

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

4'2022

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. Вєдь, 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.Кожедуба
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 Katolikus
üniversitet, Будапешт, Угорщина
Шарифа Рафидан 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,
Мексика
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)
Eugeny 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

Пересьолков О. Р., Круглякова О. В.

Експериментальне дослідження елементарних актів гідродинаміки та теплообміну при взаємодії крапель і плівки води з поверхнею прокатного валку.....	3
--	---

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Алексахін О. О., Круглякова О. В., Бобловський О. В.

Оцінки зміни площі опалювальних теплообмінників для індивідуальних теплових пунктів при зміні графіка температур розподільної теплової мережі.....	13
--	----

Дзевочко О. М., Подустов М. О., Дзевочко А. І.

Системний аналіз процесу сульфатування у виробництві поверхнево-активних речовин.....	23
---	----

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Чернявський А. В., Григоров А. Б.

Паливо для судноплавства, отримане з вторинної полімерної сировини.....	39
---	----

Лебедєв В. В., Мірошніченко Д. В., Тихомирова Т. С., Савченко Д. О.,

Мазченко М. В., Мисяк В. Р., Кочетов М. С., Соловей Л. В.

Дослідження гібридних екологічно безпечних біодеградабельних композитів на основі полілактиду, кавової гуші та гумінових речовин.....	46
---	----

Чуприна Ю. Ю., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Белінська А. П.

Характеристика генів стійкості <i>triticum aestivum</i> до збудників хвороб та аналіз біотехнологічних препаратів.....	55
--	----

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Аніпко О. Б., Баулін Д. С.

Аналітична гіпотеза для обґрунтування принципової можливості регенерації нітроцелюлозних порохів після тривалого зберігання перекисом водню.....	65
--	----

Сінкевич І. В., Мардупенко О. О., Тульська А. Г., Левін Є. Д.

Роль науково-дослідної роботи студентів в навчальному процесі.....	73
--	----

<i>Сторінка редколегії.....</i>	81
---------------------------------	----

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 9 від 25.11.2022 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 4. – 84 с.

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

© Національний технічний університет «ХПІ», 2022

Пересьолков О.Р., к.техн.н., доцент, Круглякова О.В., к.техн.н., доцент

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ АКТИВ ГІДРОДИНАМІКИ ТА ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ КРАПЕЛЬ І ПЛІВКИ ВОДИ З ПОВЕРХНЕЮ ПРОКАТНОГО ВАЛКУ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Ключові слова: прокатні валки, нагрів, охолодження, тепловіддача, крапельний потік, плівка води, добірник крапель, тепломір, рівняння теплообміну

При проектуванні систем охолодження та автоматичного регулювання теплового профілю валків листопрокатних станів, а також при конструюванні камер теплової підготовки валків необхідні рекомендації щодо характеристик систем подачі води. Також при дослідженні термонапруженого стану валків шляхом математичного моделювання необхідне завдання локальних або середніх поганих умов теплообміну [1, 2].

Експериментальному вивченню процесу формування гідродинамічних умов на зрошуваній поверхні та відповідної їм інтенсивності теплообміну присвячується дана робота.

Дослідження теплонапруженого стану прокатних валків шляхом математичного моделювання за умов їх експлуатації та під час обробки в установці теплової підготовки передбачає знання граничних умов теплообміну на поверхні валків, тобто, локальних чи середніх значень коефіцієнтів тепловіддачі.

Формування граничних умов теплообміну обумовлено гідродинамічними умовами взаємодії рідкого диспергованого теплоносія з поверхнею валка. Можна припустити, що гідродинамічні умови на кожній елементарній ділянці поверхні формуються в результаті надходження як первинної диспергової рідини з форсунки, так і вторинної рідини у вигляді крапель і плівок, які відбиваються від сусідніх ділянок.

У такій складній гідродинамічній обстановці виникає необхідність роздільного вивчення окремих елементарних актив, з яких у реальних умовах формується процес гідравлічної та теплової взаємодії системи рідина – поверхня валка.

Виходячи з такої постановки задачі розроблено методику дослідження, що включає наступні чотири етапи:

1. Проведення експерименту, метою якого було б підтвердження, що на зрошуваній поверхні навіть у «плямі зрошення» під факелом плоскоструменевої форсунки на досліджувану «точку» поверхні потрапляє як «первинна» краплинна рідина, так і «вторинна» рідина, що надходить із сусідніх прилеглих ділянок;
2. Дослідження умов тепловіддачі при натіканні «первинного» крапельного потоку на поверхню теплообміну залежно від умов зрошення;
3. Дослідження умов тепловіддачі при течії плівки води поверхнею теплообміну;
4. Дослідження теплопередачі при спільному впливі на поверхню теплообміну рухомої плівки, води і натікаючого краплинного потоку

З метою вивчення та аналізу гідродинамічної обстановки при зрошенні поверхні крапельною рідиною було проведено перший етап експериментальних досліджень, схема та результати яких показано на рис. 1.

Як видно, кількість води, що відбирається із факельного простору плоскоструменевої форсунки [3, 4], істотно зростає зі збільшенням розмірів пластинки, закріпленої на кінці добірної трубки (вид II), в порівнянні з результатами траверсування «первинного» крапельного потоку (вид I).

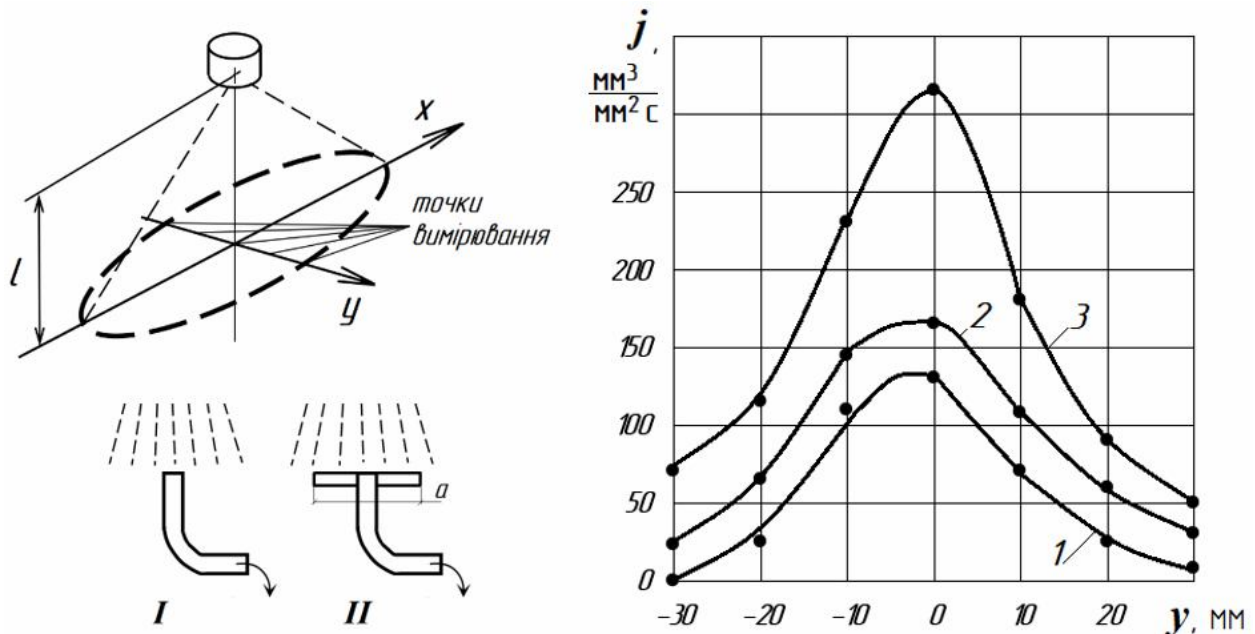


Рисунок 1 – Схема вимірювання та значення питомої витрати крапельної рідини, що надходить у добірну трубку з плоскофакельної форсунки ($l = 0,3$ м):

вид I та лінія 1 – у незбуреному краплинному потоці; вид II та лінія 2 – при встановленій на трубці квадратній пластинки розміром $a = 25$ мм; вид II та лінія 3 – при $a = 100$ мм

Аналогічні результати були отримані і при менших питомих витратах краплинної рідини, коли відбірник розміщувався на більшому віддаленні від форсунки, а також при водоповітряному диспергуванні [3–9].

Отримані результати підтверджують припущення, що в реальних умовах теплообмін на поверхні, що зрошується, залежить від надходження як «первинних» крапель, які дисперговані форсункою, так і «вторинної» рідини, що надходить з сусідніх ділянок у вигляді відбитих крапель і плівки.

Якщо приймальний отвір добірної трубки виступає над зрошуваною поверхнею більш ніж на 30 мм, потрапляння до нього «вторинної» рідини не спостерігалось.

Для роздільного та спільного вивчення окремих факторів, що формують гідродинамічну обстановку та, відповідно, умови теплообміну при зрошенні поверхні плоскофакельною форсункою, дослідження виконувались на установці, схема якої показана на рис. 2.

Дослідження умов тепловіддачі залежно від гідродинамічної обстановки на поверхні, що зрошується, виконувалося за допомогою альфа-калориметра (тепломіра). Робоча ділянка тепломіра виготовлялась з ніхромової стрічки перетином 15×1 мм, якою пропускався постійний струм від високоамперного мотор-генератора. Нижня та бічні поверхні стрічки були тепло- та вологоізовані.

Для забезпечення ізотермічності поверхні вимірювальної ділянки тепломіру розміром 12×15 мм з нижньої сторони стрічки з його країв виконані канавки місцевого

збільшення електричного опору, тобто, створення зон додаткового тепловиділення для компенсації витоків тепла по мідних струмопідводах.

Ізотермічність вимірювальної ділянки контролювалася за допомогою трьох термопар, встановлених по краях та в центрі робочої ділянки стрічки тепломіра. При цьому однойменні електроди крайніх термопар використовувалися для вимірювання падіння напруги U на досліджуваній ділянці стрічки. Питомий тепловий потік від поверхні вимірювальної ділянки визначався як $q = U \cdot I / F$, де I – сила струму, яка вимірювалася за допомогою шунта та вольтметра, F – площа тепловіддавальної поверхні.

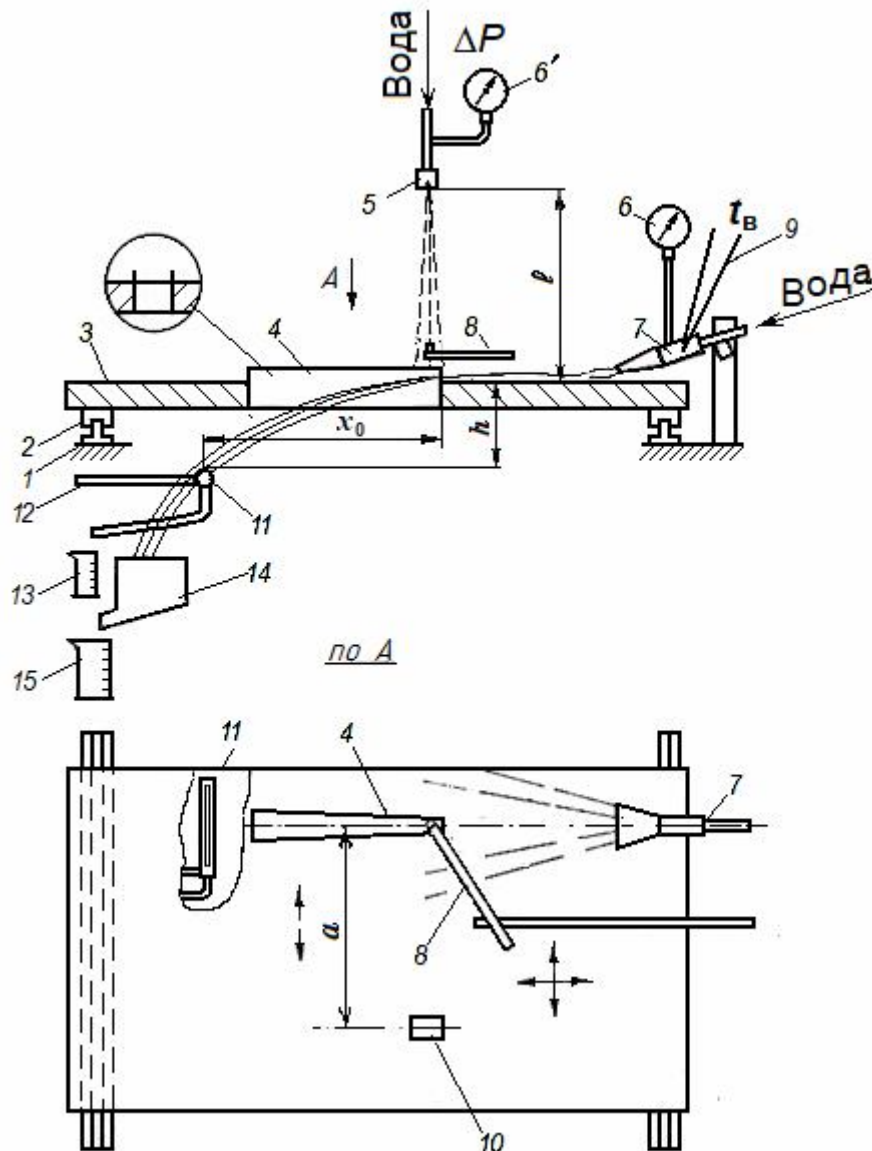


Рисунок 2 – Схема експериментальної установки:

- 1 – напрямні; 2 – салазки; 3 – рухомий стіл; 4 – вікно для сходу плівки води; 5 – форсунка;
6, 6' – манометри; 7 – щілинний генератор плівки води; 8 – відбірна трубка;
9 – термопара; 10 – тепломір; 11 – щілинний відбірник; 12 – бортштанга координатника щілинного відбірника; 13 – мірна ємність для щілинного відбірника; 14 – збірник плівки води;
15 – мірна ємність для плівки води

Середня термопара використовувалася для вимірювання температури нижньої поверхні стрічки. Для виключення впливу «крокової» різниці потенціалів показання термопар в силовий ланцюг включений перемикач полярності струму. Питомий тепловий потік та, відповідно, температура поверхні тепломіра змінювалася за рахунок сили струму.

Перерахунок значення температури нижньої поверхні стрічки t_0 до значення температури t_n верхньої поверхні, що охолоджується водою, здійснювався за формулою одномірного температурного поля з постійно діючими тепловими джерелами [10].

$$t_n = \frac{1}{b} + \sqrt{\left(t_0 + \frac{1}{b}\right)^2 - \frac{q \cdot \delta^2}{\lambda_0 \cdot b}}, \quad (1)$$

де δ – товщина стрічки тепломіру; q – питомий тепловий потік; λ_0 та b – параметри лінійної температурної залежності для питомої теплопровідності ніхрому $\lambda_t = \lambda_0 + b \cdot t$ (тут $t = 0,5(t_0 + t_n)$).

Дослідження проводилися за стаціонарної температури поверхні тепломіра. Значення коефіцієнта теплообміну визначалися з виразу $\alpha = q/(t_n - t_b)$, Вт/(м²К), де t_b – температура води, що вимірюється за допомогою термопар.

Гідродинамічні параметри, що формують умови теплообміну, під час проведення дослідів другого етапу досліджень включали вимірювання локальних витрат диспергованої води j , що надходить на тепломір, і перепаду тиску ΔP до та після плоскофакельної форсунки.

Локальні значення густини зрошення краплями поверхні під факелом плоскоструменевої форсунки вимірювалися за допомогою добірної трубки, що переміщується координатником. При цьому виключалося потрапляння до неї «вторинної» рідини.

У цих дослідях гідравлічні та теплові вимірювання проводилися по черзі.

Після вимірювання параметрів, що формують локальні умови зрошення поверхні, робочий стіл із встановленим на ньому тепломіром переміщався на величину a . При цьому умови зрошення тепломіра відповідали результатам гідравлічних вимірів. Робоча ділянка тепломіра, щоб уникнути потрапляння на неї «вторинної» рідини, також піднімалася над поверхнею столу на 50 мм.

Наступна (третя) серія дослідів присвячувалася дослідженню інтенсивності теплообміну при течії плівки води по поверхні, що охолоджується або нагрівається.

Подібна ситуація виникає на поверхні валка в камері його теплової підготовки під час руху плівки води між «плямами зрошення», створюваними сусідніми форсунками.

Для створення плівки води, що рухається площиною, передбачений щілинний дифузор, як показано на рис. 2. Плівка води сходить з кромки приймального отвору в столі, причому отвір обмежено буртиком. Ширина отвору 15 мм. Під дією гравітації плівка води вільно переміщується параболічною траєкторією. Швидкість сходження плівки води з кромки можна визначити як

$$w_0 = x_0 \sqrt{\frac{g}{2h}}, \quad (2)$$

тут x_0 та h – координати траєкторії вільного руху плівки води.

Рух плівки води після сходу з кромки має хвильовий характер, що призводить до стохастичного розсіювання витрати води за товщиною плівки. Тому для визначення координати x_0 використовувався відбірник із щільним приймальним отвором з координатником. При цьому визначався максимум у розподілі витрати води (яка відбирається щільним відбірником) уздовж осі x , що й було координатою x_0 .

За результатами дослідів можна визначити також і товщину плівки води δ , що сходить з кромки приймального отвору. Для цього також необхідно вимірювати витрати води, що надходить у вигляді плівки у мірну ємність. Так, у дослідях δ змінювалося від 1,14 до 2,19 мм [11, 12]. Але, як виявилось, у цих дослідях товщина плівки та швидкість її руху взаємопов'язані, зі збільшенням w спостерігалось зменшення δ . Тому товщина плівки в узагальнююче рівняння не вводилася.

Для переходу до теплових вимірів робочий стіл із тепломіром переміщався на величину a . При цьому на тепломір потрапляє плівка води з тими ж параметрами, що і при гідравлічних вимірах. Тепломір при цьому буде врівень із поверхнею столу.

На наступному, четвертому етапі роботи досліджувалася тепловіддача при спільному впливі на поверхню тепломіра крапельного потоку (що надходить з форсунки) і плівки води, що рухається.

При цьому, в тій точці робочого простору, куди буде переміщений тепломір, попередньо вимірювалися параметри крапельного потоку і плівки води, що рухається.

Робоча ділянка тепломіра була встановлена нарівні з поверхнею столу. Потім тепломір зі столом переміщався на величину a , і вимірювалася інтенсивність теплообміну при комплексному впливі на нього крапельного потоку та плівки води.

Дослідження інтенсивності тепловіддачі при натіканні «первинного» крапельного потоку на тепломір в залежності від умов зрошення проводилися при змінах густини зрошення $j = 1,5\text{--}62 \text{ мм}^3/(\text{мм}^2\text{с})$; температури поверхні тепломіра $t_{\text{п}} = 40\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$; перепаду тиску на плоскофакельній форсунці $\Delta P = 0,1\text{--}0,3 \text{ МПа}$, температури води $t_{\text{в}} = 20\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$.

В результаті багатофакторного аналізу експериментальних даних методом найменших квадратів отримано кореляційну залежність коефіцієнта теплообміну. $\alpha_{\text{к}}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$) від локальних умов зрошення виду

$$\alpha_{\text{к}} = 1083,1 \cdot j^{0,44} t_{\text{п}}^{0,48} \Delta P^{0,18}. \quad (3)$$

Слід зазначити, що у попередній роботі [2], де тиск змінювався у більшому діапазоні $\Delta P = 0,1\text{--}1 \text{ МПа}$, ступінь впливу тиску перед форсункою на інтенсивності охолодження було більшим, ніж у цих дослідях.

Дослідження теплообміну при течії плівки води по поверхні тепломіра проводилися за наступних параметрів: температура поверхні тепломіра $t_{\text{п}} = 40\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$; швидкість натікання плівки $w = 0,35\text{--}1,5 \text{ м/с}$ [11, 12].

Кореляційна залежність коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{\text{п}}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$) від температури поверхні та швидкості руху плівки води має вигляд

$$\alpha_{\text{п}} = 500,3 \cdot t_{\text{п}}^{0,59} w^{0,41}. \quad (4)$$

Дослідження тепловіддачі при спільній взаємодії з поверхнею теплообміну ру-

хомої плівки води і краплі, що натікає, показали, що інтенсивність тепловіддачі становить приблизно 80–90 % арифметичної суми коефіцієнтів, отриманих при роздільному натіканні плівки і крапель на тепломір.

Особливістю проведення реальних теплових вимірів у тому, що у них досліджується тепловіддача від нагрітої поверхні тепломіра до води. На практиці в камері теплової підготовки валків прокатних відбувається як охолодження, так і нагрівання валків гарячою водою. У цьому випадку, при визначенні коефіцієнта тепловіддачі, необхідно ввести поправку на відношення значень критерію Прандтля при температурах води t_v й поверхні валка, що гріється t_n , тобто Pr_v/Pr_n [10].

Висновки. Експериментально підтверджено, що при зрошенні поверхні за допомогою плоскоструменевої форсунки утворюються відбиті краплі і вода, що розтікається з «плями зрошення», які беруть участь у формуванні гідродинамічних умов теплообміну.

Відпрацьовано вимірювальні пристрої для проведення гідравлічних та теплотехнічних досліджень. Питома витрата диспергованої води вимірювалася добірною трубкою з наступним відведенням у мірну ємність, а питомий тепловий потік від нагрітої поверхні до охолоджувальної води визначався в стаціонарному режимі за допомогою тепломіра з вимірюванням сили постійного струму по ніхромовій стрічці та температури.

Під час проведення теплових вимірів забезпечувалася відповідність гідравлічних умов, які попередньо задавалися та вимірювалися перед тепловими дослідженнями.

В результаті дослідження та багатофакторного аналізу отримано кореляційну залежність коефіцієнта тепловіддачі від локальної густини зрошення, температури охолоджуваної поверхні та перепаду тиску на плоскофакельній форсунці.

Для досліджень теплообміну при течії плівки води на поверхні тепломіра відпрацьована методика вимірювання швидкості руху плівки води, що подається з щільного дифузора.

Експериментально отримана кореляційна залежність коефіцієнта тепловіддачі від швидкості руху плівки води та температури поверхні, що охолоджується.

Встановлено, що при сумісному впливі на поверхню теплообміну плівки, що рухається, води і краплинного потоку, що натікає, інтенсивність тепловіддачі становить приблизно 80-90% арифметичної суми коефіцієнтів, отриманих при розділенні плівки і крапель на тепломірі.

Результати роботи можуть бути використані при розрахунках термонапруженого стану прокатних валків, при проектуванні систем їх охолодження або нагрівання та відпрацюванні умов їх експлуатації.

Література

1. Bendig L., Raudensky M., Horský J. Spray Parameters and Heat Transfer Coefficients of Spray Nozzles for Continuous Casting // 78th Steelmaking, 54th Ironmaking, and 13th Process Technology Conferences, Nashville, TN, USA, April 2-5, 1995.
2. Mathematical Modelling of Roll Cooling and Roll Surface Stress / Jayanta Kumar SAHA and others // ISIJ International, Vol. 45 (2005), No. 11, pp. 1641–1650.
3. Братута Э.Г. Определение плотностей орошения при охлаждении в спрейерах // Сталь. 1983. С. 85–87.
4. Переселков А.Р., Каневский А.Л., Цзян Ш.Ц. Исследование теплообмена в

условиях охлаждения поверхности диспергированной водой // Известия вузов. Черная металлургия. 1983. № 11. С. 146–150.

5. Переселков А.Р. Теплообмен при импульсной подаче диспергированной воды на высокотемпературную поверхность // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2011. №5. С. 118–120.

6. Исследование дисперсного состава капель при распылении жидкости пневматическими форсунками / А.Р. Переселков, Г.И. Белов, О.В. Белокоп, Л.Е. Петрухина // Энергетическое машиностроение. 1980. Вып. 29. С. 90–94.

7. Переселков О.Р., Круглякова О.В. Деякі способи зміни структури крапельного потоку при диспергуванні води плоскоструменними форсунками // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2020. № 1(3). С. 24–29.

