідно не відрізнялася від показника життєздатності клітин у зразках заморожених в 1 % розчині альгінату натрію. Для клітин *S. cerevisiae* найкращі результати за життєздатністю отримані при повільному охолодженні для всіх кріозахисних середовищ.

Одержані результати дозволяють рекомендувати альгінат натрію як носій кріоконсервованих іммобілізованих клітин при використанні в біотехнологічних виробництвах для одержання біологічно активних речовин.

Ключові слова: іммобілізація клітин, включення в структуру гелю, альгінатні мікросфери, кріоконсервування, життєздатність клітин, дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*

Белых И.А., Самойленко С.И., Высеканцев И.П., Белинская А.П., Варанкина А.А.,
Близнюк О.Н., Масалитина Н.Ю., Мироненко Л.С., Кукушкин А.І.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ИММОБИЛИЗИРОВАННЫХ ДРОЖДЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Работа посвящена современному состоянию и проблемам иммобилизации клеток микроорганизмов, а также долгосрочному хранению систем иммобилизованных клеток для биотехнологических производств.

В экспериментальной части разработаны условия иммобилизации дрожжевых клеток *S. cerevisiae* в альгинатном геле и определение их жизнеспособности, что давало высокую воспроизводимость результатов опытов.

Результаты экспериментов показали, что жизнеспособность иммобилизованных клеток была выше, чем свободных клеток дрожжей. Так, при замораживании дрожжей в 1 % растворе альгината натрия со скоростями 1, 5, 10, 15 °С/мин. и при погружении в жидкий азот количество жизнеспособных клеток составляло: 90,8; 74,5; 38,1; 16,0; 1,8 %. На основе анализа литературных источников, можно сделать вывод, что гелевая матрица оказывает криопротективное действие на клетки дрожжей в процессе замораживания.

Изучено комплексное влияние режимов охлаждения и консервирующих защитных сред, содержащих альгинат натрия, на жизнеспособность дрожжей. Экспериментально показано преимущество хранения клеток в иммобилизованном состоянии. Установлено, что на жизнеспособность клеток *S. cerevisiae* в процессе криоконсервирования оказывают влияние скорость охлаждения и состав среды консервирования. Во всех средах замораживания, как без защитных компонентов, так и с добавлением кріопротектора, наиболее высокие результаты получены при охлаждении со скоростью 1 °С/мин. Показатели жизнеспособности в образцах составляли: 73,1 % – в дистиллированной воде; 90,8 % – в 1 % растворе альгината натрия; 87,1 % – в 5 % растворе ДМСО и 86,1 % – в 1 % растворе альгината натрия с добавлением 5 % ДМСО. При замораживании клеток в 5 % растворе ДМСО и в 1 % растворе альгината натрия с добавлением 5 % ДМСО, количество жизнеспособных клеток также уменьшалось по мере повышения скорости охлаждения, но вероятно не отличалось от показателя жизнеспособности клеток в образцах, замороженных в 1 % растворе альгината натрия. Для клеток

S. cerevisiae наилучшие результаты по жизнеспособности получены при медленном охлаждении для всех криозащитных сред.

Полученные результаты позволяют рекомендовать альгинат натрия как носитель иммобилизованных криоконсервированных клеток при использовании в биотехнологических производствах для получения биологически активных веществ.

Ключевые слова: иммобилизация клеток, включение в структуру геля, альгинатные микросферы, криоконсервирование, жизнеспособность клеток, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*

Bielykh I.A., Samoilenko S.I., Belinska A.P., Varankina O.O., Blyzniuk O.N.,
Masalitina N.Yu., Myronenko L.S., Kukushkin A.I.

USE OF ANALYSIS TECHNIQUE FOR IMMOBILIZED YEAST *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* IN THE BIOTECHNOLOGICAL INDUSTRY

Article is devoted to the current state and problems of microbial cells immobilization and also prolonged storage of immobilized cells systems for the aims of biotechnological industry.

In the experimental part immobilization conditions for the cells *S. cerevisiae* in alginate gel and vitality test, which had given high reproducibility of experimental results, were developed.

Experimental results showed that viability of immobilized cells was higher than that of free yeast cells. It is possible that gel matrix has a protective effect on yeast cells during freezing.

Comprehensive effect of cooling modes and preservation protective mediums, which contain sodium alginate, on viability of yeasts has been investigated. Advantage of yeast cells storage in immobilized state was shown experimentally. It was found that cooling mode and composition of preservation medium affect on the viability of *S. cerevisiae* cells during cryopreservation. In all freezing medium, both without protective components and with addition of a cryoprotective agent, the best results were obtained with cooling at a rate of 1°C/min. Viability indices in the samples were: 73.1 % – in distilled water; 90.8 % – in 1 % sodium alginate solution; 87.1 % – in 5 % DMSO solution and 86.1 % – in 1 % sodium alginate solution with the addition of 5 % DMSO. When cells were frozen in a 5 % DMSO solution and in a 1 % sodium alginate solution with the addition of 5 % DMSO, number of viable cells also decreased as cooling rate increased, but, probably, did not differ from the cell viability index in those samples that were frozen in 1 % sodium alginate solution. The highest results of viability for *S. cerevisiae* yeast cells were obtained during slow cooling for all cryoprotective mediums. For the first time, high cryoprotective properties of sodium alginate solution, were shown.