8. Переселков А.Р. Методика и результаты исследования теплообмена при разном ориентировании высокотемпературной поверхности, охлаждаемой диспергированной водой // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2015. № 17(1126). С. 88–90.

9. Исследование условий орошения слитка на модели роликовой секции МНЛЗ / А.Р. Переселков, Н.В. Сагайдак, А.Л. Нагорный, С.И. Сень // Интенсификация охлаждения и использования тепловых отходов черной металлургии. М.: Металлургия, 1987. С. 21–26.

10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 415 с.

11. Переселков О.Р., Круглякова О.В. Експериментальне дослідження теплообміну між плівкою води й поверхнею прокатного валка в камері теплової підготовки // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2021. № 4(8). С. 42–46.

12. Братута Э.Г. Заночкин Л.А., Павленко Н.С. Метод исследования гидродинамики пленки жидкости при спрейерном охлаждении листа // Известия вузов. Черная металлургия. 1982. № 4. С. 126–129.

Bibliography (transliterated)

1. Bendig L., Raudensky M., Horský J. Spray Parameters and Heat Transfer Coefficients of Spray Nozzles for Continuous Casting // 78th Steelmaking, 54th Ironmaking, and 13th Process Technology Conferences, Nashville, TN, USA, April 2-5, 1995.

2. Mathematical Modelling of Roll Cooling and Roll Surface Stress / Jayanta Kumar SAHA and others // ISIJ International, Vol. 45 (2005), No. 11, pp. 1641–1650.

3. Bratuta E.G. Opredelenie plotnostej orosheniya pri ohlazhdenii v sprejakh // Stal. 1983. P. 85-87.

4. Pereselkov A.R., Kanevskij A.L., Czyan Sh. C. Issledovanie teploobmena v usloviyah ohlazhdeniya poverhnosti dispergirovannoj vodoj // Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya. 1983. № 11. P. 146–150.

5. Pereselkov A.R. Teploobmen pri impulsnoj podache dispergirovannoj vody na vysokotemperaturnuyu poverhnost // Visnyk NTU «KhPI». Serii: Enerhetychni ta teploekhnichni protsesy y ustatkuvannia. 2011. №5. P. 118–120.

6. Issledovanie dispersnogo sostava kapel pri raspylenii zhidkosti pnevmaticheskimi forsunkami / A.R. Pereselkov, G.I. Belov, O.V. Belokon, L.E. Petruhina // Energeticheskoe mashinostroenie. 1980. Vyp. 29. P. 90–94.

7. Peresolkov O.R., Kruhliakova O.V. Deiaki sposoby zminy struktury krapelnogo potoku pry dysperhuvanni vody ploskostrumennymy forsunkamy // Visnyk NTU «KhPI». Serii: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia. 2020. № 1(3). P. 24–29.
8. Peresolkov A.R. Metodika i rezultaty issledovaniya teploobmena pri raznom orientirovanii vysokotemperaturnoj poverhnosti, ohlazhdaemoj dispergirovannoju vodoj // Visnyk NTU «KhPI». Serii: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia. 2015. № 17(1126). P. 88–90.
9. Issledovanie uslovij orosheniya slitka na modeli rolikovoj sekcii MNLZ / A.R. Peresolkov, N.V. Sagajdak, A.L. Nagornyj, S.I. Sen // Intensifikaciya ohlazhdeniya i ispolzovaniya teplovyh othodov chernoj metallurgii. M.: Metallurgiya, 1987. P. 21–26.
10. Isachenko V.P., Osipova V. A., Sukomel A. S. Teploperedacha. M.: Energoizdat, 1981. 415 p.
11. Peresolkov O.R., Kruhliakova O.V. Eksperymentalne doslidzhennia teploobminu mizh plivkoju vody y poverkhnei prokatnogo valka v kameri teplovoi pidhotovky // Visnyk NTU «KhPI». Serii: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia. 2021. № 4(8). P. 42–46.
12. Bratuta E.G. Zanochnik L.A., Pavlenko N.S. Metod issledovaniya gidrodinamiki plenki zhidkosti pri sprejnom ohlazhdenii lista // Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya. 1982. № 4. P. 126–129.

УДК 621.771.2

Пересьолков О.Р., Круглякова О.В.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ АКТИВ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ КРАПЕЛЬ І ПЛІВКИ ВОДИ З ПОВЕРХНЕЮ ПРОКАТНОГО ВАЛКУ

Проведено експериментальні дослідження граничних умов теплообміну для термонапруженого стану прокатних валків під час їх обробки в установці теплової підготовки під час зрошення поверхні плоскофакельними форсунками.

Показано, що гідродинамічні умови на поверхні, що зрошується, формуються як в результаті надходження з плоскофакельної форсунки «первинної» диспергованої води, так і «вторинної» рідини, що надходить із сусідніх ділянок у вигляді відбитих крапель і плівок.

Вплив на теплообмін окремих факторів, що формують гідродинамічні умови на зрошувальній поверхні, вивчався окремо.

Інтенсивність тепловіддачі досліджувалася залежно від густини зрошення, перепаду тиску на плоскофакельній форсунці та температури охолоджуваної поверхні при натіканні «первинного» крапельного потоку на поверхню теплообміну. Локальні значення густини зрошення краплями поверхні під факелом плоскофакельної форсунки вимірювалися за допомогою добірної трубки, що переміщується координатником. При цьому виключалося потрапляння до неї «вторинної» рідини.

Питомий тепловий потік та коефіцієнт тепловіддачі визначався за допомогою тепломіра, виконаного з ніхромової стрічки, що нагрівається постійним струмом. При цьому забезпечувалась ізотермічність поверхні вимірювальної ділянки. Термопарами вимірювали температуру нижньої поверхні стрічки, і потім розраховувалася стаціонарна температура верхньої зрошуваної краплями поверхні тепломіра.

В результаті багатофакторного аналізу експериментальних даних отримано кореляційну залежність коефіцієнта теплообміну від локальних умов зрошення поверхні тепломіра.

Також проводилися дослідження теплообміну під час течії плівки води поверхнею тепломіра. Аналогічна ситуація має місце при розтіканні води із зон зрошення поверхні валка сусідніми плоскофакельними форсунками.

Отримана кореляційна залежність коефіцієнта тепловіддачі від швидкості руху плівки води та температури поверхні, що охолоджується.

Дослідження тепловіддачі при спільній взаємодії з поверхнею теплообміну плівки води, що рухається, і крапельного потоку, що надходить від плоскофакельної форсунки, показали, що інтенсивність тепловіддачі становить приблизно 80-90 % від арифметичної суми коефіцієнтів, отриманих при роздільному охолодженні тепломіра краплями і плівкою води.

Ключові слова: прокатні валки, нагрів, охолодження, тепловіддача, крапельний потік, плівка води, добірник крапель, тепломір, рівняння теплообміну.

Переселков А.Р., Круглякова О.В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ АКТОВ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КАПЕЛЬ И ПЛЕНКИ ВОДЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРОКАТНОГО ВАЛКА

Проведены экспериментальные исследования граничных условий теплообмена для термонапряженного состояния прокатных валков во время их обработки в установке тепловой подготовки при орошении поверхности плоскофакельными форсунками.

Показано, что гидродинамические условия на орошаемой поверхности формируются как в результате поступления из плоскофакельной форсунки «первичной» диспергированной воды, так и «вторичной» жидкости, поступающей из соседних участков в виде отраженных капель и пленок.

Влияние на теплообмен отдельных факторов, формирующих гидродинамические условия на орошаемой поверхности, изучалось отдельно.

Интенсивность теплоотдачи исследовалась в зависимости от плотности орошения, перепада давления на плоскофакельной форсунке и температуры охлаждаемой поверхности при натекании «первичного» капельного потока на поверхность теплообмена. Локальные значения плотности орошения каплями поверхности под факелом плоскофакельной форсунки измерялись с помощью отборной трубки, перемещаемой координатником. При этом исключалось попадание в нее «вторичной» жидкости.

Удельный тепловой поток и коэффициент теплоотдачи определялся с помощью тепломера, выполненного из нихромовой ленты, нагреваемой постоянным током. При этом обеспечивалась изотермичность поверхности измерительного участка. Термопарами измерялись температура нижней поверхности ленты, и затем рассчитывалась стационарная температура верхней орошаемой каплями поверхности тепломера.

В результате многофакторного анализа экспериментальных данных получена корреляционная зависимость коэффициента теплообмена от локальных условий орошения поверхности тепломера.

Также проводились исследования теплообмена при течении пленки воды по поверхности тепломера. Аналогичная ситуация имеет место при растекании воды из зон орошения поверхности валка соседними плоскофакельными форсунками.

Получена корреляционная зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости движения пленки воды и температуры охлаждаемой поверхности.

Исследования теплоотдачи при совместном взаимодействии с поверхностью теплообмена движущейся пленки воды и капельного потока, поступающего от плоскофакельной форсунки, показали, что интенсивность теплоотдачи составляет примерно 80–90 % от арифметической суммы коэффициентов, полученных при отдельном охлаждении тепломера каплями и пленкой воды.

Ключевые слова: прокатные валки, нагрев, охлаждение, теплоотдача, капельный поток, пленка воды, отборник капель, тепломер, уравнение теплообмена.

Pereselkov A.R., Kruglyakova O.V.

EXPERIMENTAL STUDY OF ELEMENTARY ACTS OF HYDRODYNAMICS AND HEAT TRANSFER DURING THE INTERACTION BETWEEN WATER DROPS AND FILM AND CASTING ROLLER SURFACE

Experimental studies of the boundary conditions of heat transfer for the thermally stressed state of casting rollers while are spraying with flat-jet nozzles in a thermal preconditioning unit have been carried out.

It is shown that the hydrodynamic conditions on the sprinkling surface are formed as a result of both the influx of "primary" dispersed water from the flat jet nozzle, and the "secondary" liquid coming from neighboring areas in the form of reflected drops and films.

The heat transfer effecting individual factors that form the hydrodynamic conditions on the sprinkling surface was studied separately.

The heat transfer intensity was studied depending on the spraying density, the injection-pressure drop and the temperature of the cooled surface when the "primary" drop flow runs in the heat exchange surface. The local sprinkling density of droplets on the surface under the flat-jet nozzle spray were measured using a sampling tube moved by a coordinator. At the same time, the ingress of "secondary" liquid into it was excluded.

The specific heat flux and heat transfer coefficient were determined using a heat meter made of a nichrome tape heated by direct current. In this case, the isothermality of the surface of the measuring section was ensured. Thermocouples measured the temperature of the lower surface of the tape, and then the stationary temperature of the upper surface of the heat meter sprinkled with drops is calculated.

As a result of the multivariate analysis of the experimental data, the correlation dependence of the heat transfer coefficient in dependence on the local spraying conditions of the heat meter surface was obtained.

Also, studies of the heat transfer during water film flow over the heat meter surface were carried out. A similar situation takes place when water spreads between the adjacent nozzles sprinkling zones of the roller surface.

The correlation dependence between the heat transfer coefficient, the water film speed and the cooled surface temperature was obtained.

Studies of heat transfer during combined influence of moving water film and a flat-jet nozzle drop flow on the heat exchange surface showed that the heat transfer rate is approximately 80–90 % of the arithmetic sum of the coefficients obtained by separate cooling the heat meter with drops and a water film.

Keywords: casting rollers, heating, cooling, heat transfer, drop flow, water film, drop sampling tube, heat meter, heat transfer equation.

Алексахін О.О.¹, к.техн.н., доцент, Круглякова О.В.², к.техн.н., доцент,
Бобловський О.В.³, асистент

ОЦІНКИ ЗМІНИ ПЛОЩІ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ПУНКТІВ ПРИ ЗМІНІ ГРАФІКА ТЕМПЕРАТУР РОЗПОДІЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

³Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Ключові слова: централізоване тепlopостачання, реформування систем тепlopостачання, приєднання системи опалення до теплових мереж, індивідуальний тепловий пункт, пластинчастий теплообмінний апарат, тепловий розрахунок теплообмінника.

Необхідність зменшення втрат теплової енергії в розподільних теплових мережах обумовила появу і розвиток ідеї переходу від традиційної чотиритрубною схеми забезпечення теплотою будівель мікрорайону до двотрубною. Оцінки можливого зменшення теплових втрат теплопроводами у результаті такого реформування централізованого тепlopостачання мікрорайонної забудови проведено у роботах [1, 2]. Умовою реалізації двотрубною схеми є реконструкція індивідуальних теплових пунктів (ІТП) будівель з встановленням на них теплообмінних апаратів для систем опалення і циркуляційних насосів гарячого водопостачання, контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматики [3]. Часто при реконструкції переходять з залежної схеми приєднання системи опалення будівлі на незалежну, замінюючи водоструминні елеватори на теплообмінні апарати. При переході до двотрубною схеми тепlopостачання житлової групи виникає необхідність транспортування трубопроводами теплової мережі збільшених витрат теплоносія з урахуванням теплового навантаження і опалення, і гарячого водопостачання будівель. Забезпечити проходження збільшених витрат мережної води можливо або реконструкцією мережі з метою збільшення діаметрів теплопроводів, або з використанням існуючої мережі без її реконструкції. Недоліком другого варіанта є збільшення втрат тиску і витрат на прокачування мережної води.

Підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій будівель, завдяки чому зменшуються опалювальне навантаження і витрати мережної води для систем опалення, може забезпечити подачу необхідної кількості води для тепlopостачання утеплених будівель без заміни існуючої мережі розподільних теплопроводів. Тому обов'язковою умовою переведення існуючих чотиритрубних систем розподільних мереж на двотрубні необхідно розглядати попереднє утеплення будівель. Сучасні технології і номенклатура теплоізоляційних матеріалів дозволяють забезпечити діючі вимоги до рівня теплозахисту будівельних конструкцій і зменшити теплові втрати приміщеннями на 25–35 % [4, 5]. Подачу зменшених витрат теплоти на опалення приміщень утеплених будівель доцільно забезпечувати зниженням температури мережної води на вході до системи опалення. При утепленні окремих споруд житлової забудови це мож-

ливо виконати корегуванням теплової продуктивності опалюваних теплообмінних апаратів, встановлених на індивідуальних теплових пунктах цих споруд. При утепленні всіх будівель житлової групи доцільним є перехід на новий, знижений температурний графік відпуску теплоти до мікрорайонної теплової мережі. При цьому слід очікувати зменшення втрат теплоти у розподільних теплових мережах і зміну сумарної поверхні теплопередачі встановлених на ІТП теплообмінних апаратів.

Метою дослідження є отримання розрахункових залежностей для оцінки впливу зміни температурного графіка регулювання відпуску теплоти до розподільних теплових мереж на площу поверхні теплопередачі теплообмінних апаратів індивідуальних теплових пунктів.

Площу поверхні теплопередачі при тепловому розрахунку теплообмінного апарату визначають з рівняння теплопередачі залежно від величини розрахункового теплового навантаження апарату Q_a , коефіцієнта теплопередачі k_p , середньої логарифмічної різниці температур речовин у теплообміннику $\Delta \bar{t}_a$ [6]

$$F = Q_a / (k_p \Delta \bar{t}_a). \quad (1)$$

Температуру води у подавальному трубопроводі теплових мереж τ_{c1} й у зворотному трубопроводі τ_{c2} , необхідну для роботи опалювального теплообмінного апарату, можна визначити як перевищення температури води на вході і виході системи опалення на відповідні значення $\Delta \tau_1$ та $+\Delta \tau_2$ за формулами

$$\tau_{c1} = \tau_{3H} + \Delta \tau_1, \quad (2)$$

$$\tau_{c2} = \tau_{2H} + \Delta \tau_2. \quad (3)$$

Для визначення температури мережної води на вході й виході системи опалення утепленої будівлі використано запропоновані у роботі [7] рівняння

$$\tau_{3H} = [0,5(\tau_3 + \tau_2)] \mu^{0,8} + (\tau_3 - \tau_2) \mu + t_{BH}, \quad (4)$$

$$\tau_{2H} = \tau_{3H} - (\tau_3 - \tau_2) \mu, \quad (5)$$

де t_{BH} – температура внутрішнього повітря у приміщеннях; τ_3 , τ_2 – температури мережної води на вході й виході системи опалення неутепленої будівлі.

Коефіцієнт μ враховує зменшення витрат теплоти на опалення внаслідок утеплення будівлі

$$\mu = Q_{o.n.} / Q_{o.p.}, \quad (6)$$

де $Q_{o.p.}$ – витрати теплоти на опалення будівлі до її утеплення при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря у конкретній місцевості [8]; $Q_{o.n.}$ – те ж саме після утеплення будівлі.

Вибір величини розрахункових різниць температур мережної води (перевищення температури води у мікрорайонній мережі над температурою теплоносія у системі опалення будівлі) Δt_1 і Δt_2 суттєво впливає на техніко-економічні показники роботи системи тепlopостачання. Збільшення вказаної величини, з одного боку, обумовлює зменшення капітальних вкладень у реконструкцію системи внаслідок зменшення потрібної площі поверхні опалювального теплообмінника, з другого боку – зростання експлуатаційних витрат через збільшення втрат теплоти трубопроводами розподільної теплової мережі. Особливість температурного графіка відпуску теплоти споживачам при наявності двотрубних розподільних мереж полягає у необхідності подачі мережної води до об'єктів не тільки впродовж опалювального періоду, але також і в літній період року для забезпечення навантажень гарячого водопостачання. Для нагріву води для господарсько-побутових потреб до 55 °C [9] температура мережної води не повинна бути менше 60 °C. Тому графік зміни температури мережної води залежно від температури зовнішнього повітря при регулюванні за сумісним навантаженням буде мати точку зламу при переході з літнього періоду до опалювального. Варіювання значень різниці температур Δt_1 обумовлює зміщення точки зламу температурного графіка і зміну середньорічної температури мережної води у подавальному трубопроводі розподільної теплової мережі.

Теплову продуктивність теплообмінного апарату для відмінних від розрахункового режимів визначають з рівняння [10]

$$Q_{o.n.} = \varepsilon W_m \Delta t_{max}, \quad (7)$$

де ε – відносна питома безрозмірна теплова продуктивність теплообмінного апарату; W_m – менший з теплових еквівалентів витрат теплоносіїв у теплообміннику; Δt_{max} – максимальна різниця температур середовищ у теплообмінному апараті.

Відносну питому теплову продуктивність протиточного рекуперативного теплообмінника можна визначити зі співвідношення [10]

$$\varepsilon = \left(0,35 \frac{W_m}{W_6} + 0,65 + \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{W_m}{W_6}} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де W_6 – більший з теплових еквівалентів витрат теплоносіїв у теплообміннику

Параметр теплообмінного апарату Φ визначають залежно від коефіцієнта теплопередачі у розрахунковому режимі k_p , площі поверхні теплообміну апарата F і розрахункових значень еквівалентів менших (W_{mp}) і більших (W_{bp}) витрат теплоносіїв в апараті

$$\Phi = (k_p \cdot F) / \sqrt{W_{mp} W_{bp}}. \quad (9)$$

Результат розв'язання рівнянь (7)–(9) доцільно подати у вигляді окремих рівнянь при $W_m = W_{o.p.}$ ($W_{o.p.}$ – тепловий еквівалент витрат теплоносія через внутрішню систему опалення утепленої будівлі) і при $W_m = W_{ch}$ (W_{ch} – еквівалент витрат нагрівного теплоносія з теплових мереж). Формули для визначення площі поверхні теплопередачі теп-

лообмінника наведені у табл. 1. Техніко-економічні оцінки варіантів підігрівної установки зручно проводити, порівнюючи її показники з характеристиками деякого базового варіанта. Як такий варіант прийнято пластинчастий теплообмінний апарат, розрахований для умов $\Delta\tau_1 = \Delta\tau_2 = \Delta\tau_0 = 10^\circ\text{C}$. Формули для обчислення зміни площі поверхні теплопередачі підігрівника при незалежному приєднанні систем опалення для довільних значень різниць температур подано в табл. 1.

Таблиця 1 – Формули для оцінок зміни площі поверхні теплопередачі теплообмінного апарату

Умови застосування	Формула	Номер формули
$W_M = W_{o.p.}$	$F = \mu \theta_p / k (0,65\Delta\tau_1 + 0,35\Delta\tau_2)$	10
	$F/F_0 = (k_0/k) \Delta\tau_0 / (0,65\Delta\tau_1 + 0,35\Delta\tau_2)$	11
$W_M = W_{сн}$	$F = \mu \theta_p / k [(\Delta\tau_1 + (\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2)(0,35 + \Delta\tau_1/\mu \theta_p))]$	12
	$F/F_0 = (k_0/k) \Delta\tau_0 / [(\Delta\tau_1 + (\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2)(0,35 + \Delta\tau_1/\mu \theta_p))]$	13

У формулах (11), (13) F_0 і k_0 – площа поверхні й коефіцієнт теплопередачі для базового апарату відповідно.

Коефіцієнт теплопередачі в теплообміннику обчислюють за значеннями коефіцієнтів тепловіддачі з боку нагрівного (α_r) і холодного (α_x) середовищ. З урахуванням впливу термічного опору можливих відкладень на стінках пластин апарату r формула для коефіцієнта теплопередачі має вигляд.

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_x} + r + \frac{1}{\alpha_r} \right)^{-1}. \quad (14)$$

Коефіцієнти тепловіддачі для теплообмінних апаратів визначають з критеріальних рівнянь [10–12]

$$Nu = A Re^n Pr^m (Pr / Pr_{ст})^{0,24}, \quad (15)$$

де $Nu = \alpha D_e / \lambda$ – критерій Нуссельта; α – коефіцієнт тепловіддачі; D_e – еквівалентний діаметр каналу для руху середовищ; λ – коефіцієнт теплопровідності середовища; A , n , m – експериментально визначені значення множника і показника ступеню; Re – критерій Рейнольдса; Pr – критерій Прандтля для середовища при його середній температурі у каналі теплообмінника; $Pr_{ст}$ – критерій Прандтля для середовища при температурі стінки каналу.

Після перетворень формула для коефіцієнту теплопередачі приймає вигляд

$$k = \frac{K_T \omega_x^{0,73} \left(\lambda_x^{0,6} \nu_x^{0,33} C_x^{0,4} \rho_x^{0,4} \right)}{1 + \left(\frac{\lambda_x}{\lambda_r} \right)^{0,6} \left(\frac{\nu_x}{\nu_r} \right)^{0,33} \left(\frac{C_x}{C_r} \right)^{0,4} \left(\frac{\rho_x}{\rho_r} \right)^{0,4} \left(\frac{w_x}{w_r} \right)^{0,73}}, \quad (16)$$

де $K_T = A D_e^{-0,27}$ – коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей теплообмінника; v_x, v_T – коефіцієнт кінематичної в'язкості «холодного» і нагрівного середовищ відповідно; C_x, C_T – питома теплоємність середовищ; ρ_x, ρ_T – густина середовищ; λ_x, λ_T – коефіцієнт теплопровідності середовищ; ω_x, ω_T – швидкість руху середовищ у каналах теплообмінного апарату.

Оптимальне значення швидкості води в каналах пластинчастих теплообмінників, що використовують у системах тепlopостачання, становить орієнтовно 0,2–0,4 м/с [11]. Забезпечується необхідна швидкість для кожного з середовищ відповідним вибором при розрахунку апарату кількості пакетів і каналів у кожному пакеті. Якщо при проектуванні теплообмінника забезпечено умову оптимальності швидкостей середовищ у каналах, відмінність значень коефіцієнтів теплопередачі при порівнянні двох варіантів виконання апарату, що відрізняються тільки температурними режимами, обумовлена відношенням теплофізичних властивостей середовищ. Для робочого діапазону температур води у теплообміннику, який здійснює приєднання системи опалення утепленої будівлі до теплових мереж, вказана відмінність незначна. При значеннях коефіцієнта ефективності утеплення будівлі $\mu = 0,6$ і виконанні умови забезпечення оптимальних швидкостей води у каналах «базового» варіанта і варіанта, що аналізується, відмінність коефіцієнтів теплопередачі для варіантів становить приблизно 1 %, що менше похибки критеріальних рівнянь для обчислення коефіцієнтів тепловіддачі. У подальшому аналізі прийнято, що відношення коефіцієнтів теплопередачі у рівняннях (11), (13) $k_0/k = 1$.