Obtained results are enable to recommend the sodium alginate as a carrier for cryopreserved immobilized cells when using it in biotechnological processing for biologically active substances production.

Keywords: cell immobilization, gel inclusions into structure, alginate microspheres, cryopreservation, cell viability, yeast *Saccharomyces cerevisiae*.

«ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

Щоквартальний науково-практичний журнал

Редколегією до опублікування приймаються статті, написані **державною мовою**, за наступними науковими напрямками:

- ✓ *енергетика та енергозбереження; енерготехнологія енергоємних галузей промисловості; нетрадиційна енергетика; ресурсозбереження; енергетика та навколишнє середовище;*
 - ✓ *тепловикористовуючі установки; моделювання процесів промислового обладнання; процеси та апарати різних галузей промисловості (хімічної, харчової, медичної та ін.);*
 - ✓ *застосування ЕОМ в технологічних процесах; автоматизовані системи управління та обробки інформації;*
 - ✓ *тепло- і масообмінні процеси та обладнання спеціальної техніки; теплові процеси та кріогенне устаткування медичного призначення;*
 - ✓ *електроенергетика; обладнання електростанцій і передача електроенергії;*
 - ✓ *економічні аспекти енергетики й промислової екології; комерційний інжиніринг, реінжиніринг та технологічний менеджмент;*
- а також інших напрямкам на межі різних галузей знань.*

Матеріали до опублікування в кожний наступний номер приймаються до 20 числа останнього місяця попереднього кварталу. Рукописи авторам не повертаються.

Електронна версія статті повинна бути підготовлена у редакторі текстів MS Word for Windows версій 97, XP, 2000 або 2003. Сама стаття повинна бути роздрукована у 2-х примірниках. До матеріалів повинні додаватися експертний висновок про можливість опублікування матеріалів у відкритій пресі та рецензія доктора наук за профілем статті.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ:

Розмір бумаги А4 (210x297 мм); ліве і праве поля – 25 мм, верхнє і нижнє – 30 мм; рекомендований шрифт Times New Roman Суг; розмір шрифту – 12; міжрядковий інтервал – 1.

ПОРЯДОК РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ:

- безпосередньо під верхньою межею зліва **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ** друкується УДК статті;
- пропустивши один рядок, по центру друкуються прізвища та ініціали авторів із зазначенням наукових ступенів та посади;
- пропустивши один рядок, по центру напівжирним шрифтом **ВЕЛИКИМИ**

ЛІТЕРАМИ друкується назва статті;

- нижче, пропустив одну строку, друкується назва організації, де працюють автори статті;
- після розміщуються ключові слова;
- пропускається один рядок і з абзацу (1,25 см) друкується основний текст, відформатований по ширині сторінки;
- перед і після формул і рівнянь має бути відстань в один порожній рядок до тексту з інтервалом 1;
- формули і рівняння повинні бути вирівняні по центру;
- номери формул і рівнянь повинні бути вирівняні по правому краю;
- розмір шрифту формул і рівнянь для основного тексту – 12 пт.;
- рисунки, схеми і графіки повинні бути виконані в чорно-білому зображенні;
- пропустивши один рядок, приводиться список літератури, оформлений у відповідності до вимог ДСТУ. Згідно вимогам МОН України кількість літературних джерел повинна бути не менш за 12.
- далі розміщується транслітерація списку літератури;
- у кінці статті на трьох мовах (українська, російська та англійська) повинні бути надруковані УДК, автори, назва і анотація. Мінімальна кількість символів кожної анотації – 1800 знаків.

Окремо в редколегію подаються відомості про авторів з їх адресами Email.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ
 Україна, 61002,
 Харків-2, вул. Кирпичова, 2,
 НТУ «ХПІ», редколегія журналу
 «Інтегровані технології та енергозбереження»,
 технічний редактор: к.техн.н.,
 професор Горбунов К.О.
 Тел. (057) 707-69-58.
 Email: gor.kona2016@gmail.com

**СТАТТІ, ОФОРМЛЕНІ НЕ ВІДПОВІДНО
 ДО ВИМОГ,
 РЕДКОЛЕГІЯ НЕ РОЗГЛЯДАЄ
 НА ЖУРНАЛ ВІДКРИТО ПЕРЕДПЛАТА
 В ПОШТОВИХ ВІДДІЛЕННЯХ УКРАЇНИ**

Індекс видання: **22786**
 Індекс видання: **46738** – тільки для Донецька
 та Луганська

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

4'2021

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 07.12.2020 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,2. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–60.
Зам. № 170. Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.