Результати обчислень площі поверхні теплопередачі опалювального теплообмінника за наведеними у табл. 1 формулами подано на рис. 1.

Графічні залежності на рис. 1,а ілюструють зміну площі теплопередачі при співвідношенні витрат середовищ через теплообмінник $W_M = W_{o.p.}$, графіки на рис. 1,б – при $W_M = W_{ch}$. Другий випадок вбачається більш вірогідним для умов роботи опалювального теплообмінного апарату. У табл. 2 подано значення різниць температур $\Delta\tau_1$ та $\Delta\tau_2$, при яких слід очікувати зменшення площі поверхні теплообмінника.

Таблиця 2 – Діапазони розрахункових різниць температур $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2$, при яких можливе зменшення площі поверхні теплообмінника

$\Delta\tau_2, ^\circ\text{C}$	$\Delta\tau_1$ при співвідношенні витрат речовин через апарат	
	$W_M = W_{ch}$	$W_M = W_{o.p.}$
$5 \leq \Delta\tau_2 \leq 10 ^\circ\text{C}$	$> 5 ^\circ\text{C}$	
$10 < \Delta\tau_2 \leq 15 ^\circ\text{C}$	$\geq 10 ^\circ\text{C}$	$> 7 ^\circ\text{C}$
$15 < \Delta\tau_2 \leq 20 ^\circ\text{C}$	$> 12 ^\circ\text{C}$	$> 10 ^\circ\text{C}$

Отримані дані свідчать, що, незалежно від співвідношення витрат середовищ через теплообмінник, зменшення площі поверхні теплопередачі слід очікувати при розрахункових різницях температур $5 \leq \Delta\tau_2 \leq 10 ^\circ\text{C}$, $\Delta\tau_1 > 5 ^\circ\text{C}$. У діапазоні значень $10 < \Delta\tau_2 \leq 15 ^\circ\text{C}$ зменшення поверхні можливе при $\Delta\tau_1 > 10 ^\circ\text{C}$ для $W_M = W_{ch}$ і при $\Delta\tau_1 > 7 ^\circ\text{C}$ для $W_M = W_{o.p.}$ У випадку, якщо прийнято діапазон $15 < \Delta\tau_2 \leq 20 ^\circ\text{C}$, менше значення площі теплопередачі слід очікувати при $\Delta\tau_1 > 12 ^\circ\text{C}$ для $W_M = W_{ch}$ і при

$\Delta\tau_1 > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ для $W_M = W_{o.p.}$. Рекомендації можуть бути використані при формуванні оптимального температурного графіка якісного регулювання централізованого теплопостачання будівель мікрорайону після завершення робіт з їх утеплення.

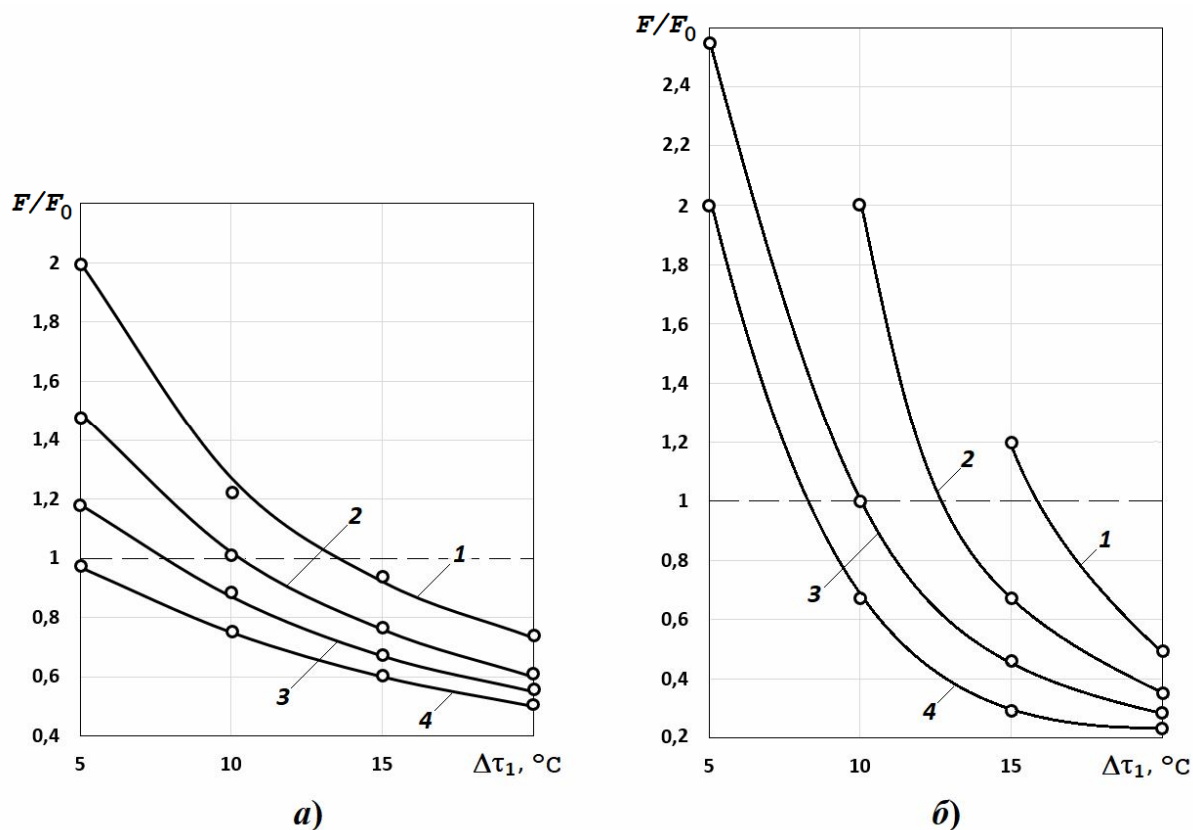


Рисунок 1 – Зміна площі теплопередачі опалювального теплообмінника ІТП утепленої будівлі ($\mu = 0,6$) залежно від різниці температур $\Delta\tau_1$ та $\Delta\tau_2$:

a – за умови $W_M = W_{o.p.}$, b – за умови $W_M = W_{ch}$

1 – $\Delta\tau_2 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $\Delta\tau_2 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $\Delta\tau_2 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $\Delta\tau_2 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Висновки

1. Отримано формули для врахування впливу температури мережної води на площу поверхні теплопередачі теплообмінного апарату при незалежній схемі приєднання системи опалення утепленої будівлі до розподільних теплових мереж.

2. Розроблено рекомендації щодо вибору розрахункових різниць температур мережної води, при яких слід очікувати зменшення площі поверхні теплопередачі пластинчастих апаратів індивідуальних теплових пунктів утеплених будівель. При виборі розрахункових різниць температур мережної води необхідно враховувати величину співвідношення теплових еквівалентів витрат середовищ через теплообмінний апарат.

Література

1. Алексахин А.А., Бобловский А.В. Оценка изменения характеристик микро-районной тепловой сети при переходе к двухтрубной системе теплоснабжения с учетом

возможного утепления зданий. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2015. Вип. 153. С. 128–132.

2. К вопросу оценки эффективности перехода к двухтрубной системе теплоснабжения / А.А. Алексахин и др. Интегровані технології та енергозбереження. 2016. №3. С. 35–41.

3. Бобух А.О. Автоматизація інженерних систем: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2005. 212 с.

4. Маляренко В.А. Основы теплофизики будівель та енергозбереження. – Харків: САГА. 2006. 484 с.

5. Алексахин А.А., Бобловский А.В. Оценка энергосберегающего потенциала функционирующих жилых зданий. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. №1(95). С. 10–15.

6. Wong H.Y. Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers. Longman, London and New York, 1977. 236 p.

7. Особенности утепления групп зданий при централизованном теплоснабжении / А.А. Алексахин и др. Интегровані технології та енергозбереження. 2018. №3. С. 27–34.

8. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 [Дата введення 2011-11-01] / Мінрегіонбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2011.–123 с.

9. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні // Керівний технічний матеріал 204 України. 244-94. 1995. 636 с.

10. Пластинчатые теплообменники в промышленности / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ и др.; под общ. ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКОГО. Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. 232 с.

11. Тарадай А.М. Основы разработки пластинчатых теплообменников для систем теплоснабжения. Харьков: Основа, 1998. 192 с.

12. Методические указания по тепловым и гидравлическим расчетам пластинчатых теплообменников (водонагревателей), применяемых в системах теплоснабжения. – Киев, 1998. – 49 с.

Bibliography (transliterated)

1. Aleksahin A.A., Boblovskiy A.V. Otsenka izmeneniya harakteristik mikrorayonnoy teplovoy seti pri perehode k dvuhtrubnoy sisteme teplosnabzheniya s uchetom vozmozhnogo utepleniya zdaniy. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu. 2015. Vyp. 153. P. 128–132.

2. K voprosu otsenki effektivnosti perehoda k dvuhtrubnoy sisteme teplosnabzheniya / A.A. Aleksahin i dr. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2016. №3. P. 35–41.

3. Bobukh A.O. Avtomatyzatsiia inzhenernykh system: navch. posibnyk. Kharkiv: KhNAMH, 2005. 212 p.

4. Maliarenko V.A. Osnovy teplofizyky budivel ta enerhozberezhennia. – Kharkiv: SAHA. 2006. 484 p.

5. Aleksahin A.A., Boblovskiy A.V. Otsenka energosberegayuschego potentsiala funktsioniruyushchih zhilyih zdaniy. Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. – 2012. №1(95). P. 10–15.

6. Wong H.Y. Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers. Longman, London and New York, 1977. 236 p.

7. Osobennosti utepleniya grupp zdaniy pri tsentralizovannom teplosnabzhenii / A.A. Aleksahin i dr. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2018. №3. P. 27–34.
8. Budivelna klimatolohiia: DSTU-N B V.1.1–27:2010 [Data vvedennia 2011-11-01] / Minrehionbud Ukrainy. K.: Ukrarkhbudininform, 2011. 123 p.
9. Normy ta vказivky po normuvanniu vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarsko-pobutovi potreby v Ukraini // Kerivnyi tekhnichnyi material 204 Ukrainy. 244-94. 1995. 636 p.
10. Plastinchatyie teploobmenniki v promyshlennosti / L.L. Tovazhnyanskyi i dr.; pod obsch. red. L.L. Tovazhnyanskogo. Harkov: NTU «HPI», 2004. 232 p.
11. Taraday A.M. Osnovy razrabotki plastinchatyih teploobmennikov dlya sistem teplosnabzheniya. Harkov: Osnova, 1998. 192 p.
12. Metodicheskiye ukazaniya po teplovym i gidravlicheskim raschetam plastinchatykh teploobmennikov (vodonagrevateley), primenyayemykh v sistemakh teplosnabzheniya. – Kiyev, 1998. – 49 p.

УДК 658.264

Алексахін О.О., Круглякова О.В., Бобловський О.В.

ОЦІНКИ ЗМІНИ ПЛОЩІ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ПУНКТІВ ПРИ ЗМІНІ ГРАФІКА ТЕМПЕРАТУР РОЗПОДІЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

Розглянуто особливості функціонування централізованих систем теплопостачання житлових мікрорайонів при проведенні робіт з «утеплення» існуючих будівель. Проаналізовано вплив температури теплоносія у розподільній тепловій мережі мікрорайону на величину площі поверхні теплопередачі теплообмінних апаратів, які використовують у схемах індивідуальних теплових пунктів при незалежному приєднанні систем опалення будівель до теплових мереж. Оцінки проведено для пластинчастого теплообмінного апарату з протиточною схемою руху теплоносіїв. Отримано формули для обчислення зміни площі теплообміну підігрівника мережної води відносно площі розрахункового «базового» варіанту виконання апарату залежно від величини перевищення температури води у мікрорайонній мережі над температурою теплоносія у системі опалення будівлі. При визначенні коефіцієнтів теплообміну у каналах теплообмінників використано відомі критеріальні рівняння для таких найбільш вживаних у системах теплопостачання теплообмінників, якими є пластинчасті апарати. У запропонованих формулах враховано вплив величини співвідношення теплових еквівалентів витрат середовищ через теплообмінний апарат і зменшення витрат теплоти на опалення внаслідок утеплення будівлі. Оцінку зменшення опалювального навантаження проведено за умови забезпечення при термомодернізації будівлі, що споруджена за нормами, які були чинними декілька десятиліть тому, сучасних вимог до величини термічного опору будівельних конструкцій. Аналіз результатів обчислень дозволив сформулювати рекомендації щодо вибору розрахункових різниць температур мережної води, при яких слід очікувати зменшення площі поверхні теплопередачі пластинчастих апаратів індивідуальних теплових пунктів утеплених будівель. Запропоновані рекомендації можуть бути корисними при розробці графіка якісного регулювання відпуску теплоти до систем

централізованого теплопостачання будівель мікрорайону після завершення робіт з їх утеплення.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, реформування систем теплопостачання, приєднання системи опалення до теплових мереж, індивідуальний тепловий пункт, пластинчастий теплообмінний апарат, тепловий розрахунок теплообмінника

Алексахин А.А., Круглякова О.В., Бобловский А.В.

**ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ
ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГРАФИКА ТЕМПЕРАТУР
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ**

Рассмотрены особенности функционирования централизованных систем теплоснабжения жилых микрорайонов при проведении работ по «утеплению» находящихся в эксплуатации зданий. Проанализировано влияние температуры теплоносителя в распределительной тепловой сети микрорайона на величину площади поверхности теплопередачи теплообменных аппаратов, применяемых в схемах индивидуальных тепловых пунктов при независимом присоединении систем отопления зданий к тепловым сетям. Оценки проведены для пластинчатого теплообменного аппарата с противоточной схемой движения теплоносителей. Получены формулы для вычисления изменения площади теплообмена подогревателя сетевой воды по отношению к площади расчетного «базового» варианта исполнения аппарата в зависимости от величины превышения температуры воды в микрорайонной сети над температурой теплоносителя в системе отопления здания. При нахождении коэффициентов теплообмена в каналах теплообменников использованы известные критериальные уравнения для таких широко используемых в системах теплоснабжения теплообменников, какими являются пластинчатые аппараты. Предложенные формулы учитывают влияние величины соотношения тепловых эквивалентов расходов сред через теплообменный аппарат и уменьшение расхода теплоты на отопление в результате утепления здания. Оценки уменьшения отопительной нагрузки зданий выполнены из условия обеспечения при термомодернизации сооружения, спроектированного и построенного в соответствии с действовавшими несколько десятилетий тому назад, современных требований к величине термического сопротивления строительных конструкций. Анализ результатов вычислений позволил сформулировать рекомендации по выбору расчетных разностей температур сетевой воды при которых следует ожидать уменьшение площади поверхности теплопередачи пластинчатых аппаратов индивидуальных тепловых пунктов утепленных зданий. Предложенные рекомендации могут быть полезны при разработке графика качественного регулирования отпуска теплоты для систем централизованного теплоснабжения зданий микрорайона после завершения работ по их утеплению.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, реформирование систем теплоснабжения, присоединение системы отопления к тепловым сетям, индивидуальный тепловой пункт, пластинчатый теплообменный аппарат, тепловой расчет теплообменника

Aleksakhyn O.O., Kruhliakova O.V., Boblovskyi O.V.

**ESTIMATES OF SURFACE CHANGES OF HEATING HEAT EXCHANGERS FOR
INDIVIDUAL HEAT STATIONS WHEN THE TEMPERATURE CHART
OF DISTRIBUTION HEAT NETWORK IS CHANGED**

The aspects of the functioning of centralized heating systems of residential urban districts after additional insulation of this district existing buildings were considered. The influence of the heat carrier temperature in the district distribution heating network on the heat transfer surface of the heat exchangers that are installed in the individual heat station schemes with independent connection between buildings heating systems and heat networks was analyzed. Estimates were made for a plate heat exchanger with a counterflow pattern of heat carriers that are widely used in heat supply systems. Formulas have been obtained for calculating the heat exchange surface of the district water heater comparing to the surface of the "basic" design case of the heat exchanger, taking into account the district water temperature excess over the building heating water temperature. When finding the heat transfer coefficients in the channels of heat exchangers, known criterion equations for plate heat exchangers were used. The proposed formulas take into account the influence of the ratio of heat equivalents of the carriers flow rate through the heat exchanger and the decrease in heat consumption for heating as a result of building insulation. Buildings that were designed and built in accordance with the requirements for thermal resistance of enclosing structures that were actual several decades ago, after thermal modernization, should meet modern requirements for the thermal resistance of building structures. All estimates of the reduction in the buildings heating load were made in accordance with this approach. An analysis of the obtained results made it possible to propose some recommendations for the selection of district water calculated temperature differences at which a decrease in the heat transfer surface of the plate heat exchanger of the insulated buildings individual heat station can be expected. The proposed recommendations can be useful in developing a heat supply quality control schedule for a district buildings heating systems in a district when buildings thermal insulation process being completed.

Keywords: district heating, heat supply systems reforming, heating system to heat networks connection, individual heating station, plate heat exchanger, heat exchanger thermal calculation

Дзевочко О.М., к. техн. наук, доцент, Подустов М.О., д. техн. наук, професор,
Дзевочко А.І., к. техн. наук

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СУЛЬФАТУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Ключові слова: сульфатування, поверхнево-активна речовина, трубчастий плівковий абсорбер.

Вступ. У сучасному світі досить широкого застосування набули поверхнево-активні речовини (ПАР). Завдяки особливості ПАР абсорбуватися на поверхні розділу фаз їх застосовують в якості емульгаторів, диспергаторів, змочувачів, піноутворювачів. ПАР використовують у виготовленні найрізноманітнішої продукції побутової хімії – чистячих та миючих засобів, фармацевтичних та косметичних препаратів, а також для технічних цілей [1].

Світові тенденції у сфері науково-технічного прогресу спрямовані на підвищення таких характеристик промислових виробництв як якість продукції, ресурсо- та енергозощадження. Застосування ПАР сприяє інтенсифікації технологічних процесів, збільшення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, економії сировини та енергії.

Промислове виробництво ПАР було створено в 40-х роках ХХ-го століття та бурхливо розвивається. У 1939 році було вироблено 14 тис. т ПАР, у 1980 році – 5 млн. т, у 2004 році близько 12 млн. т, у 2020 році близько 20 млн. т [2].

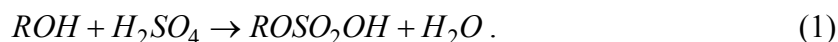
Основні стадії виробництва ПАР наступні: стадія одержання сульфатуючого агенту, стадія сульфатування, стадія нейтралізації, стадія очищення газоподібних викидів. На стадії сульфатування отримуємо проміжні продукти, які повинні задовольняти високим якісним показникам. Тому на цій стадії будемо проводити системний аналіз процесу сульфатування.

Аналіз літературних даних. Аналіз історії проведення процесу сульфатування показує, що практично усі промислові ПАР були отримані у різний час сульфатуванням органічних речовин сірчаною кислотою, олеумом, хлорсульфоною кислотою або триоксидом сірки.

Техніко-економічні показники процесу отримання ПАР тісно пов'язані з використанням сульфатуючого агенту. Обґрунтований вибір сульфатуючого агенту можливий при зіставленні технічних показників процесу і якості отриманих продуктів.

Розглянемо особливості і кінцеві результати, які отримані при взаємодії органічної речовини з різними сульфоагентами на прикладі вищих спиртів.

При сульфатуванні вищих спиртів сірчаною кислотою утворюються ефіри сірчаної кислоти [3]. Основна реакція наступна



При еквімолярному співвідношенні реагентів рівноважний ступінь конверсії первинних вищих спиртів становить 65 %. Реакція сульфатування вищих спиртів сірчаною кислотою екзотермічна, але головним чином через тепло, що виділяється при розведенні сірчаної кислоти спиртом і водою, що утворюється. Внаслідок цього тепловий ефект залежить від концентрації сірчаної кислоти і від її мольного співвідношення до вищого спирту.

Для підвищення рівноважного ступеня конверсії вищого спирту застосовують концентровану кислоту (98–100 %) в надлишку по відношенню до вищого спирту (1,8–2) : 1 або пропонується відганяти воду, що утворюється за допомогою вакууму, тоді ступінь сульфатування вищих спиртів досягає 80–90 %.

Однак такий низький ступінь сульфатування не задовольняє сучасним вимогам до ПАР. Застосування олеуму також призводить до аналогічних показників, що і сірчана кислота.

Для сульфатування вищих спиртів промислове застосування знайшла хлорсульфонова кислота [4]. Незворотність і висока швидкість цієї реакції забезпечують можливість використання еквімолярного співвідношення реагентів при практично повному перетворенні їх у алкілсірчану кислоту:



Це істотно знижує витрату вищого спирту і сульфатуючого агенту. Побічних реакцій практично немає, а єдиний супутній продукт (газоподібний HCl) можна утилізувати у вигляді 20–30 % соляної кислоти.

Останнім часом в якості сульфатуючого агенту набув велике значення газоподібний триоксид сірки [5]. Основна реакція наступна:



Головні труднощі в реалізації сульфатування вищих спиртів триоксидом сірки - дуже висока швидкість і велика екзотермічність реакції, що призводить до перегрівів суміші, розвитку побічних реакцій і потемніння продукту. Успіх був досягнутий завдяки застосуванню парів SO₃, розбавлених повітрям до концентрації 3–7 % об. Це значно уповільнило дифузію SO₃ з газової фази в рідину і дозволило впоратися з відведенням тепла, що виділяється.

Враховуючи велику швидкість реакції і значне тепловиділення процес сульфатування органічної речовини передбачає наявність двох конструктивних елементів в апаратурному оформленні: контактного і теплообмінного [6]. При відведенні реакційного тепла від маси органічної речовини, що прореагувала (при поділі елементів) технологічна схема характеризується великим часом перебування реакційної маси в зоні процесу (від 20 хв. до 60 хв.). При відведенні тепла безпосередньо від елемента, де здійснюється контакт триоксиду сірки з органічною речовиною, час перебування реакційної маси становить кілька хвилин.

Абсорбери з великим часом перебування реакційної маси підрозділяються:

– об'ємні (барботажні), де контакт газоподібного триоксиду сірки та органічної речовини відбувається на поверхні бульбашок в об'ємі рідинної фази, а знімання тепла на змішувачу або через стінку охолоджуючої сорочки [7];

– струменеві, де охолодження речовини, що прореагувала відбувається після сепарації у виносних теплообмінниках [8].

В об'ємних абсорберах необхідно встановлювати змішуючі пристрої. При цьому збільшується поверхня обміну та інтенсифікується процес сульфатування. Об'ємні абсорбери з мішалкою знайшли широке застосування при дослідженні процесу сульфатування в лабораторних умовах.

Використання абсорберів з мішалкою у промислових умовах викладені недостатньо. Найбільш яскравим прикладом їх використання є установка сульфатування фірми «Маріо Баллестра».

Установка представляє каскад з 5 абсорберів. Загальний час перебування речовини – близько 40 хвилин. Досяжна ступінь сульфатування – 92 %, кольоровість отриманих продуктів – 2 одиниці за йодною шкалою. Як видно ступінь сульфатування при такому конструктивному оформленні недостатньо для сучасного рівня установок сульфатування.

Сульфатування в струмінних абсорберах [9] характеризується створенням високодисперсної рідинної фази з розвинутою поверхнею контакту. Взаємодія здійснюється подачею реагентів під тиском в зону контакту органічної речовини і газу. Однак у цьому випадку за один прохід не вдається повністю використовувати SO_3 і з'являється необхідність в циркуляції реакційної маси, що збільшує її час перебування в абсорбері.

Промислові струмінні абсорбери завдяки тому, що є рециркуляція реакційної маси також мають невисокий ступінь сульфатування та значну кольоровість отриманих продуктів.

Схеми з малим часом перебування органічної речовини знайшли більш широке використання в технологічних процесах отримання ПАР.

Розроблено ряд схем, в яких зняття тепла проводиться безпосередньо при контакті газоподібного триоксиду сірки з органічною речовиною: роторні плівкові абсорбери, плівкові абсорбери з висхідним або низхідним потоком реагентів.

У роторних плівкових абсорберах [10] подача газоподібного триоксиду сірки здійснюється або знизу абсорберу, або розосереджена по його висоті.

При такому апаратурно-технологічному оформленні вдається досягти ступеня сульфатування органічної речовини на рівні 96–98 %. Однак роторні плівкові абсорбери складні у виготовленні та характеризуються підвищеними експлуатаційними витратами.

Останнім часом основне поширення отримали плівкові абсорбери з висхідним або низхідним потоком реагентів, де використовуються тільки гідродинамічні сили потоків.

Плівкові абсорбери з висхідною проточією мають розвинену структуру, а відповідно кращі тепло- і масообмінні характеристики порівняно з низхідним рухом фаз. Тим не менш в багатотрубному варіанті виникають великі труднощі при організації рівномірного розподілу газу та органічної речовини по окремих трубках. Власне це їх основний недолік.

Абсорбери з низхідним рухом фаз можуть бути щільними [11] і трубчасті [12]. В абсорберах щільного типу отримують продукти високої якості, але вони поступаються трубчастим через простоту конструкцій останніх. В трубчастих абсорберах органічна речовина стікає по внутрішній стінці трубки, а газоподібний триоксид сірки подається по центру трубки.

Яскравим прикладом таких абсорберів є абсорбери фірми "Балестра". Органічна речовина і SO_3 подаються паралельно по трубкам абсорбера, реагують і реакційна маса виходить з дна абсорбера в сепаратор. Тепло реакції видаляється охолоджувальною во-

дою. При сульфатуванні вищих спиртів досягається ступінь сульфатування на рівні 97–99 %, кольоровість отриманих продуктів 1 од. за йодною шкалою.

Таким чином можна стверджувати, що таке апаратурно-технологічне оформлення процесу сульфатування є в даний час найбільш перспективним для використання в промислових умовах.

Мета роботи. Провести системний аналіз процесу сульфатування в трубчастому плівковому абсорбері.

Основна частина. Для проведення системного аналізу запропонована конструкція абсорбера за схемою, яка наведена на рис. 1.

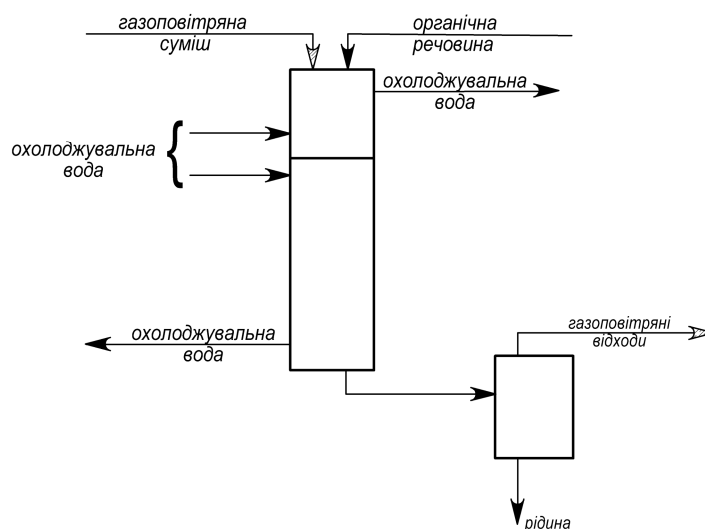


Рисунок 1 – Схема трубчастого плівкового абсорбера

Газоповітряна суміш з вмістом 3–6 % об. триоксиду сірки подається у верхню частину абсорбера та поділяється по реакційним трубкам. Органічна речовина також подається у верхню частину абсорбера і стікає у вигляді плівки по внутрішнім частинам реакційних трубок. У результаті взаємодії триоксиду сірки з органічною речовиною утворюється проміжний продукт. Для зняття тепла реакції реакційні труби охолоджуються водою: верхня частина протivotоком, нижня частина прямотоком. З виходу абсорбера газорідинний потік розділяється в циклоні на рідину та газоповітряні відходи.

Проектування процесу сульфатування в трубчастих плівкових абсорберах вимагає детального знання впливу тепло- та масообмінних процесів на ступінь сульфатування та кольоровість отриманих продуктів.

Взаємодія двофазних потоків, яким є процес плівкового сульфатування органічної речовини триоксидом сірки, характеризується різноманіттям хімічних та фізичних явищ, пов'язаних між собою та визначаючих якісні показники отриманих продуктів. Для систем, у яких опір процесу переносу зосереджено у газовій фазі необхідний аналіз взаємодії газової фази з плівкою рідини, який дозволить кількісно оцінити транспорт реагентів до поверхні розділу фаз.

В загальному вигляді перенос речовини від поверхні розділу фаз в глиб рідинної фази розглядають на основі рівнянь гідродинаміки і конвективної дифузії. Якщо обме-

житися розглядом дифузії в одному напрямку, перпендикулярному напрямку руху середовища, то рівняння конвективної дифузії буде мати вигляд

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - V_p \frac{\partial C}{\partial z}, \quad (4)$$

де C – концентрація компонента в глибині фази, моль/м³; t – час, с; D – коефіцієнт дифузії, м²/с; V_p – швидкість рідинної фази, м/с; z – вісь руху середовища; y – вісь напрямку дифузії.

Рішення даного рівняння в загальному вигляді неможливо і тому використовують різні спрощені моделі: плівкова модель Льюїса – Уїтмена [13], модель дифузійного пограничного шару Левича [14], модель Хігбі [15], модель Данквертса [16].

У плівковій (двохплівковій) моделі передбачається з обох сторін від поверхні розділу фаз утворюється ламінарно рухомі плівки, що відокремлюють поверхню фаз від ядра потоку фаз.

Рівняння набуває вигляд

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = 0. \quad (5)$$

Інтегруючи дане рівняння одержуємо:

$$\beta = \frac{D}{\delta}, \quad (6)$$

де δ – товщина плівки, м β – коефіцієнт масовіддачі, м/с.

З рівняння (6) слідує, що β пропорційний D , що частково не співпадає з експериментальними даними і тому приймають, що β також залежить від D .

Левич вводить поняття дифузійного пограничного шару, що представляє собою тонкий шар рідини, який прилягає до поверхні розділу фаз, в ньому відбувається молекулярна дифузія і різка зміна концентрації речовини.

В моделі дифузійного пограничного шару процес переносу також вважається стаціонарним, але не нехтують конвективним членом $V_p \frac{\partial C}{\partial z}$ і тоді рівняння (5) має вигляд

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = V_p \frac{\partial C}{\partial z}. \quad (7)$$

Левич передбачає також, що поблизу поверхні розділу фаз утворюється в'язкий пограничний шар, в якому відбувається загасання турбулентних коливань по мірі наближення до поверхні. Лише невеликій частини в'язкого шару (дифузійний пограничний шар) молекулярне перенесення переважає над турбулентним. Коефіцієнт масовіддачі в цьому випадку визначається за рівнянням:

$$\beta = \frac{D}{\delta_b} Pr_D^{1/n}, \quad (8)$$

де δ_b – товщина в'язкого пограничного шару, м; Pr_D – дифузійний критерій Прандтля.

Як видно і в цьому випадку коефіцієнт масовіддачі пропорційний D .

У моделі проникнення Хігбі приймається короткочасність контакту фаз і процес дифузії вважається несталим. По моделі проникнення профіль концентрацій змінюється не тільки в залежності від відстані від поверхні розділу фаз, але і від часу

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}, \quad (9)$$

де t – час контакту елементів поверхні, с.

Коефіцієнт масовіддачі визначається за рівнянням:

$$\beta = 2 \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot \theta}}. \quad (10)$$

Основним висновком із моделі Хігбі є те, що коефіцієнт масовіддачі пропорційний коефіцієнту молекулярної дифузії у ступені 1/2, що краще узгоджується з експериментальними даними.

Данквертс розвинув модель проникнення, ввівши поняття оновлення поверхні контакту фаз. Передбачається, що до поверхні контакту фаз безперервно підводиться свіжа рідина і змиває порції рідини прореагованої з газом. В цьому випадку залежність β від D видається наступним рівнянням:

$$\beta = \sqrt{D \cdot s}, \quad (11)$$

де s – швидкість оновлення поверхні контакту фаз, с^{-1} .

У цій моделі також коефіцієнт масовіддачі β пропорційний коефіцієнту дифузії D в ступені 1/2.

Як видно, ні одну з відомих моделей механізму переносу речовини не можна вважати достатньо повною, так як вони не розглядають взаємодію двофазних потоків.

Автори запропонували представляти процес сульфатування в трубчастому плівковому абсорбері наступними стадіями: процес масопередачі газоподібного триоксиду сірки до поверхні розділу фаз; процес абсорбції триоксиду сірки органічною речовиною з проходженням екзотермічної хімічної реакції; процес теплообміну між рідиною фазою та газоповітряним потоком; процес теплообміну між рідиною фазою та потоком охолоджувальної води.

Аналіз коефіцієнтів масопередачі, які використовуються різними авторами показав, що найбільш близькі дані до експериментальних даних Гутьєрреса [17] отримані з наступного рівняння [18]

$$K_{\Gamma} = B \cdot Pr_D^{-0,704} \cdot \left(\frac{\tau_{\Gamma P}}{\rho_{\Gamma}} \right)^{0,5}, \quad (12)$$

де B – постійний коефіцієнт; $\tau_{\Gamma P}$ – дотичне напруження на границі розділу фаз; Па; ρ_{Γ} – густина газоповітряного потоку, кг/м³.

Аналіз процесу абсорбції показав, що у верхній частині абсорбера абсорбція триоксиду сірки проходить на реакційній поверхні поблизу поверхні розділу фаз з одночасним проходженням значно швидкої хімічної реакції. За літературними даними хімічна реакція між органічною речовиною та триоксидом сірки проходить у вигляді послідовних реакцій, одна з яких проходить з утворенням цільового продукту і протікає на реакційній поверхні поблизу поверхні розділу фаз, друга з утворенням побічних темно пофарбованих продуктів в рідинній фазі. У нижній частині абсорбера в зв'язку зі зменшенням рушійної сили процесу, а також незначною кількістю органічної речовини є можливість вважати, що абсорбція проходить на реакційній поверхні з утворенням алкілполісірчаної кислоти, а послідовні реакції проходять в об'ємі рідинної фази.

Проходження хімічних реакцій представлено схемою



де A – вихідна органічна речовина; R – цільовий продукт; S – побічний продукт.

Тобто при взаємодії органічної речовини з триоксидом сірки утворюється цільовий продукт R з константою швидкості k_1 , який може розлагатися з утворенням побічного продукту S з константою швидкості k_2 .

Кінетичні рівняння для даної схеми наступні

$$\frac{dC_A}{d\tau} = -k \cdot C_A; \quad (15)$$

$$\frac{dC_R}{d\tau} = k_1 \cdot C_A - k_2 \cdot C_R; \quad (16)$$

$$\frac{dC_S}{d\tau} = k_2 \cdot C_R. \quad (17)$$

Для того, щоб перейти до рівнянь для розрахунку складу продуктів необхідно виключити час. Для цього візьмемо відношення кінетичних рівнянь (16) та (17) до кінетичного рівняння (15).

$$\frac{dC_R}{dC_A} = \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_R}{C_A} - 1; \quad (18)$$

$$\frac{dC_S}{dC_A} = -\frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_R}{C_A}. \quad (19)$$

По довжині реакційної трубки відбуваються зміни і констант швидкості і складу продуктів реакції. Тому розрахунок ведеться шляхом чисельного інтегрування. Тоді рішення рівняння (18) буде мати вигляд

$$\frac{C_R}{C_{A0}} = \frac{1}{1 - \frac{k_2}{k_1}} \left[\left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right)^{k_2/k_1} - \frac{C_A}{C_{A0}} \right] + \frac{C_{R0}}{C_{A0}} \cdot \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right)^{k_2/k_1}, \quad (20)$$

де C_{A0} – концентрація вихідної органічної речовини на елементарному кроці, моль/м³;
 C_{R0} – концентрація цільового продукту на елементарному кроці, моль/м³.

Відношення констант швидкостей визначається за даними авторів [19]

$$\frac{k_2}{k_1} = 0,67 \cdot \exp \left(-\frac{255}{T_p} \right). \quad (21)$$

Для визначення концентрації побічних продуктів в будь-якому перетині реакційної трубки складаємо рівняння матеріального балансу

$$\Delta C_A + \Delta C_R + \Delta C_S = 0, \quad (22)$$

де $\Delta C_A, \Delta C_R, \Delta C_S$ зміна концентрації речовин A, R, S від перетину до перетину, моль/м³.

Рівняння матеріального балансу з урахуванням розподілу триоксиду сірки має вигляд:

$$\Delta C_B - \Delta C_R - \Delta C_A = 0. \quad (23)$$

Концентрацію прореагованого триоксиду сірки визначаємо з виразу

$$\Delta C_B = \frac{\Delta G_B}{Q_p}, \quad (24)$$

де ΔG_B – кількість прореагованого триоксиду сірки, моль/с; Q_p – об'ємна витрата рідинної фази, м³/с.

На кожному елементарному кроці абсорбується певна кількість триоксиду сірки

$$\Delta G_B = K_G \cdot \Delta F \cdot \Delta C_B, \quad (25)$$

де K_G – коефіцієнт масопередачі, м/с; ΔF – площа поверхні, м².

Підставляючи вираз (24) в (23) отримаємо

$$\Delta C_A + \Delta C_R + \frac{\Delta G_B}{Q_p} = 0. \quad (26)$$

Якщо на кожному кроці відома кількість прореагованого триоксиду сірки ΔG_B , то рівняння (26) з рахуванням (20) представляє собою нелінійні рівняння відносно C_A . Після рішення цього рівняння за знайденим C_A визначаємо C_R за рівнянням (20). Після чого знаходимо ΔC_A та ΔC_R і за рівнянням (22) визначаємо ΔC_S .

Знаючи C_R розраховують ступінь сульфатування

$$\eta = \frac{C_R}{C_{A0}} \cdot 100, \quad (27)$$

де C_{A0} – початкова концентрація вихідної органічної речовини, моль/м³; C_R – концентрація цільового продукту, моль/м³.

Знаючи C_S розраховують кольоровість отриманих продуктів за рівняння (19) з урахуванням фракції вищих спиртів

$$j = 0,4 \cdot \exp \left[14 \left(\frac{C_S}{C_{A0}} + 0,0442 \right) \right]. \quad (28)$$

При розрахунках коефіцієнта теплопередачі від рідини до газу, коли дифузійні і теплові числа Прандтля близькі до одиниці можливо використання рівняння

$$K_{TG} = K_G \cdot c_G \cdot \rho_G \cdot \left(\frac{Pr_D}{Pr_T} \right)^{0,67}, \quad (29)$$

де K_G – коефіцієнт масопередачі, м/с; c_G – питома теплоємність газоповітряного потоку, Дж/(кг·К); ρ_G – густина газоповітряного потоку, кг/м³; Pr_D – дифузійний критерій Прандтля; Pr_T – тепловий критерій Прандтля.

Коефіцієнт теплопередачі від рідинної фази до охолоджувальної води визначається за класичним рівнянням:

$$K_{TX} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (30)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від рідинної фази до стінки, Вт/м² К; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до охолоджувальної води, Вт/м² К; $\delta_{ст}$ – товщина стінки реакційної труби, м; $\lambda_{ст}$ – питома теплопровідність стінки, Вт/м К.

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюють наступним чином. Коефіцієнт тепловіддачі від рідинної фази до стінки реакційної труби має складну залежність від змін фізико-хімічних параметрів у процесі руху плівки рідини. Ці питання були розглянуті у літературі [20, 21]. За базове рівняння були вибрані експериментальні дані авторів [20]:

$$\alpha_1 = 0,34 \frac{\lambda_p}{d} \left(\frac{\rho_p}{\rho_\Gamma} \right)^{0,28} \cdot \left(\frac{d \cdot G_{\Gamma p}}{\mu_p} \right)^{0,87} \cdot Pr_T^{0,4}, \quad (31)$$

де λ_p – питома теплопровідність рідинної фази, Вт/(м·К); d – діаметр реакційної труби, м; ρ_p – густина рідинної фази, кг/м³; ρ_Γ – густина газоповітряного потоку, кг/м³; $G_{\Gamma p}$ – масова витрата газоповітряного потоку, кг/с; μ_p – динамічна в'язкість рідинної фази, Па·с; Pr_T – тепловий критерій Прандтля.

Як показали наступні розрахунки вибір цього рівня дав можливість приблизити температурні профілі по довжині реакційної трубки до реальних експериментальних даних [17].

Тепловіддача від стінки до однофазного потоку вивчена достатньо. Тому для розрахунку коефіцієнту тепловіддачі від стінки реакційної трубки до охолоджувального потоку води при його турбулентному русі використовується наступне рівняння [22]:

$$Nu_X = 0,021 \cdot Re_X^{0,8} \cdot Pr_X^{0,4} \left(\frac{Pr_X}{Pr_{CT}} \right)^{0,25}, \quad (32)$$

де Nu_X – критерій Нуссельта для потоку охолоджувальної води; Re_X – критерій Рейнольдса для потоку охолоджувальної води; Pr_X – критерій Прандтля для потоку охолоджувальної води; Pr_{CT} – критерій Прандтля для потоку охолоджувальної води при температурі стінки.

Розкрив критерії маємо:

$$\frac{\alpha_2 \cdot d_{екв}}{\lambda_X} = 0,021 \left(\frac{V_X \cdot d_{екв} \cdot \rho_X}{\mu_X} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{c_X \cdot \mu_X}{\lambda_X} \right)^{0,4}, \quad (33)$$

де $d_{екв}$ – еквівалентний діаметр, м; λ_X – питома теплопровідність охолоджувальної води, Вт/(м·К); V_X – швидкість потоку охолоджувальної води, м/с; ρ_X – густина охолоджувальної води, кг/м³; μ_X – динамічна в'язкість охолоджувальної води, Па·с; c_X – питома теплоємність охолоджувальної води, Дж/(кг·К).

Діаметр еквівалентний розраховувався наступним чином. Для випадку теплообміну «труба в трубі»:

$$d_{екв} = d_{БК} - d_{Н}, \quad (34)$$

де: $d_{\text{вк}}$ – внутрішній діаметр зовнішньої труби, м; $d_{\text{н}}$ – зовнішній діаметр реакційної труби, м.

Перетворивши рівняння (33) отримаємо:

$$\alpha_2 = 0,021 \cdot \frac{\lambda_X}{d_{\text{екв}}} \cdot \left(\frac{V_X \cdot d_{\text{екв}} \cdot \rho_X}{\mu_X} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{c_X \cdot \mu_X}{\lambda_X} \right)^{0,4}. \quad (35)$$

Наступний аналіз проводився за допомогою математичного моделювання трубчастого плівкового абсорбера. За основу математичної моделі була взята математична модель, яка наведена в [23]. Результати математичного моделювання показані на рис. 2.

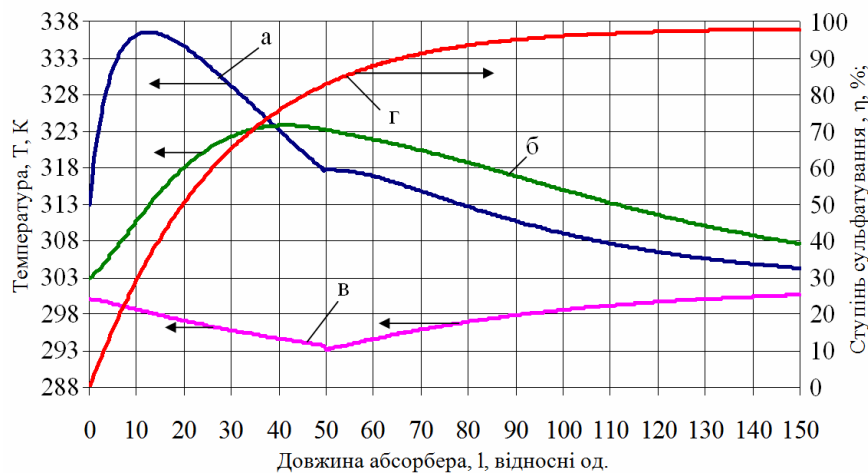


Рисунок 2 – Залежність температури рідинної фази (а), температура газоповітряного потоку (б), температури охолоджувальної води (в) та ступеня сульфатування (г) за довжиною абсорбера ($V_{\Gamma}=20$ м/с)

Вихідні дані органічна речовина – суміш вищого спирту фр. $C_{12}-C_{14}$ та моноетаноламиду жирних кислот кокосової олії в співвідношенні 22 : 8, температура рідинної фази 313 К, температура газоповітряного потоку 303 К, температура охолоджувальної води 293 К, лінійна щільність зрошування рідини $0,82 \cdot 10^4$ м²/с, швидкість газоповітряного потоку 20 м/с, мольне співвідношення SO_3 : органічна речовина 1,08:1,0, концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці 3,7 % об., витрата охолоджувальної води у верхню секцію складала 0,14 кг/с, в нижню – 0,05 кг/с.

Як видно з рис. 2 температура рідинної фази піднімається на 1/12 довжини абсорбера до 336 К, а потім знижується до 305 К. Температура газоповітряного потоку максимальна на чверті довжини абсорбера, а потім знижується до 307 К. Температура охолоджувальної води у верхній частині абсорбера змінюється з 293 К до 300 К, а у нижній частині з 93 К до 300 К. Ступінь сульфатування 97,9 %, кольоровість отриманих продуктів 1 одиниця по йодній шкалі.

Таким чином системний аналіз процесу сульфатування в трубчастих плівкових абсорберах показав можливість досягти високих якісних показників отриманих продуктів і таку технологію необхідно використовувати при відбудові виробництв поверхнево-активних речовин в Україні.

Висновки

1. Наведено основні недоліки та переваги сульфатуючих агентів в технології поверхнево-активних речовин.
2. Надано характеристики арматурно-технологічних схем процесу сульфатування органічних речовин.
3. Запропоновано представляти процес сульфатування в трубчастому плівковому абсорберу чотирма стадіями.
4. Наведена методика розрахунку ступені сульфатування і кольоровості отриманих продуктів.
5. Приведено результати математичного моделювання процесу сульфатування в трубчастому плівковому абсорбері.
6. Показано можливість досягнення високих якісних показників отриманого продукту: ступінь сульфатування 97,9 %, кольоровість 1 одиниця по йодній шкалі.

Література

1. Поверхностно-активные вещества в бытовой химии: Обзор информации. – К.: ВНИИХИМПРОЕКТ. 1999. 86 с.
2. Мировой рынок органических поверхностно-активных веществ. Маркетинговое исследование: тренды, анализ и прогноз. URL : <http://www.indexbox.ru/reports/mirovoj-rynok-organicheskikh-poverhnostno-aktivnyh-veshestv-marketingovoe-issledovanie-trendy-analiz-i-prognoz/> . 2020 р.
3. Вережников В.Н., Гермашева И.И., Крысин М.Ю. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ : учеб. пособ. Санкт_Петербург: Лань, 2015. 304 с.
4. Джилберт Э.Е. Сульфирование органических соединений: пер. с англ. / под ред. А.И. Гершеневича. М.: Химия, 1969. 416 с.
5. Torres J.F., Diaz L., Sanchez F.J. Falling film reactor for methyl ester sulphonation with gaseous sulphur trioxide. Ing. Investig.2009. Vol. 29. No. 3 PP. 48–53.
6. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дыгтерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва : Альянс, 2008. 496 с.
7. Torres J. A., Sulfonation/Sulfation Processing Technology for Anionic Surfactant Manufacture. Advances in Chemical Engineering. 2012. P. 269–294.
8. Бучинський А.К., Коваленко В.С. Основи технології та техніки абсорбційних процесів : навч. посіб. Днепропетровск : УДХТУ, 2004. 155 с.
9. Sulphonierungsverfahren und vorrichtung : пат. 272333 ФРГ, МКИ С07с 139/00. № 272333/77 ; заявл. 24.05.77 ; опубл. 15.12.77 ; НКИ С07с 141/00. 7 с.
10. Process for continuous sulphonation and/or sulphonation of organic compounds : пат. 1496266 Великобритания, МКИ С07С 139/00. № 23687/75 ; заявл. 30.05.75 ; опубл. 30.12.77 ; НКИ С2С. 8 с.
11. Method for sulphonatizing and sulphatizing organic compounds with sulphur trioxide and apparatus therefore : пат. 3931273 США, МКИ С07с 141/02. № 114973/71; заявл. 12.02.71 ; опубл. 06.01.75 ; НКИ 260–458. 6 с.
12. Sulfonating method : пат. 4185030 США, МКИ С07с 13/00. № 690652/76; заявл. 27.05.76 ; опубл. 22.01.80 ; НКИ 260–458. 7с.
13. Кафаров В.В. Основы массопередачи: М.: Высшая школа. 1979. 439 с.
14. Рамм В.М. Абсорбция газов : М.: Химия, 1976. 655 с.
15. Higbie R. The rate of absorption of a pure gas in to a still liquid during short periods of exposure. Trans. AIChE. 1935. Vol. 31. P. 365–389.

16. Данквертс П.В. Газо-жидкостные реакции: Москва: Химия, 1973.
17. Talens F.L. The effect of supercritical gas velocity wavy films its use in enhancing the performance of falling film reactor. Chem. Eng. Technol. 2000. Vol. 23, No. 7. P. 629–632.
18. Federico I. Talens-Alession. The modelling of falling film chemical reactors. Chem. Engng. Sci. 1999. Vol. 54. P. 1871–1881.
19. Правдин В. Г., Подустов М. А., Земенков Д. И. Сульфирование и сульфатирование нефтехимических продуктов газообразным серным ангидридом в производстве ПАВ. Москва : ЦНИИТЭНефтехим, 1981. 44 с.
20. Johnson G.R., Grynes B.L. Modeling of a thin-film sulfur trioxide sulfonation reactor. Jnd. Eng. Chem. Process. 1974. Vol. 13, No. 1. P. 6–35.
21. Diaz L. Análisis hidrodinámico de un reactor de película descendente para lasulfonación de ésteres metílicos derivados del aceite de palma, [M.Sc Thesis], Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia, 2009.
22. Дзевочко А.І., Подустов М.О., Жерелюк Є.Є. Математичне моделювання процесів тепло та масообміну в трубчастому реакторі сульфатування. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доп. XXV міжнар. наук.-практ. конф., (м. Харків, 17–19 трав. 2017 р.). Харків, 2017. С. 22.
23. Дзевочко О.М., Подустов М.О., Дзевочко А.І. Аналіз процесу теплообміну в трубчастому плівковому абсорбері при сульфатуванні сумішей органічних речовин. Інтегровані технології та енергозбереження. Х. НТУ "ХПІ". 2022. № 1. С. 20–30.

Bibliography (transliterated)

1. Poverkhnostno-aktivnie veshchestva v bitovoi khimii: Obzor informatsii. – K.: VNIKhIMPROEKT. 1999. 86 p.
2. Mirovoi riнок organicheskikh poverkhnostno-aktivnikh veshchestv. Marketingovoe issledovanie: trendi, analiz i prognoz. URL : <http://www.indexbox.ru/reports/mirovoj-rynok-organicheskikh-poverkhnostno-aktivnykh-veshestv-marketingovoe-issledovanie-trendy-analiz-i-prognoz/> . 2020 r.
3. Verezhnikov V.N., Germasheva I.I., Krisin M.Yu. Kolloidnaya khimiya poverkhnostno-aktivnikh veshchestv : ucheb. posob. Sankt_Peterburg: Lan, 2015. 304 p.
4. Dzhilbert E.E. Sulfirovanie organicheskikh soedinenii: per. s angl. / pod red. A.I. Gershenovicha. M.: Khimiya, 1969. 416 p.
5. Torres J.F., Diaz L., Sanchez F.J. Falling film reactor for methyl ester sulphonation with gaseous sulphur trioxide. Ing. Investig.2009. Vol. 29. No. 3 PP. 48–53.
6. Borisov G.S., Brikov V.P., Ditnerskii Yu.I. Osnovnie protsessi i apparati khimicheskoi tekhnologii. Moskva : Alyans, 2008. 496 p.
7. Torres J. A., Sulfonation/Sulfation Processing Technology for Anionic Surfactant Manufacture. Advances in Chemical Engineering. 2012. P. 269–294.
8. Buchynskiy A.K., Kovalenko V.S. Osnovy tekhnologii ta tekhniki absorbtsiynykh protsesiv : navch. posib. Dnepropetrovsk : UDKhTU, 2004. 155 p.
9. Sulphonierverfahren und vorrichtung : pat. 272333 FRG, MKI S07s 139/00. № 2723333/77 ; zayavl. 24.05.77 ; opubl. 15.12.77 ; NKI S07s 141/00. 7 p.
10. Process for continuous sulphonation and/or sulphonation of organic compounds : pat. 1496266 Velikobritaniya, MKI S07S 139/00. № 23687/75 ; zayavl. 30.05.75 ; opubl. 30.12.77 ; NKI S2S. 8 p.

11. Method for sulphonatizing and sulphatizing organic compounds with sulphur trioxide and apparatus therefore : pat. 3931273 SShA, MKI S07s 141/02. № 114973/71; zayavl. 12.02.71 ; opubl. 06.01.75 ; NKI 260–458. 6 p.
12. Sulfonating method : pat. 4185030 SShA, MKI S07s 13/00. № 690652/76; zayavl. 27.05.76 ; opubl. 22.01.80 ; NKI 260–458. 7 p.
13. Kafarov V.V. Osnovi massoperedachi: M.: Visshaya shkola. 1979. 439 p.
14. Ramm V.M. Absorbtsiya gazov : M.: Khimiya, 1976. 655 p.
15. Higbie R. The rate of absorption of a pure gas in to a still liquid during short periods of exposure. Trans. AIChE. 1935. Vol. 31. P. 365–389.
16. Dankverts P.V. Gazo-zhidkostnie reaktsii: Moskva: Khimiya , 1973.
17. Talens F.L. The effect of supercritical gas velocity wavy films its use in enhancing the performance of falling film reactor. Chem. Eng. Technol. 2000. Vol. 23, No. 7. P. 629–632.
18. Federico I. Talens-Alessen. The modelling of falling film chemical reactors. Chem. Engng. Sci. 1999. Vol. 54. P. 1871–1881.
19. Pravdin V. G., Podustov M. A., Zemenkov D. I. Sulfirovanie i sulfatirovanie neftekhimicheskikh produktov gazoobraznim sernim ангидридом в производстве ПАВ. Moskva : TsNIITENeftekhim, 1981. 44 p.
20. Johnson G.R., Grynes B.L. Modeling of a thin-film sulfur trioxide sulfonation reactor. Jnd. Eng. Chem. Process. 1974. Vol. 13, No. 1. P. 6–35.
21. Diaz L. Análisis hidrodinámico de un reactor de película descendente para la sulfonación de ésteres metílicos derivados del aceite de palma, [M.Sc Thesis], Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia, 2009.
22. Dzevochko A.I., Podustov M.O., Zherelyuk Є.Є. Matematichne modelyuvannya protsesiv teplo ta masoobminu v trubchastomu reaktori sulfatuvannya. Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya : tezi dop. XXV mizhnar. nauk.-prakt. konf., (m. Kharkiv, 17–19 trav. 2017 r.). Kharkiv, 2017. P. 22.
23. Dzevochko O.M., Podustov M.O., Dzevochko A.I. Analiz protsesu teploobminu v trubchastomu plivkovomu absorberi pri sulfatuvanni sumishei organichnikh rechovin. Integrovani tekhnologii ta yenergozbezheniya. Kh. NTU "KhPI". 2022. № 1. P. 20–30.

УДК 661.185 : 66.02

Дзевочко О.М., к. техн. наук, доцент, Подустов М.О., д. техн. наук, професор,
Дзевочко А.І., к. техн. наук

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СУЛЬФАТУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Наведено дані про застосування поверхнево-активних речовин у різних областях промисловості України. Показано бурхливий розвиток виробництва поверхнево-активних речовин. Приведені основні стадії виробництва поверхнево-активних речовин. Показано, що стадія сульфатування органічних речовин є основною, на якій досягаються високі якісні показники отриманих продуктів.

Наведено основні недоліки та переваги сульфатуючих агентів в технології поверхнево-активних речовин. Надано характеристику апаратурно-технологічних схем процесу сульфатування органічних речовин.

Стверджується, що використання трубчастих плівкових абсорберів з низхідним потоком фаз в даний час є найбільш перспективним для використання в промислових умовах.

Наведені рівняння з конвективної дифузії для спрощених моделей Льюїса – Уїтмена, Левича, Хігбі, Данквертса.

Запропоновано представляти процес сульфатування в трубчастому плівковому абсорбері наступними стадіями: процес масопередачі газоподібного триоксиду сірки до поверхні розділу фаз, процес абсорбції триоксиду сірки органічною речовиною з проходженням екзотермічної хімічної реакції, процес теплообміну між рідинною фазою та газоповітряним потоком, процес теплообміну між рідинною фазою та потоком охолоджувальної води. Наведено рівняння для розрахунку коефіцієнта масопередачі, яке дозволяє отримувати дані близькі з експериментальними даними Гутерреса. Показано проходження послідовних хімічних реакцій при абсорбції триоксиду сірки органічною сировиною. Наведені кінетичні рівняння і методики розрахунку ступені сульфатування і кольоровості отриманих продуктів. Наведено основні рівняння для розрахунків коефіцієнтів теплопередачі та коефіцієнтів тепловіддачі.

Наведені результати математичного моделювання процесу сульфатування в трубчастому плівковому абсорбері.

Показана можливість досягнення високих якісних показників отриманого продукту: ступінь сульфатування 97,9 %, кольоровість 1 одиниця по йодній шкалі.

Ключові слова: сульфатування, поверхнево-активна речовина, трубчастий плівковий абсорбер.

Дзевочко А.М., к.техн.наук, доцент, Подустов М.А., д.техн.наук, професор, Дзевочко А.И., к.техн.наук.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СУЛЬФАТИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Представлены данные о применении поверхностно-активных веществ в различных областях промышленности Украины. Показано бурное развитие производства поверхностно-активных веществ. Приведены главные стадии производства поверхностно-активных веществ. Показано, что стадия сульфатирования органических веществ является основополагающей, на которой достигаются высокие качественные показатели полученных продуктов.

Приведены основные недостатки и преимущества сульфатирующих агентов в технологии поверхностно-активных веществ. Дана характеристика аппаратурно-технологических схем процесса сульфатирования органических веществ.

Утверждается, что использование трубчатых пленочных абсорберов с нисходящим потоком фаз в настоящее время наиболее перспективно для использования в промышленных условиях.

Приведены уравнения по конвективной диффузии для упрощенных моделей Льюиса – Уитмена, Левича, Хигби, Данквертса.

Предложено представлять процесс сульфатирования в трубчатом пленочном абсорбере следующими стадиями: процесс массопередачи газообразного триоксида серы к поверхности раздела фаз, процесс абсорбции триоксида серы органическим веществом с прохождением экзотермической химической реакции, процесс теплообмена между жидкостной фазой и газоздушным потоком, воды. Приведены уравнения для рас-

чета коэффициента массопередачи, позволяющего получать данные близкие с экспериментальными данными Гутьерреса. Показано следование последовательным химическим реакциям при абсорбции триоксида серы органическим сырьем. Приведены кинетические уравнения и методики расчета степени сульфатирования и цветности получаемых продуктов. Представлены основные уравнения для расчетов коэффициентов теплопередачи и коэффициентов теплоотдачи.

Приведены результаты математического моделирования процесса сульфатирования в пленочном трубчатом абсорбере.

Показана возможность достижения высоких качественных показателей получаемого продукта: степень сульфатирования 97,9 %, цветность 1 единица по йодной шкале.

Ключевые слова: сульфатирование, поверхностно-активное вещество, трубчатый пленочный абсорбер.

Dzevochko O., Podustov M., Dzevochko A.

SYSTEM ANALYSIS OF THE SULFATION PROCESS IN THE PRODUCTION OF SURFACTANT SUBSTANCES

Data on the use of surface-active substances in various areas of Ukrainian industry are given. The rapid development of the production of surface-active substances is shown. The main stages of the production of surface-active substances are given. It is shown that the sulfation stage is the main one, at which high quality indicators of the obtained products are achieved.

The main disadvantages and advantages of sulfating agents in the technology of surface-active substances (surfactants) are given. The characteristics of the equipment and technological schemes of the sulfation process of organic substances are given.

It is claimed that the use of tubular film absorbers with a downward flow of phases is currently the most promising for use in industrial conditions.

Convective diffusion equations for the simplified models of Lewis – Whitman, Levich, Higby, Dankverts are given.

It is proposed to present the process of sulfation in a tubular film absorber with the following stages: the process of mass transfer of gaseous sulfur trioxide to the surface of the interface, the process of absorption of sulfur trioxide by an organic substance with the passage of an exothermic chemical reaction, the process of heat exchange between the liquid phase and the gaseous air flow, the process of heat exchange between the liquid phase and the flow of cooling water. The equation for calculating the mass transfer coefficient is given, which allows obtaining data close to Gutierrez's experimental data. The passage of successive chemical reactions during the absorption of sulfur trioxide by organic raw materials is shown. Kinetic equations and methods of calculating the degree of sulfation and color of the obtained products are given. Basic equations for calculating heat transfer coefficients and heat transfer coefficients are given.

The results of mathematical modeling of the sulfation process in a tubular film absorber are given.

The possibility of achieving high quality indicators of the obtained product is shown: the degree of sulfation is 97,9 %, the color is 1 unit on the iodine scale.

Keywords: sulfation, surfactant, tubular film absorber.

Чернявський А.В., Григоров А.Б., д. техн. н., професор

ПАЛИВО ДЛЯ СУДНОПЛАВСТВА, ОТРИМАНЕ З ВТОРИННОЇ ПОЛІМЕРНОЇ СИРОВИНИ

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

Ключові слова: морське паливо; фракції; каталізатор; цеоліт; піроліз; полімерна сировина; сірка; стабільність; фізична стабільність.

Вступ. Розширення сировинної бази процесу виробництва моторних палив на сьогоднішній день для України набуває особливого значення. Нездатність вітчизняної нафтопереробної промисловості забезпечити попит на моторні палива пов'язана як з обмеженою наявною сировинною базою, так і зі скороченням внаслідок дефіциту цієї бази виробничих потужностей виробництва. При цьому, виникає гостра потреба у залучанні до виробництва палива альтернативної сировини, використання якої в умовах, що склалися, дозволить отримувати моторні палива з високим рівнем експлуатаційних та екологічних властивостей.

Мета та постановка завдання дослідження. На сьогоднішній день основним джерелом сировини для виробництва різних видів моторних палив, зокрема палив для судноплавства, є «класична» вуглеводнева сировина – нафта. Але за останнє десятиріччя, з огляду на погіршення світової екологічної ситуації та значний попит на моторні палива, все частіше в технології виробництва різних видів палива (наприклад, моторних та енергетичних) пропонується використовувати вторинну сировину, зокрема полімерну [1–3]. Означена сировина поміж іншої вторинної сировини має ряд суттєвих переваг, які можуть бути використані при виробництві нафтопродуктів, зокрема моторних палив. Основними технологічними процесами її переробки є низькотемпературний термічний та каталітичний піроліз ($t = 450\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P = 0,11\text{--}0,14\text{ МПа}$).

На нашу думку, розширення сировинної бази процесу виробництва морських палив – *marine gasoil* (MGO) за рахунок залучення вторинної полімерної сировини є досить перспективним, але потребує свого всебічного дослідження.

Експериментальні дослідження. В якості вторинної полімерної сировини нами було обрано для дослідження поліетилен високої густини (HDPE), який був представлений використаними плівками та пакетами. Даний тип полімерного матеріалу відноситься до багатотоннажних, бо завдяки своїм позитивним властивостям використовується у складі понад 30 % усіх полімерних виробів.

Попередня підготовка сировини полягала в її відмиванні, подрібненні (розмір часточок 3–5 мм) та просушуванні (температура 70–80 °C, тривалість – 4 год.).

Підготовлений полімерний матеріал підлягав піролізу в лабораторному реакторі як з використанням каталізатору (цеолітний каталізатор ZSM-5), так і без нього. Температура піролізу складала 450 °C, а тиск – 0,12 МПа.

Далі, продукти піролізу проходили стадію фракціонування за ASTM D86, де з них було виділено фракцію з межами википання 190–360 °C, яка сьогодні досить широко

використовується для виробництва палива для судноплавства. Окрім цих продуктів, з метою проведення подальшого порівняльного аналізу, з нафтової сировини нами також було виділено прямогонну фракцію з аналогічними межами википання.

На наступному етапі досліджень в отриманих фракціях, використовуючи стандартні методики, нами було визначено їх хімічний склад та пов'язані з ним деякі показники їх якості.

Згідно з ISO 8217 2017 до переліку основних показників якості морських палив, які в першу чергу впливають на забруднення навколишнього середовища, відноситься вміст сірки. Сьогодні в світі за вмістом сірки діють досить жорсткі обмеження – максимальний вміст сірки в морському паливі не повинен перевищувати 5000 ppm, за винятком зони контролю викидів сірки в Європі (SECA), де максимальний рівень становить 1000 ppm [4, 5].

Проведені нами дослідження за ASTM D4294 показали, що в зразку прямогонної газойлевої фракції вміст сірки дорівнював 3000 ppm, що є припустимим для морського палива. Однак, таке паливо без проведення гідроочищення не може використовуватися в зоні контролю викидів сірки в Європі (SECA). При цьому, вміст сірки в фракціях, отриманих з поліетилену, оказався на рівні нижчому ніж поріг визначення ($S < 5$ ppm).

Окрім вмісту сірковмісних сполук, для морських видів палива, особливо враховуючи умови їх застосування, певний інтерес представляє гігроскопічність, хоча цей показник і не входить до переліку показників якості за ISO 8217 2017. Гігроскопічність – здатність палива до поглинання вологи з навколишнього середовища. Відомо, що розчинність води, або гігроскопічність палива, залежить від кількох факторів: хімічного та фракційного складу палив; температури, вологості повітря [6, 7]. За величиною такого показника можна судити про придатність палива для даних умов застосування або про відповідність місця та умов його зберігання [8].

Дослідження гігроскопічності отриманих фракцій нами здійснювалося у наступний спосіб: фракції ретельно перемішували з водою у співвідношенні 1:1 та зберігали протягом 120 діб при температурі 20 ± 1 °C. Далі шляхом декантації, відокремлювали паливний шар і визначали вміст води методом ASTM D1744-13. Результати залежності гігроскопічності (Γ , ppm) від температури (t_n , °C) та початку кипіння ($t_{п.к.}$, °C) отриманих фракцій представлено на рис. 1.

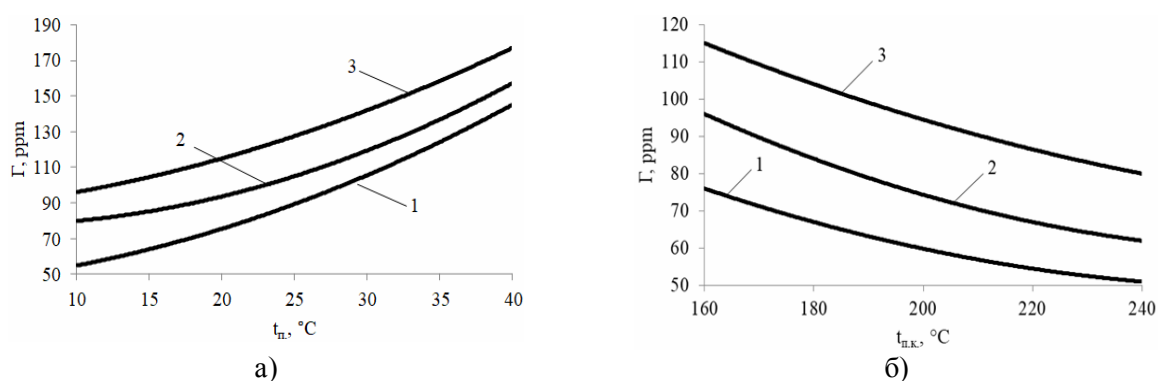


Рисунок 1 – Залежність Γ від t_n (а) та $t_{п.к.}$ (б):

1 – нафтова фракція; 2 – фракція каталітичного піролізу; 3 – фракція термічного піролізу

Аналізуючи отримані залежності, очевидно, що найбільшою гігроскопічністю (при 20 °C, $\Gamma=115$ ppm) характеризується фракція, що отримана при термічному піролі-

зу полімерної сировини, а найнижчою (при 20 °C, $\Gamma=75$ ppm) – прямогонна фракція, отримана з нафти. Фракція, отримана при каталітичному піролізі на цеолітах, за значенням гігроскопічності (при 20 °C, $\Gamma=94$ ppm) займає проміжне значення. Це пояснюється з огляду на груповий хімічний склад отриманих фракцій. Відомо, що найбільшою гігроскопічністю проміж груп вуглеводнів, що входять до складу фракцій, володіють ароматичні та ненасичені (олефінові) вуглеводні. Причому, значення гігроскопічності для вуглеводнів означених класів знаходяться в межах одного інтервалу, при 20 °C – 300–600 ppm [9].

Так, використовуючи метод газової хроматографії – мас-спектрометрії (ГХ/МС), було встановлено, що прямогонна фракція в своєму складі сумарно містить 5,7 % вуглеводнів цих груп. Фракція, отримана термічним піролізом полімерної сировини, містить 35,8 % ненасичених вуглеводнів і зовсім не містить ароматичних вуглеводнів. Фракція, отримана каталітичним піролізом полімерної сировини, на відміну від фракції, що отримана термічним піролізом, містить 2,5 % ненасичених вуглеводнів і 14,8 % ароматичних вуглеводнів.

Також встановлено, що зі збільшенням температури початку кипіння фракції на 80 °C незалежно від хімічного складу отриманих продуктів відбувається зменшення величини їх гігроскопічності. Це зниження складає: для прямогонної фракції – 25 ppm; для фракції каталітичного піролізу – 37 ppm; для фракції термічного піролізу – 38 ppm. Зважаючи на це відмітимо, що температура початку кипіння фракцій виступає тим самим технологічним параметром, яким можна керувати гігроскопічністю фракцій.

Хоча отримані результати і ілюструють, що фракції, отримані як термічним, так і каталітичним піролізом полімерної сировини, володіють дещо більшим значенням гігроскопічності, ніж прямогонна фракція, отримана з нафтової сировини, але це не є критичним. Зважаючи на це, фракція каталітичного піролізу разом з прямогонною нафтовою фракцією навіть без додаткової стабілізації/очищення можуть вважатися повністю придатними для виробництва палива для судноплавства. Фракцію термічного піролізу, з огляду на вміст ненасичених вуглеводнів, можна вважати лише компонентом для виробництва морського палива.

Відомо, що наявність води в паливі призводить до корозійного впливу палив на різні метали [10, 11]. Зважаючи на це, певний практичний інтерес викликає дослідження, пов'язані з встановленням впливу гігроскопічності палив, отриманих з полімерної сировини на корозію мідної пластинки, яка визначається за методом, що описаний у ASTM D130, але в широкому діапазоні температур (10–50 °C).

Встановлено, що незалежно від технології отримання фракцій (термічний або каталітичний піроліз), вони показали рівень корозії 1 а. Тобто, мідна пластинка мала світло-оранжевий колір, майже такий самий, як вихідна відполірована мідна пластинка. Це пояснюється відсутністю у сировині агресивних до металів корозійних агентів (органічних кислот, сірки, хлору).

Певний практичний інтерес представляє вплив температури початку кипіння фракцій, отриманих з полімерної сировини, на величину температури їх спалаху ($t_{сп.}$, °C) та вихід цільового продукту (В, %). Відповідні залежності представлені на рис. 2.

Як показано на рис. 2 а, температура початку кипіння істотно впливає на величину температури спалаху фракції. Так, досягти температуру спалаху, яка дорівнює 60 °C, що у відповідності до ISO 8217 2017 є мінімально-допустимою температурою для морських палив, можливо лише при досягненні температури початку кипіння на рівні 184 °C (для фракцій каталітичного піролізу) та 187 °C (для фракцій термічного

піролізу). Різниця між величинами температури спалаху для фракцій термічного та каталітичного піролізу, складає 3 °С, що пояснюється різницею у хімічному складі фракцій.

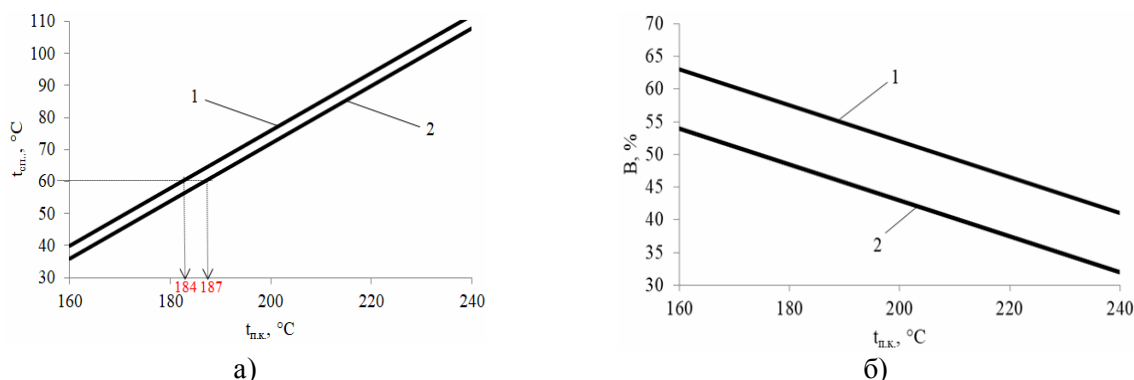


Рисунок 2 – Залежність $t_{сп}$ (а) та B (б) від $t_{п.к.}$:
1 – фракція каталітичного піролізу; 2 – фракція термічного піролізу

Отже, температура початку кипіння фракцій, як і в випадку з гігроскопічністю, може виступати параметром, що дозволяє керувати якістю кінцевого продукту. Але, разом з тим, значно підвищувати цей показник не доцільно з огляду на зниження виходу цільового продукту (див. рис. 2 б).

Висновки. Вторинна полімерна сировина, особливо для України, є перспективною сировиною, за рахунок якої можна значно розширити сировинну базу технологічних процесів, спрямованих на виробництво різних видів моторних палив.

Основною перевагою такої сировини є або відсутність (при використанні відсортованих вторинних поліолефінів) або досить низький (при використанні сумішей полімерів) вміст сірковмісних сполук. Для сумішей полімерів вміст сірковмісних сполук в рідких продуктах піролізу може доходити до 150–200 ppm.

Переробляючи вторинні полімери шляхом піролізу або каталітичного піролізу, можна отримати палива, які за вмістом сірки (0,5 % та 0,1 %, відповідно) будуть відповідати *marine gasoil* (MGO) або *low sulfur marine gasoil* (LS-MGO).

В продуктах термічного піролізу вторинної полімерної сировини міститься до 30–40 % олефінових вуглеводнів, які мають низьку хімічну стабільність та підвищену, у порівнянні з парафіновими та нафтовими вуглеводнями, гігроскопічність. Такі продукти, з огляду на їх низьку хімічну стабільність, доцільно використовувати лише як компоненти морських палив.

Продукти каталітичного піролізу вторинної полімерної сировини навпаки, мають високу хімічну стабільність внаслідок низького (до 3 %) вмісту олефінових вуглеводнів. Але, при цьому, вони містять у своєму складі до 15 % ароматичних вуглеводнів, що не перевищує загально прийняті обмеження на їх вміст у моторних паливах.

Основним параметром, яким можна регулювати деякі показники якості отриманих продуктів, виступає температура початку кипіння отриманих фракцій. Її збільшення значно знижує гігроскопічність та підвищує температуру спалаху отриманих продуктів. Але, одночасно з цим, збільшення температури початку кипіння фракції лише на 1 °С призводить до зниження її виходу на 0,275–0,325 %.

Література

1. Energy recovery of waste plastics into diesel fuel with ethanol and ethoxy ethyl acetate additives on circular economy strategy / Sambandam Padmanabhan, K. Giridharan, Balasubramaniam Stalin, Subramanian Kumaran, V. Kavimani, N. Nagaprasad, Leta Tesfaye Jule, Ramaswamy Krishnaraj // *Scientific Reports*. – 2022. – № 12. – 5330.
2. Technology for producing components of technological and boiler fuels from polymer raw materials / K. Shevchenko, A. Grigorov, V. Ponomarenko, M. Nahliuk, O. Bondarenko, Y. Stetsiuk, V. Matukhno // *Petroleum & Coal journal*. – 2021. – Volume 63. – Issue 3. – pp. 736–741.
3. Thermal conversion of waste plastics into fuel oil / A.S. Olufemi, S.A. Olagboye // *International Journal of Petrochemical Science & Engineering*. – 2017. – Volume 2. – Issue 8. – P. 252–257.
4. A study on the necessity of integrated evaluation of alternative marine fuels / Hyungju Kim, Kwi Yeon Koo, Tae-Hwan Joung // *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*. – 2020. – Volume 4. – Issue 2. – P. 26–31.
5. Toward an evaluation of marine fuels for a clean and efficient autonomous ship propulsion energy / A. Ait Allal, K. Mansouri, M. Youssfi, M. Qbadou // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – Volume 13. – Part 3. – P. 486–495.
6. Shuang Han/ Hygroscopicity of organic compounds as a function of organic functionality, water solubility, molecular weight and oxidation level / Shuang Han, Juan Hong and all // *Atmospheric chemistry and physics discussions*. – 2022. – P. 3985–4004.
7. Nagornov S.A. Investigation of the hygroscopicity of motor fuels / Nagornov, S.A. Zazulya, A.N., Golubev, I.G., // *Machinery and Equipment for Rural Area*. – 2018. – № 6. – P. 41–44.
8. Krzysztof Biernat. Storage Stability of Fuels / Krzysztof Biernat. – Łukasiewicz R&D Network – Automotive Industry Institute, 2015. – 278 p.
9. Brian J. Neely. Mutual Solubility Measurements of Hydrocarbon–Water Systems Containing Benzene, Toluene, and 3-Methylpentane / Brian J. Neely, Jan Wagner, Robert L. Robinson, Jr. and Khaled A. M. Gasem. // *Journal of Chemical & Engineering Data*. – 2008. – 53 (1). – P. 165–174.
10. Fazal M.A. Comparative corrosive characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials / M.A. Fazal, A.S.M.A. Haseeb, H.H. Masjuki // *Fuel Process Technol.* – 2010. – №91(10). – P. 1308–1315.
11. Chandran D. Sustainability of water in diesel emulsion fuel: An assessment of its corrosion behaviour towards copper / D. Chandran, M. Khalid, R. Raviadaran, H. Lik Nang Lau, C.L. Yung, D.K. Mohammed Salim // *Journal of Cleaner Production*. – 2019, – Vol. 220. – P. 1005–1013.
12. Hall K.R. Densities of Aromatic Hydrocarbons / K.R. Hall, K.N. Marsh.: Springer Berlin, Heidelberg, 1998. – 373 p.

УДК 662.7

Чернявський А.В., Григоров А.Б.

ПАЛИВО ДЛЯ СУДНОПЛАВСТВА, ОТРИМАНЕ З ВТОРИННОЇ ПОЛІМЕРНОЇ СИРОВИНИ

В статті розглянуто можливість розширення сировинної бази процесу виробництва моторних палив, зокрема палив для судноплавства, за рахунок використання вто-

ринної полімерної сировини. Встановлено, що дана сировина, яка представлена різними поліолефінами, характеризується відсутністю або досить низьким (до 150–200 ppm) вмістом сірковмісних сполук.

Отже, за таким показником як вміст сірки, використовуючи технології термічного або каталітичного піролізу в апараті реакторного типу, з вторинної полімерної сировини можна отримати палива, які за вмістом сірки (0,5 % та 0,1 %, відповідно) будуть відповідати *marine gasoil* (MGO) або *low sulfur marine gasoil* (LS-MGO).

Експериментально встановлено, що в продуктах термічного піролізу вторинної полімерної сировини міститься до 30–40 % олефінових вуглеводнів, які мають низьку хімічну стабільність та підвищену, у порівнянні з парафіновими та нафтовими вуглеводнями, гігроскопічність. Такі продукти, з огляду на їх властивості, доцільно використовувати лише як компоненти морських палив. На відміну від цього, продукти каталітичного піролізу (процес відбувався з використанням цеолітного каталізатору ZSM-5) вторинної полімерної сировини навпаки, мають високу хімічну стабільність внаслідок низького (до 3 %) вмісту олефінових вуглеводнів. Але, при цьому, вони містять у своєму складі до 15 % ароматичних вуглеводнів, що не перевищує загально прийняті обмеження на їх вміст у моторних паливах.

Визначено, що основним параметром, яким можна регулювати деякі показники якості отриманих продуктів, виступає температура початку кипіння отриманих фракцій. Її збільшення значно знижує гігроскопічність та підвищує температуру спалаху отриманих продуктів. Разом з тим, значно підвищувати цей показник не доцільно, з огляду на зниження виходу цільового продукту (збільшення температури початку кипіння фракції лише на 1 °C призводить до зниження її виходу на 0,275–0,325 %).

Ключові слова: морське паливо; фракції; каталізатор; цеоліт; піроліз; полімерна сировина; сірка; стабільність; фізична стабільність.

Чернявский А.В., Григоров А.Б.

ТОПЛИВО ДЛЯ СУДОХОДСТВА, ПОЛУЧЕННОЕ ИЗ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО СЫРЬЯ

В статье рассмотрена возможность расширения сырьевой базы процесса производства моторных топлив, в частности топлива для судоходства, за счет использования вторичного полимерного сырья. Установлено, что данное сырье, которое представлено разными полиолефинами, характеризуется отсутствием или достаточно низким (до 150–200 г/г) содержанием серы.

Следовательно, по такому показателю, как содержание серы, используя технологии термического или каталитического пиролиза в аппарате реакторного типа, из вторичного полимерного сырья можно получить топлива, которые по содержанию серы (0,5 % и 0,1 % соответственно) будут соответствовать *marine gasoil* (MGO) или *low sulfur marine gasoil* (LS-MGO).

Экспериментально установлено, что в продуктах термического пиролиза вторичного полимерного сырья содержится до 30–40 % олефиновых углеводородов, имеющих низкую химическую стабильность и повышенную по сравнению с парафиновыми и нафтовыми углеводородами гигроскопичность. Такие продукты, учитывая их свойства, целесообразно использовать только в качестве компонентов морских топлив. В отличие от этого, продукты каталитического пиролиза (процесс происходил с использованием цеолитного каталитатора ZSM-5) вторичного полимерного сырья, напротив,

имеют высокую химическую стабильность вследствие низкого (до 3 %) содержания олефиновых углеводородов. Но, при этом, они содержат в своем составе до 15 % ароматических углеводородов, что не превышает общепринятые ограничения на их содержание в моторных топливах.

Определено, что основным параметром, которым можно регулировать некоторые показатели качества полученных продуктов, выступает температура начала кипения полученных фракций. Ее увеличение значительно снижает гигроскопичность и повышает температуру вспышки полученных продуктов. Вместе с тем значительно повышать этот показатель не целесообразно, учитывая снижение выхода целевого продукта (увеличение температуры начала кипения фракции всего на 1 °C приводит к снижению ее выхода на 0,275–0,325 %).

Ключевые слова: морское топливо; фракции; катализатор; цеолит; пиролиз; полимерное сырье; сера; стабильность; физическая устойчивость.

Chernyavsky A.V., Grigorov A.B.

SHIPPING FUEL PRODUCED FROM SECONDARY POLYMER RAW MATERIALS

The article considers the possibility of expanding the raw material base of the production of motor fuels, particularly the fuels for shipping due to the use of secondary polymer raw materials. It was established that this raw material, which is represented by various polyolefins, is characterized by the absence or rather low (up to 150–200 ppm) content of sulfur-containing compounds.

Therefore, according to such an indicator as the sulfur content, using thermal or catalytic pyrolysis technologies in a reactor-type apparatus, it is possible to obtain fuels from secondary polymer raw materials, which in terms of sulfur content (0.5 % and 0.1 %, respectively) will correspond to *marine gasoil* (MGO) or *low sulfur marine gasoil* (LS-MGO).

It was experimentally established that the products of thermal pyrolysis of secondary polymer raw materials contain up to 30–40 % of olefinic hydrocarbons, which have low chemical stability and increased hygroscopicity compared to paraffinic and naphthenic hydrocarbons. Given their properties, such products should only be used as components of marine fuels. The products of catalytic pyrolysis (the process was carried out using the ZSM-5 zeolite catalyst) of secondary polymer raw materials, on the contrary, have high chemical stability due to the low (up to 3 %) content of olefinic hydrocarbons. But, at the same time, they contain up to 15 % aromatic hydrocarbons in their composition, which does not exceed the generally accepted restrictions on their content in motor fuels.

It has been determined that the initial boiling point of the obtained fractions is the main parameter, which can be used to regulate some quality indicators of the products obtained. Its increase significantly reduces hygroscopicity and increases the flash point of the obtained products. However, it is not advisable to significantly increase this indicator, given the decrease in the yield of the target product (increasing the boiling point of the fraction by only 1 °C leads to a decrease in its yield by 0.275–0.325 %).

Keywords: marine fuel; fractions; catalyst; zeolite; pyrolysis; polymer raw materials; sulfur; stability; physical stability.

Лебедєв В.В., к.техн.н., доцент, Мірошніченко Д.В., д.техн.н., професор,
Тихомирова Т.С., к.техн.н., доцент, Савченко Д.О., студент, Мазченко М.В., студентка,
Мисяк В.Р., магістр, Кочетов М.С., аспірант, Соловей Л.В., старший викладач

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІЛАКТИДУ, КАВОВОЇ ГУЩІ ТА ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: екологічно безпечні, біодеградабельні, композити, гібридна модифікація, полілактид, кавава гуща, гумінові речовини.

Вступ. Одним з найбільш ефективних полімерів для виробництва біопластиків є синтетичний поліестер - полімолочна кислота у вигляді полілактиду [1]. Полілактид відноситься до біопластиків природного циклу одержання, бо він одержується шляхом ферментації сировини та відходів різних культур, багатих крохмалем: такі як кукурудза, буряк або висівки пшеничні [2]. Фактично ПЛА реалізує в собі принцип «Zero Waste» та дозволяє уникнути будь-якого роду конкуренції між різними галузями промисловості, через те, що він є біопластиком, який отримується з побічних продуктів агропродовольчої промисловості. Плівкоутворююча здатність крохмалю дозволяє використовувати його як основну полімерну матрицю для розробки біопластичних матеріалів, у той час як ліпіди використовуються для надання гідрофобності, пластичності та еластичності. Однак поряд з наявністю широкого комплексу корисних властивостей у порівнянні з найбільш широко використовуваними нафтохімічними пластиками, полілактид характеризується низькою паро- та газонепроникністю [2, 3], що значно обмежує сферу його застосування. За для усунення вищезгаданих недоліків полілактиду використовують різні напрями його функціональної модифікації іншими біопластиками або наповнювачами органічної та неорганічної природи. Одним з найбільш ефективних напрямів при цьому є одержання композицій полілактиду, наповнених кавовими відходами. Фактично відходи кави є джерелом різних молекул, придатних для розробки полімерних матеріалів та композитів з різними фізико-хімічними та/або біологічними властивостями. У цьому огляді основна увага приділяється можливості використання кавової гущі для розробки композицій полілактиду з покращеними фізико-хімічними, механічними, бар'єрними та біодеградабельними властивостями. Незважаючи на те, що в хімічному складі відпрацьованої кавової гущі можуть спостерігатися невеликі варіації в залежності від кавового напою, умови екстракції [4] та складу обсмажених кавових зерен, що залежить від видів кави та умови післязбиральної обробки, загальний склад відпрацьованої кавової гущі оптимально підходить для одержання наповнених біодеградабельних композитів з полілактиду для харчових та нехарчових продуктів. На сьогодні існує значна кількість наукових досліджень кавової гущі як наповнювач у полімерних композиційних матеріалах [5, 6, 7]. Так, у роботі [8] була продемонстрована можливість використання кавової гущі та лузги в якості посилюючого агента в біокомпозитах на основі сумішей полібутиратадипінтерефталату (PBAT) і полігидроксивінілбутирату (PHBV). Метою підвищення сумісності кавової гущі з різними біопластиками досліджено використання компабілізаторів з метою підвищення міжфазної адгезії між

натуральними наповнювачами та полімерними матрицями [9]. У наших наукових статтях [10, 11] також вивчені біопластикові полімерні матриці наповнені відходами кавової гущі, але ці роботи мають більш науковий, ніж прикладний промисловий характер. Саме тому дуже актуальним є розробка та дослідження гібридних екологічно безпечних біодеградабельних полімерних композиційних матеріалів на основі полілактиду та відходів кавової гущі при їх сумісній функціональній гібридній модифікації гуміновими речовинами з метою досягнення у таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних полімерних композиційних матеріалів оптимального комплексу експлуатаційних властивостей.

Мета статті – дослідження гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин.

Об'єкти та методи дослідження. Використовували полімер молочної кислоти полілактид екструзійної марки Terramac TP-4000. Полілактид TP-4000 — це біодеградабельна рослинна полімолочна кислота, яка проявляє покращені властивості розтопу, низьку кількість викидів CO₂, ніж звичайні пластмаси, низьку горючість і відсутність викидів токсичних газів (наприклад, діоксинів, хлористого водню, NO_x або SO_x).

Використовували відходи кавової гущі, зібрані в 8 різних кав'ярнях в місті Харкові та висушені до вологості 0,5%. Відходи кавової гущі мають поліфракційний склад в межах розміру частинок від 0,5 до 1 мм.

Як гібридні модифікатори використовували гумінові речовини, які отримували при екстракції бурого вугілля лужним розчином пірофосфату натрію з подальшою екстракцією 1 %-ним розчином гідроксиду натрію і осадженням мінеральної кислотою [12]. В таблиці 1 наведена характеристика дослідних зразків бурого вугілля різного ступеня метаморфізму.

Таблиця 1 – Технічний аналіз бурого вугілля*

Зразок вугілля	Технічний аналіз, %			
	W ^a	A ^d	S _t ^d	V ^d
ГР1	16,8	48,7	2,50	29,1
ГР2	8,1	8,3	1,87	43,7
ГР3	30,6	36,7	4,00	43,7

W^a – волога на аналітичний стан, %; A^d – зольність на сухий стан, %; S_t^d – вміст сірки на сухий стан, %; V^d – вихід летких речовин на сухий беззольний стан, %.

Композити отримували шляхом екструдювання попередньо підготовлених полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в одношнековому лабораторному екструдері при температурі 170–200 °С і швидкість обертання валка 30–100 об/хв. Співвідношення L/D екструдера становить 25, а в з метою підвищення однорідності розподілу дисперсних кавових відходів у готових композиціях.

Дослідження ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині зразків без надрізу при температурі 20 °С проводили на маятниковому копрі згідно ISO 180 та ISO 178 відповідно. Температурні інтервали топлення і деструкції полімерів визначали на латунному диску розміром діаметр 50 мм товщина 19 мм з боковим отвором під термометр діаметром 9 мм. Дослідження показника плинності розтопу (ППР) виконували за допо-

могою приладу ПРТ-М при 190 °С та навантаженні 2,16 кгс. При визначенні біодеградабельності гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в якості контрольних зразків використовувалися полімерні плівки товщиною. Дослідження на біодеградацію проводили у модельній системі: використовували контейнери, що заповнювалися 150 грамами польової землі, ступінь біодеградації оцінювали за втратою ваги зразків.

Обговорення результатів

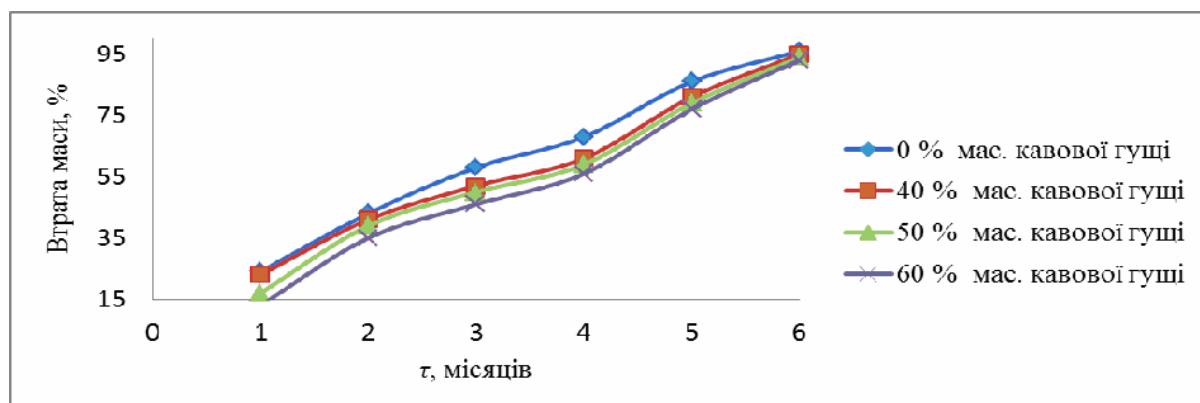
На початковому етапі було досліджено оптимальний вміст кавової гущі у гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в аспекті досягнення максимальних фізико-механічних та технологічних властивосте. В таблиці 2 наведено зведені данні по фізико-механічним і технологічним властивостям розроблених гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин.

Таблиця 2 – Зведені властивості фізико-механічних і технологічних властивостей гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин

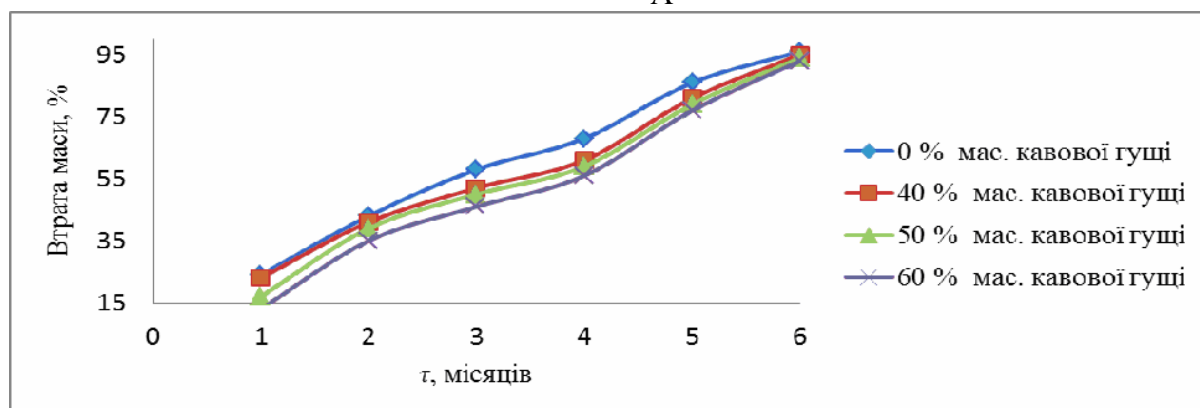
Вміст полілактиду, % мас.	Вміст відходів кавової гущі% мас.	Тип гумінових речовин при їх вмісті 0,5 % мас.	Ударна в'язкість, МПа	Руйнівна напруга при вигині, МПа	ППР, г/10 хв.	Температура топлення, °С
60	40	ГР1	33	330	3,9	178
50	50		36	470	3,7	180
40	60		20	350	3,6	184
60	40	ГР2	36	350	3,7	180
50	50		39	500	3,5	182
40	60		22	390	3,4	186
60	40	ГР3	42	420	3,3	182.00
50	50		45	530	3,1	186.00
40	60		27	480	3,0	190.00

Дані свідчать про зростання ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині при гібридній модифікації екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин у 2, 5 рази, при цьому оптимальним з погляду міцностних характеристик є вміст кавової гущі на рівні 50 % мас. та 0,5 % мас. ГР3. Для таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин характерний ППР на рівні 3,1 г/10 хв. та температурний інтервал переробки 182–188 °С.

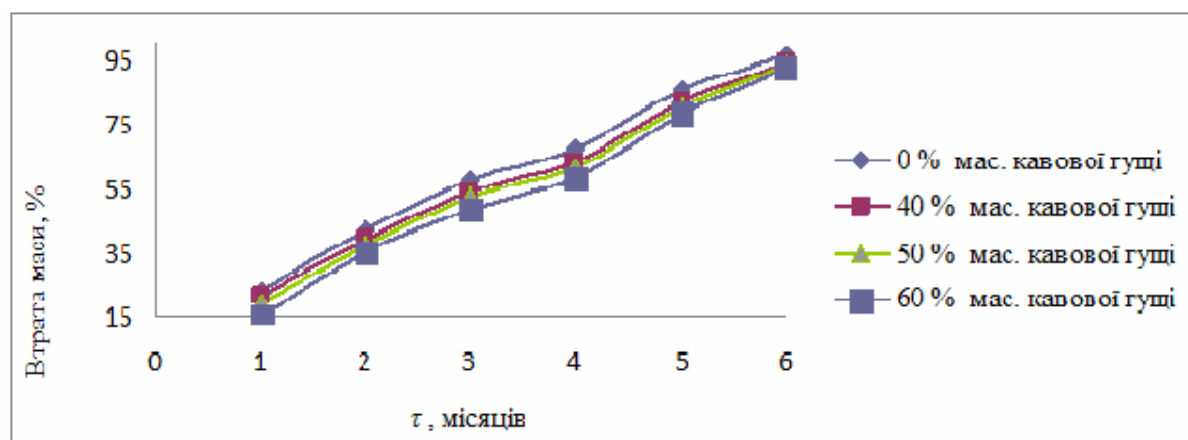
На рис. 1 наведено дослідження біодеградації гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин при різному вмісті кавової гущі та різних гумінових речовин.



А



Б



В

Рисунок 3 – Залежність ступеня біодеградації гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гуші та гумінових речовин при різному вмісті кавової гуші та вмісті 0,5 % мас.: А – ГР1; Б – ГР2; В – ГР3

Загалом, можна побачити, що гібридна модифікація в рамках одержання гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гуші та гумінових речовин при вмісті 0,5 % мас. різних типів гумінових речовин в них та різному вмісті кавової гуші дозволяє зберегти в них властивості до біодеградації впродовж 6 місяців.

Висновки. В статті проведено дослідження з метою встановлення особливостей характеристик гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин. Встановлено, що гібридна модифікація високонаповнених систем полілактид-кавова гуща гуміновими похідними бурого вугілля у вигляді гумінових речовин дозволяє значно збільшити основні міцності характеристики. Встановлено, що спостерігається зростання ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині при гібридній модифікації екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин у 2,5 рази, при цьому оптимальним з погляду міцностних характеристик є вміст кавової гущі на рівні 50 % мас. та 0,5 % мас. гумінових речовин. Для таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин характерний ППР на рівні 3,1 г/10 хв. та температурний інтервал переробки 182–188 °С. Також показано, що гібридна модифікація в рамках одержання гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин при вмісті 0,5 % мас. різних типів гумінових речовин в них та різному вмісті кавової гущі дозволяє зберегти в них властивості до біодеградації впродовж 6 місяців.

Література

1. Tawakkal I.S.M.A., Cran M.J., Miltz J., Bigger S.W. A Review of Poly(Lactic Acid)-Based Materials for Antimicrobial Packaging // *J. Food Sci.* – 2014. – Vol. 79. – R1477–R1490.
2. Jamshidian M., Tehrany E.A., Imran M., Jacquot M., Desobry S. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2010. – Vol. 9. – P. 552–571.
3. Rebocho A.T., Pereira J.R., Freitas F., Neves L.A., Alves V.D., Sevrin C., Grandfils C., Reis M.A.M. Production of Medium-Chain Length Polyhydroxyalkanoates by *Pseudomonas Citronellolis* Grown in Apple Pulp Waste // *Appl. Food Biotechnol.* – 2019. – Vol. 6. – P. 71–82.
4. Lee H.K., Park Y.G., Jeong T., Song Y.S. Green nanocomposites filled with spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2015. – Vol. 132. – P. 42043.
5. Siri Wong C., Boopasiri S., Jantarapibun V., Kongsook B., Pattanawanidchai S., Sae-Oui P. Properties of natural rubber filled with untreated and treated spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2018. – Vol. 135. – P. 46060.
6. Essabir H., Raji M., Laaziz S.A., Rodrique D., Bouhfid R., el kacem Qaiss A. Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds // *Compos. Part B Eng.* – 2018. – Vol. 149. – P. 1–11.
7. Moustafa H., Guizani C., Dupont C., Martin V., Jeguirim M., Dufresne A. Utilization of Torrefied Coffee Grounds as Reinforcing Agent to Produce High-Quality Biodegradable PBAT Composites for Food Packaging Applications // *ACS Sustain. Chem. Eng.* – 2017. – Vol. 5. – P. 1906–1916.
8. Sarasini F., Tirillò J., Zuorro A., Maffei G., Lavecchia R., Puglia D., Dominici F., Luzi F., Valente T., Torre L. Recycling coffee silverskin in sustainable composites based on a

poly(butylene adipate-co-terephthalate)/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) matrix // *Ind. Crops Prod.* – 2018. – Vol. 118. – P. 311–320.

9. Kourmentza C., Economou C.N., Tsafrakidou P., Kornaros M. Spent coffee grounds make much more than waste: exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream // *J. Clean. Prod.* – 2018. – Vol. 172. – P. 980–992.

10. Lebedev V., Tykhomyrova T., Litvinenko I., Avina S., Saimbetova Z. Design and Research of Eco-Friendly Polymer Composites // *Materials Science Forum.* – 2020. – Vol. 1006. – P. 259–266.

11. Lebedev V., Miroshnichenko D., Bilets D., Mysiak V. Investigation of Hybrid Modification of Eco-Friendly Polymers by Humic Substances // *Sol St Phen.* – 2022. – Vol. 334. – P. 154–161.

12. ГОСТ 9517-94 (ИСО 5073-85) Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот.

Bibliography (transliterated)

1. Tawakkal I.S.M.A., Cran M.J., Miltz J., Bigger S.W. A Review of Poly(Lactic Acid)-Based Materials for Antimicrobial Packaging // *J. Food Sci.* – 2014. – Vol. 79. – R1477–R1490.

2. Jamshidian M., Tehrany E.A., Imran M., Jacquot M., Desobry S. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2010. – Vol. 9. – P. 552–571.

3. Rebocho A.T., Pereira J.R., Freitas F., Neves L.A., Alves V.D., Sevrin C., Grandfils C., Reis M.A.M. Production of Medium-Chain Length Polyhydroxyalkanoates by *Pseudomonas Citronellolis* Grown in Apple Pulp Waste // *Appl. Food Biotechnol.* – 2019. – Vol. 6. – P. 71–82.

4. Lee H.K., Park Y.G., Jeong T., Song Y.S. Green nanocomposites filled with spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2015. – Vol. 132. – P. 42043.

5. Siri Wong C., Boopasiri S., Jantarapibun V., Kongsook B., Pattanawanidchai S., Sae-Oui P. Properties of natural rubber filled with untreated and treated spent coffee grounds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2018. – Vol. 135. – P. 46060.

6. Essabir H., Raji M., Laaziz S.A., Rodrique D., Bouhfid R., el kacem Quiss A. Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds // *Compos. Part B Eng.* – 2018. – Vol. 149. – P. 1–11.

7. Moustafa H., Guizani C., Dupont C., Martin V., Jeguirim M., Dufresne A. Utilization of Torrefied Coffee Grounds as Reinforcing Agent to Produce High-Quality Biodegradable PBAT Composites for Food Packaging Applications // *ACS Sustain. Chem. Eng.* – 2017. – Vol. 5. – P. 1906–1916.

8. Sarasini F., Tirillò J., Zuerro A., Maffei G., Lavecchia R., Puglia D., Dominici F., Luzi F., Valente T., Torre L. Recycling coffee silverskin in sustainable composites based on a poly(butylene adipate-co-terephthalate)/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) matrix // *Ind. Crops Prod.* – 2018. – Vol. 118. – P. 311–320.

9. Kourmentza C., Economou C.N., Tsafrakidou P., Kornaros M. Spent coffee grounds make much more than waste: exploring recent advances and future exploitation strategies for

the valorization of an emerging food waste stream // J. Clean. Prod. – 2018. – Vol. 172. – P. 980–992.

10. Lebedev V., Tykhomyrova T., Litvinenko I., Avina S., Saimbetova Z. Design and Research of Eco-Friendly Polymer Composites // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 1006. – P. 259–266.

11. Lebedev V., Miroshnichenko D., Bilets D., Mysiak V. Investigation of Hybrid Modification of Eco-Friendly Polymers by Humic Substances // Sol St Phen. – 2022. – Vol. 334. – P. 154–161.

12. GOST 9517-94 (ISO 5073-85) Topливо tverdoe. Metody opredeleniya vyhoda guminovykh kislot.

УДК 678

Лебедев В.В., Мірошніченко Д.В., Тихомирова Т.С., Савченко Д.О., Мазченко М.В.,
Мисяк В.Р., Кочетов М.С., Соловей Л.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІЛАКТИДУ, КАВОВОЇ ГУЩІ ТА ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН

У статті проведено дослідження з метою встановлення особливостей характеристик гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин. Гібридні екологічно безпечні біодеградабельні наповнені композити отримували шляхом екструдювання попередньо підготовлених полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин в одношнековому лабораторному екструдері при температурі 170–200 °С і швидкість обертання валка 30–100 об/хв. При одержанні гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів використовували полімер молочної кислоти полілактид екструзійної марки Terramac TP-4000. Використовували відходи кавової гущі, зібрані в 8 різних кав'ярнях в місті Харкові та висушені до вологості 0,5 %. Як гібридні модифікатори використовували гумінові речовини. Встановлено, що гібридна модифікація високонаповнених систем полілактид-кавова гуща гуміновими похідними бурого вугілля у вигляді гумінових речовин дозволяє значно збільшити основні міцності характеристики. Встановлено, що спостерігається зростання ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині при гібридній модифікації екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин у 2,5 рази, при цьому оптимальним з погляду міцностних характеристик є вміст кавової гущі на рівні 50 % мас. та 0,5 % мас. гумінових речовин. Для таких гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин характерний показник плинності розтопу на рівні 3,1 г/10 хв. та температурний інтервал переробки 182–188 °С. Також встановлено, що гібридна модифікація в рамках одержання гібридних екологічно безпечних біодеградабельних наповнених композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин при вмісті 0,5 %

мас. різних типів гумінових речовин в них та різному вмісті кавової гущи дозволяє зберегти в них властивості до біодеградації впродовж 6 місяців.

Ключові слова: екологічно безпечні, біодеградабельні, композити, гібридна модифікація, полілактид, кавава гуща, гумінові речовини.

Лебедев В.В., Мирошніченко Д.В., Тихомирова Т.С., Савченко Д.О., Мазченко М.В., Мысяк В.Р., Кочетов М.С., Соловей Л.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА, КОФЕЙНОЙ ГУЩИ И ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

В статье проведено исследование с целью установления особенностей характеристик гибридных экологически безопасных биоразлагаемых наполненных композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ. Гибридные экологически безопасные наполненные биоразлагаемые композиты получали путем экструдирования предварительно подготовленных полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ в одношнековом лабораторном экструдере при температуре 170–200 °С и скорости вращения вала 30–100 об/мин. При получении гибридных экологически безопасных наполненных биоразлагаемых композитов использовали полимер молочной кислоты полилактид экструзионной марки Тегмас ТР-4000. Использовали отходы кофейной гущи, собранные в 8 разных кафеях в Харькове и высушенные до влажности 0,5 %. В качестве гибридных модификаторов использовали гуминовые вещества. Установлено, что гибридная модификация высоконаполненных систем полилактид-кофейная гуща гуминовыми производными бурых углей в виде гуминовых веществ позволяет значительно увеличить основные прочностные характеристики. Установлено, что наблюдается рост ударной вязкости и разрушающего напряжения при изгибе при гибридной модификации экологически безопасных биоразлагаемых наполненных композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ в 2,5 раза, при этом оптимальным с точки зрения прочностных характеристик является содержание 50 % масс. и 0,5 мас.%. гуминовые вещества. Для таких гибридных экологически безопасных наполненных биоразлагаемых композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ характерен показатель текучести расплава на уровне 3,1 г/10 мин. и температурный интервал по переработке 182–188 °С. Также установлено, что гибридная модификация в рамках получения гибридных экологически безопасных наполненных биодеградабельных композитов на основе полилактида, кофейной гущи и гуминовых веществ при содержании 0,5 % масс. различных типов гуминовых веществ в них и разном содержании кофейной гущи позволяет сохранить в них свойства биодеградации в течение 6 месяцев.

Ключевые слова: экологически безопасные, биоразлагаемые, композиты, гибридная модификация, полилактид, кофейная гуща, гуминовые вещества.

Lebedev V.V., Miroshnichenko D.V., Tykhomyrova T.S., Savchenko D.O., Mazchenko M.V., Mysiak V.R., Kochetov M.S., Solovey L.V.

RESEARCH OF HYBRID ENVIRONMENTALLY SAFE BIODEGRADABLE COMPOSITES BASED ON POLYLACTIDE, COFFEE GROUNDS AND HUMIC SUBSTANCES

In the article, a study was conducted with the aim of establishing the characteristics of hybrid ecologically safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds and humic substances. Hybrid ecologically safe biodegradable filled composites were obtained by extruding pre-prepared polylactide, coffee grounds and humic substances in a single-screw laboratory extruder at a temperature of 170–200 °C and a roll rotation speed of 30–100 rpm. When obtaining hybrid ecologically safe biodegradable filled composites, lactic acid polylactide polymer of the extrusion brand Terramac TP-4000 was used. Waste coffee grounds collected in 8 different coffee shops in the city of Kharkiv and dried to a moisture content of 0,5 % were used. Humic substances were used as hybrid modifiers. It was established that the hybrid modification of highly filled polylactide-coffee grounds systems with humic derivatives of lignite in the form of humic substances allows to significantly increase the main strength characteristics. It was established that there is a 2.5-fold increase in impact toughness and destructive bending stress during hybrid modification of environmentally safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds, and humic substances, while the optimum from the point of view of strength characteristics is the content of coffee grounds at the level of 50 % by weight and 0.5 % wt. humic substances. For such hybrid ecologically safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds and humic substances, the melting flow rate is characteristic at the level of 3.1 g/10 min. and the processing temperature range is 182–188 °C. It was also established that hybrid modification in the framework of obtaining hybrid ecologically safe biodegradable filled composites based on polylactide, coffee grounds and humic substances with a content of 0.5 % by mass. different types of humic substances in them and different contents of coffee grounds allow them to preserve biodegradation properties for 6 months.

Keywords: environmentally safe, biodegradable, composites, hybrid modification, polylactide, coffee grounds, humic substances.

Чуприна Ю.Ю.¹, ст. викл.; Близнюк О.М.², д.техн.н., професор,
Масалітіна Н.Ю.², к.техн.н., доцент, Белінська А.П.², к.техн.н., доцент

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНІВ СТІЙКОСТІ *TRITICUM AESTIVUM* ДО ЗБУДНИКІВ ХВОРОБ ТА АНАЛІЗ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

¹Державний біотехнологічний університет,

²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: пшениця яра, шкідливі організми, гени стійкості, зразок, ураженість.

Вступ

Домінування стійкості рослин-господарів та рецесивна вірулентність паразитів є результатом їх спільної еволюції з господарем, який є основним партнером. Однак мутантні гени стійкості зазвичай рецесивні. Для поповнення генофонду стійкості потрібна віддалена гібридизація. Чим більша площа засаджена стійким сортом, тим чутливішим він стає. Гени резистентності знижуються під час розмноження. Гени, які в даний час використовуються для стійкості до листової іржі, стеблової іржі, жовтої іржі та борошнистої роси - усі з пирію, жита, геліопсу тощо. Пошук екологічно безпечних та ефективних засобів збереження врожаїв цінних продуктивних культур зумовив формування альтернативних захисних методів. Серед них – використання біологічних препаратів, в основі дії яких лежить принцип антагонізму між різними видами мікроорганізмів або прояви їхньої антибіотичної активності, зокрема виділення в зовнішнє середовище токсичних для конкурентних організмів речовин [1, 2]. Біологічний метод захисту рослин ґрунтується на системному підході, комплексній реалізації двох основних напрямків: збереження і сприяння діяльності природних популяцій корисних видів (ентомофагів, мікроорганізмів), самозахисту культурних рослин в агробіоценозах та поновлення агробіоценозів корисними видами, яких в них не вистачає або тих, які відсутні. Принциповою відмінністю біологічного методу захисту рослин від будь-якого іншого є використання саме першого напрямку, який здійснюють, застосовуючи біологічні препарати, способами сезонної колонізації, інтродукції та акліматизації зоофагів і мікроорганізмів. Розмноженню і ефективності діяльності корисних видів сприяють агробіотехнічні заходи, та деякі способи обробітку ґрунту за допомогою яких можна створювати сприятливі умови для життєдіяльності зоофагів. Важливим агротехнічним заходом є вирощування стійких до шкідливих організмів сортів культурних рослин, що сприяє формуванню слабожиттєздатних популяцій шкідників [3, 4].

Дослідження існуючих рішень проблеми

Стійкість рослин до хвороб є одним із засобів протидії фітопатогенам і є найбільш економічно вигідним і екологічно безпечним методом боротьби із хворобами рослин. Одними із найбільш небезпечних хвороб пшениці ярої є септоріоз (*Septoria tritici*), бура листової іржі – (*Puccinia recondita f.*), борошниста роса – (*Erysiphe graminis*). Втрати врожаю в період епіфітотії бурої іржі може досягати до 30 %, а стеблової від 50–100 %. Селекція на стійкість до біотичних чинників в першу чергу за-

лежить від наявності джерел стійкості різного походження, в тому числі отриманих від близьких і віддалених співродичів пшениці [4].

Умови середовища (температура, вологість) впливають як на стан рослин-живителів, так і на стан збудників хвороб, можуть сприяти чи перешкоджати розвитку паталогічного процесу, впливати на експресію генів стійкості і, таким чином, – на прояв ознаки стійкості у фенотипі. Зокрема, встановлено, що гени стійкості в рослинах досить відчутно реагують на коливання температур. Від температури та вологості навколишнього середовища залежить їх експресивність і стабільність прояву. До групи антагоністичних відносяться препарати, синтезовані на основі гормонів комах, феромонів (біологічно активних речовин, які виявляють внутрішньовидову популяційну дію) або виготовлені на зразок природних компонентів. Ці біопрепарати впливають на сигнальну систему організмів, здатні змінювати характер статевої поведінки, а відтак, регулювати чисельність шкідників на рослинах. До іншої групи належать біопрепарати, діючим агентом у яких виступають мікроорганізми (бактерії, гриби, віруси) та продукти їх життєдіяльності. Ці речовини синтезують біотехнологічними методами, вони мають інсектицидний, фунгіцидний або родентицидний ефект [5, 6].

Мета та основні задачі дослідження

Проаналізувати колекційні зразки пшениці ярої різного еколого-географічного походження за генами стійкості до шкідливих організмів та виділити екологічно стабільні популяції за їх комплексною та індивідуальною стійкістю при зміні кліматичних умов середовища. Охарактеризувати біологічні препарати для боротьби із збудниками хвороб.

Матеріали та методи досліджень

Польові дослідження проводили у 2018–2020 рр. на ННВЦ «Дослідне поле» Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва (ХНАУ ім. В.В. Докучаєва). Дослідне поле розташоване у межах землекористування навчально-дослідного господарства Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва у північно-східній частині Харківської області [7–9].

В якості вихідного матеріалу використовували 76 зразків *Triticum aestivum* та *Triticum durum*; малопоширені: *Monococcum*, *boeoticum*, *sinskajae*, *timopheevii*, *militinae*, *dicoccum*, *ispahanicum*, *persicum*, *turgidum*, *aethiopicum*, *spelta*, *compactum* та амфідіплоїдні зразки. Вихідний матеріал отриманий з Національного центру генетичних ресурсів рослин України (НЦГРРУ) який володіє рядом господарсько-цінних ознак. Зразки інтродуковані з різних еколого-географічних районів [10].

Результати дослідження

Умови середовища (температура, вологість) впливають як на стан рослин-живителів, так і на стан збудників хвороб, можуть сприяти чи перешкоджати розвитку паталогічного процесу, впливати на експресію генів стійкості і, таким чином, – на прояв ознаки стійкості у фенотипі. Зокрема, встановлено, що гени стійкості в рослинах досить відчутно реагують на коливання температур. Від температури та вологості навколишнього середовища залежить їх експресивність і стабільність прояву.

У зв'язку з тим, що сума опадів за вегетаційний період в 2021 році склала 215,5 мм, а це суттєво вище ніж в 2018 р. (101 мм) та 2019 р. (141,9 мм), тому прояв хвороб в 2021 році був значно інтенсивнішим, що відображено на графіку.

За результатами років вивчення, серед колекційного матеріалу пшениці ярої

септоріоз проявлявся, починаючи з фази кушіння до молочно-воскової стиглості. Найбільш сприйнятливими до цієї хвороби виявилися зразки: російської селекції (№ 63) UA0500007 поширеність хвороби склала 16,05 %, (№34) UA0300009, які належить до виду *Triticum dicocum*, поширеність хвороби становила 15,2 %, та зразок казахської селекції (№36) UA0300021 у якого поширеність хвороби становила 15,4 % (рис. 1).

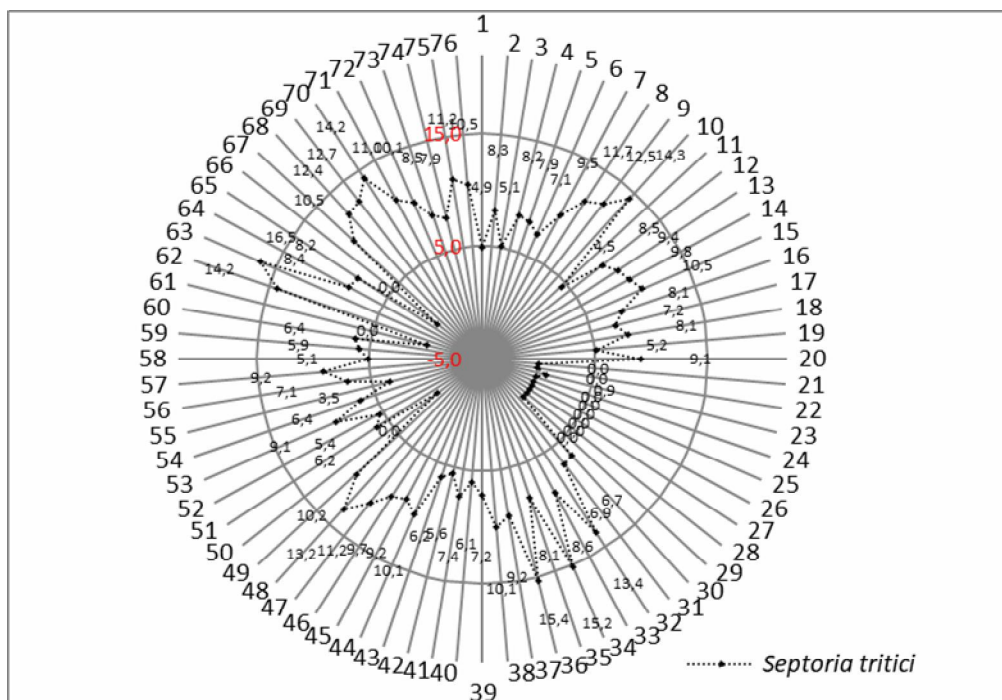


Рисунок 1 – Динаміка прояву септорізу (*Septoria tritici*) на рослинах пшениці ярої *Triticum L.* 2018–2021 рр.

Найбільш стійкими до збудника *Septoria tritici* виявилися вісім зразків різного еколого-географічного походження, але всі вони належать до виду *Triticum monocossum*, відсоток поширеності хвороби по цим зразкам склав 0,0.

Triticum monocossum відрізняється від інших видів своїм імунітетом до збудника захворювання септоріозу, тому ця пшениця не потребує використання хімічних засобів захисту рослин [8].

Високий ступінь поширення листової бурої іржі – *Puccinia recondita* на пшениці ярій спостерігався на зразках української селекції (№ 10) UA0111123 (вид *Triticum aestivum*), (№ 18) UA0201452 (вид *Triticum durum*) та зразку казахської селекції (№ 36) UA0300021 (вид *Triticum dicocum*), поширеність хвороби на цих зразках склала відповідно 28,90 %; 21,05 %; 17,4 %. Стійкі до цього збудника виявилися зразки (№ 33, 34) UA0300199, UA0300009 (вид *Triticum dicocum*) та зразки виду *Triticum spelta*, а саме (№38, 39) UA0300238, UA0300304 відсоток поширення цієї хвороби на досліджуваних зразках склав 0,0 % (рис. 2).

Це можна пояснити тим, що ареалом походження захворювання є райони Північного Кавказу, Центральнo-чорноземні райони, де хвороба розвивається практично щорічно, нерідко досягаючи епіфітотійного рівня. Епіфітотії виникають з частотою 2–3 рази в 10 років в Північно-Кавказькому районі. В Уральському районі ураження ярової пшениці спостерігається щорічно на 30–40 % [11, 12]. Зразки виду *Triticum*

топососсит походять з інших регіонів, чим і пояснюється нульовий відсоток ураженості.

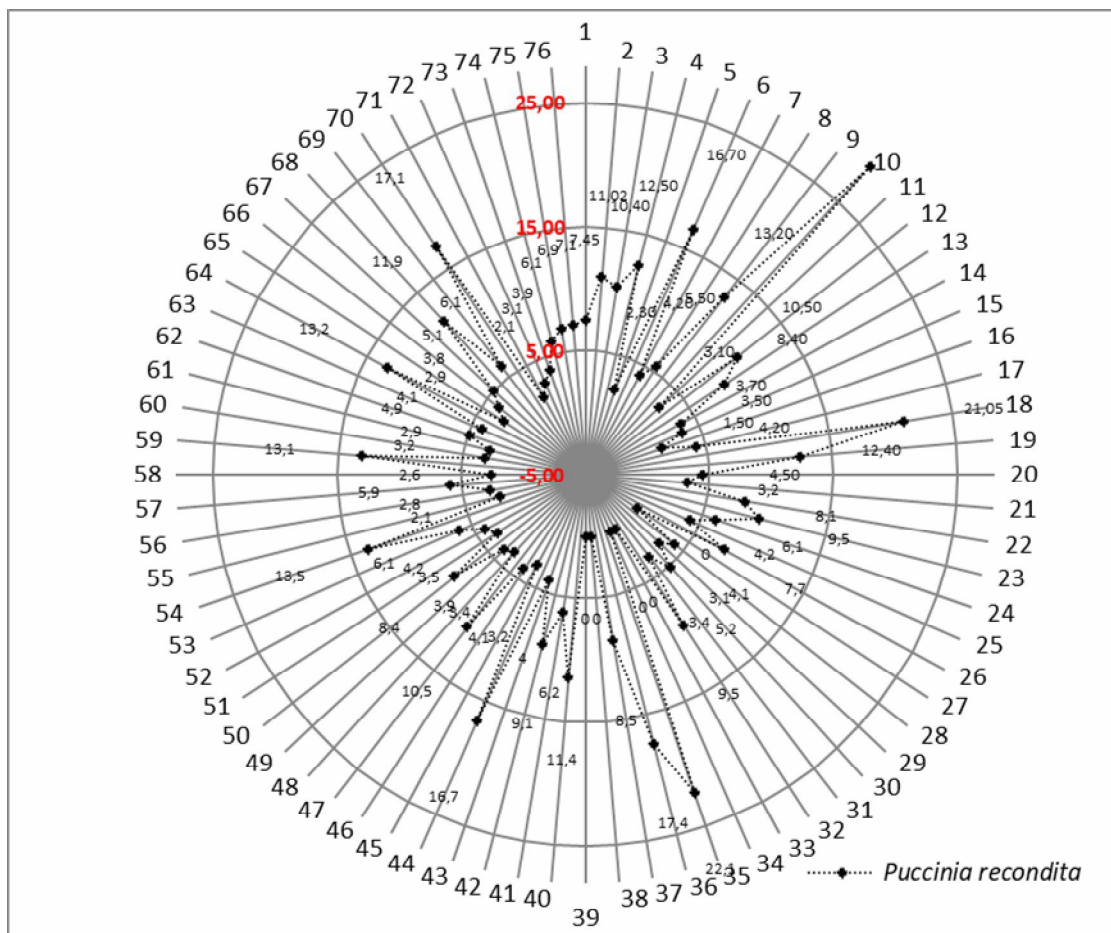


Рисунок 2 – Динаміка прояву бурої листкової іржі (*Puccinia recondita*) на рослинах пшениці ярої 2018–2021 рр.

Борошниста роса, як хвороба широкого спектру умов температури та зволоження проявлялася в усі роки досліджень (рис. 3). При цьому ознаки ураження на сприйнятливих сортах з'являлися ще у фазі кушення.

Високий ступінь поширення хвороби був зареєстрований на зразках грецької селекції UA0300354 (*Triticum compactum*) і складає 26,2 %; російської селекції UA 0106145 (вид *Triticum aestivum*) ступінь поширеності склав 23,2 % та зразок UA0300009 російської селекції (*Triticum dicossum*) 22,4 % відповідно.

Стійкими до цього збудника виявилися зразки (№ 61, 58) UA0300402, UA0300224 (малопоширені види) та зразок виду *Triticum dicossum*, а саме (№ 35) –UA0300183, ураженість хворобою не спостерігалась протягом років досліджень.

Міжвидовий аналіз популяцій роду *Triticum* L. дозволив виявити види, які є стійкими щодо прояву найбільш поширених хвороб. Так, особливої уваги за стійкістю до септорізу – *Septoria tritici* заслуговує вид *Triticum топососсит*, поширеності хвороб складає – 0,6 % (рис. 4).

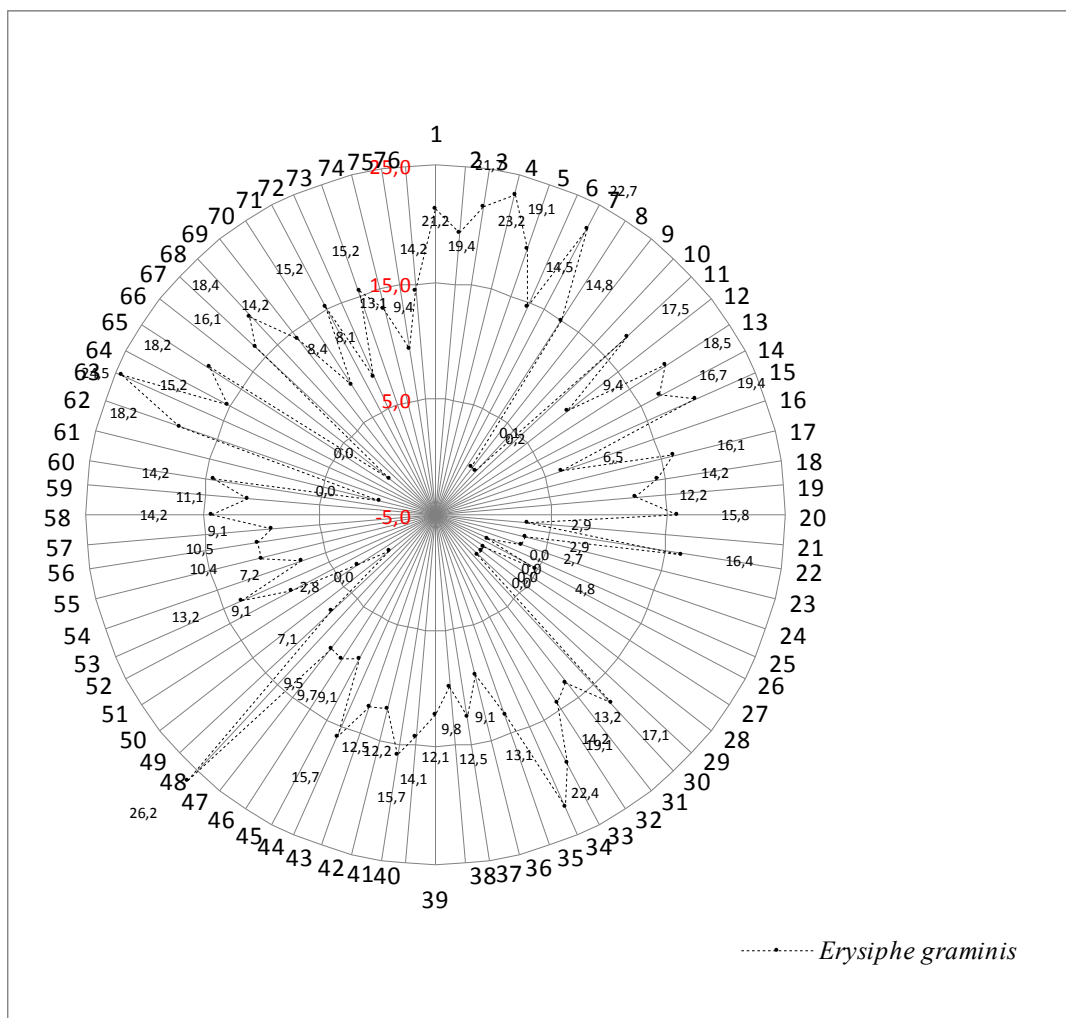


Рисунок 3 – Динаміка прояву борошнистої роси (*Erysiphe graminis*) на рослинах пшениці ярої 2018–2021 рр.

Також варто відмітити вид *Triticum persicum* поширеність хвороби якого склала 4,7 %. Менш стійкими до цього збудника виявилися амфідиплоїдні зразки про це свідчить відсоток їх поширеності який складає 12,2 %. При проведених обліках було встановлено, що найбільшу стійкість до збудника бурої листкової іржі (*Puccinia recondita*) мають популяції виду *Triticum compactum* (поширеність хвороби на цих зразках складає 0,7 %). Найбільш уразливим виявилися зразки виду *Triticum aestivum*, поширеність хвороби складає 10,2 %.

Аналіз даних обліку пшениці ярої на збудник борошнистої роси (*Erysiphe graminis*) показав, що найбільш стійкими до цього збудника є популяції виду *Triticum turgidum*, поширеність хвороби складає 7,5 %, а найбільш уразливими виявилися зразки виду *Triticum aestivum* та амфідиплоїдні зразки, поширеність захворювання на цих зразках становила 18,8 та 17,3 % відповідно. Для боротьби з збудниками борошнистої роси, септорізу та бурої листкової іржі використовують біологічні препарати, які виготовляють за допомогою біотехнологічних методів (генетичної інженерії) з використанням ентомопатогенних грибів класів Phycomycetes, Ascomycetes, Basidiomycetes, Fungi imperfekti [13, 14]. Ефективність біологічних-грибних препаратів залежить від темпера-

тури та рівня вологості середовища. Для обробки рослин пшениці використовують препарат триходермін, який виготовлений на основі пліснявого гриба *Trichoderma lignorum*. Актиноміцетні препарати – це мікробні антибіотичні засоби, які використовуються проти збудників хвороб сільськогосподарських культур і в основі дії яких лежить явище антагонізму між різними видами мікроорганізмів. Такий процес виникає завдяки здатності окремих видів бактерій (актиноміцетів) виділяти в навколишнє середовище речовини (антибіотики), токсичні для інших організмів (вірусів, бактерій, грибів). Найбільш поширеним антибіотичним біопрепаратом є фітобактеріоміцин (ускладнений стрептоміцин), який виготовляють на основі бактерій роду *Streptovorticillium* [13, 15]. Даний препарат використовують методом опилення рослин. Перспективи виробництва біопрепаратів полягають в удосконаленні, насамперед, технології виведення організмів, що входять до складу засобів, з метою відбору й утворення серед них високопродуктивних штамів бактерій, грибів, вірусів, які є екологічно безпечними для вищих тварин і людини.

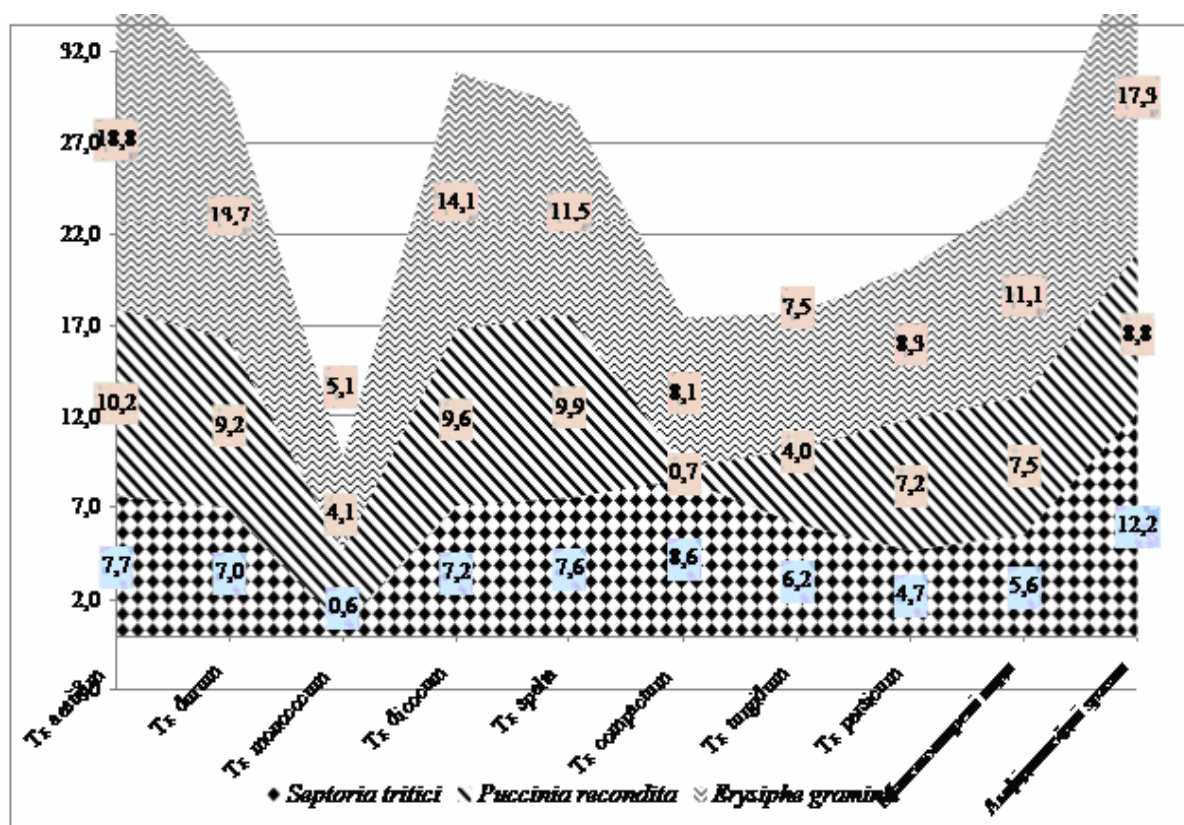


Рисунок 4 – Оцінка пшениці ярої на стійкість до хвороб по видам в середньому за 2018–2021 рр.

Висновки

Останнім часом випуск пестицидів стає обмеженим. Деякі з них вже виключені з переліку препаратів, дозволених до використання в агроценозах України. Причому розробку нових хімічних агентів захисту рослин не визнано економічно доцільною. У зв'язку з цим набувають актуальності дослідження стосовно можливості використання біотехнологій для регуляції чисельності шкідників на культурних рослинах.

Література

1. Гавей І.В., Чайка В.М. Вплив змін клімату на шкідливість комах-фітофагів пшениці озимої у Лісостепу України. Перспективи розвитку сучасної науки : зб. матеріалів IV міжнар. наук.-практ. конф. Львів, 2016. С. 134–138.
2. Кириченко В.В., Петренкова В.П., Черняєва І.М. Основи селекції польових культур на стійкість до шкідливих організмів. Навчальний посібник. – Харків, 2012. – 320 с.
3. Литвинов Б.М. Сільськогосподарська ентомологія. Київ. Вища освіта, 2005. 511 с.
4. Лифенко С.П., Литвененко М.А. Селекція і генетика пшениці в Україні. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть. – Київ. Логос, 2001. – Т. 2. – С. 319-336.
5. Адаменко Т. Кліматичні умови України та можливі наслідки потепління клімату. Агроном. Київ, 2007. № 1. С. 8–9.
6. Покозій Й.Т., Писаренко В.М., Довгань С.В. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур підручник. Київ. Аграрна освіта, 2010. 223 с.
7. Chuprina Yu.Yu., Klymenko I.V., Golovan L.V. Ecological assessment of variability of quantitative signs of spring wheat samples. Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11(8), 156–166.
8. Chuprina Yu.Yu., I.V. Klymenko, Yu.M. Belay. The adaptability of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11(1), 267–272.
9. Chuprina Yu.Yu., Klymenko I.V., Golovan L.V. Variability of morphological markers and vegetation period of spring wheat samples of different ecological and geographical origin. Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11(2), 241–248.
10. Chuprina Yu.Yu., Klymenko I.V., Havva D.V. The level of adaptability of perspective samples of soft and durum spring wheat in Ukrainian forest-steppe. Ukrainian journal of ecology, 2020. № 10(6). 12–22.
11. Білик М. О., Кулешов А.В. Практикум з фітосанітарного моніторингу і прогнозу. Харк. нац. аграр. ун-т. Харків. 2006. 229 с.
12. Карпов О.В. Клітинна та генна інженерія: підручник Київ: Фітосоціоцентр, 2010. 208 с.
13. Галяс В.Л. Біохімічний і біотехнологічний словник Львів: Оріяна-Нова, 2006. 468 с.
14. Герасименко В.Г. Біотехнологія: підручник Київ: ІНКОС, 2006. 647 с.
15. Літун П.П., Кириченко В.В., Петренкова В.П., Коломацька В.П. Системний аналіз в селекції польових культур. Навчальний посібник. – Харків, 2009. – 354 с.

Bibliography (transliterated)

1. Havei I.V., Chaika V.M. Vplyv zmin klimatu na shkidlyvist komakh-fitofahiv pshenytsi ozymoi u Lisostepu Ukrainy. Perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky : zb. materialiv IV mizhnar. nauk.-prakt. konf. Lviv, 2016. P. 134–138.
2. Kyrychenko V.V., Petrenkova V.P. Cherniaieva I.M. Osnovy selektsii polovykh kultur na stiiikist do shkidlyvykh orhanizmv. Navchalnyi posibnyk. – Kharkiv, 2012. – 320 p.
3. Lytvynov B.M. Silskohospodarska entomolohiia. Kyiv. Vyshcha osvita, 2005. 511 p.

4. Lyfenko S.P., Lytvenenko M.A. Seleksiia i henetyka pshenytsi v Ukraini. Henetyka i seleksiia v Ukraini na mezhi tysiacholit. – Kyiv. Lohos, 2001. – T. 2. – P. 319-336.
5. Adamenko T. Klimatychni umovy Ukrainy ta mozhlyvi naslidky poteplinnia klimatu. Ahronom. Kyiv, 2007. № 1. P. 8–9.
6. Pokozii Y.T., Pysarenko V.M., Dovhan S.V. Monitorynh shkidnykh silskohospodarskykh kultur pidruchnyk. Kyiv. Ahrarna osvita, 2010. 223 p.
7. Chuprina Yu.Yu., Klymenko I.V., Golovan L.V. Ecological assessment of variability of quantitative signs of spring wheat samples. Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11(8), 156–166.
8. Chuprina Yu.Yu., I.V. Klymenko, Yu.M. Belay. The adaptability of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11(1), 267–272.
9. Chuprina Yu.Yu., Klymenko I.V., Golovan L.V. Variability of morphological markers and vegetation period of spring wheat samples of different ecological and geographical origin. Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11(2), 241–248.
10. Chuprina Yu.Yu., Klymenko I.V., Havva D.V. The level of adaptability of perspective samples of soft and durum spring wheat in Ukrainian forest-steppe. Ukrainian journal of ecology, 2020. № 10(6). 12–22.
11. Bilyk M.O., Kuleshov A.V. Praktykum z fitosanitarnoho monitorynhu i prohnozu. Khark. nats. ahrar. un-t. Xarkiv. 2006. 229 p.
12. Karpov O.V. Klitynna ta henna inzheneriia: pidruchnyk Kyiv: Fitosotsiotsentr, 2010. 208 p.
13. Halias V.L. Biokhimichni i biotekhnolohichni slovnyk Lviv: Oriiana-Nova, 2006. 468 p.
14. Herasymenko V.H. Biotekhnolohiia: pidruchnyk Kyiv: INKOS, 2006. 647 p.
15. Litun P.P., Kyrychenko V.V., Petrenkova V.P., Kolomatska V.P. Systemnyi analiz v seleksii polovykh kultur. Navchalnyi posibnyk. – Kharkiv, 2009. – 354 p.

УДК 633.11.632.4

Чуприна Ю.Ю., Близнюк О.М., Масалітіна Н.Ю., Белінська А.П.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНІВ СТІЙКОСТІ *TRITICUM AESTIVUM* ДО ЗБУДНИКІВ ХВОРОБ ТА АНАЛІЗ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

Домінування стійкості рослин-господарів та рецесивна вірулентність паразитів є результатом їх спільної еволюції з господарем, який є основним партнером. Однак мутантні гени стійкості зазвичай рецесивні. Для поповнення генофонду стійкості потрібна віддалена гібридизація. Чим більша площа засаджена стійким сортом, тим чутливішим він стає. Гени резистентності знижуються під час розмноження. Гени, які в даний час використовуються для стійкості до листової іржі, стеблової іржі, жовтої іржі та борошнистої роси – усі з пирію, жита, геліопсу тощо. Пошук екологічно безпечних та ефективних засобів збереження врожаїв цінних продуктивних культур зумовив формування альтернативних захисних методів. Серед них – використання біологічних препаратів, в основі дії яких лежить принцип антагонізму між різними видами мікроорганізмів або прояви їхньої антибіотичної активності, зокрема виділення в зовнішнє середовище токсичних для конкурентних організмів речовин. Біологічний метод захисту рослин ґрунтується на системному підході, комплексній реалізації двох ос-

новних напрямків: збереження і сприяння діяльності природних популяцій корисних видів (ентомофагів, мікроорганізмів), самозахисту культурних рослин в агробіоценозах та поновлення агробіоценозів корисними видами, яких в них не вистачає або тих, які відсутні.

Принциповою відміною біологічного методу захисту рослин від будь-якого іншого є використання саме першого напрямку, який здійснюють, застосовуючи біологічні препарати, способами сезонної колонізації, інтродукції та акліматизації зоофагів і мікроорганізмів. Розмноженню і ефективності діяльності корисних видів сприяють агробіотехнічні заходи, та деякі способи обробітку ґрунту за допомогою яких можна створювати сприятливі умови для життєдіяльності зоофагів. Важливим агротехнічним заходом є вирощування стійких до шкідливих організмів сортів культурних рослин, що сприяє формуванню слабозиттєздатних популяцій шкідників.

Проаналізовано колекційні зразки пшениці ярої різного еколого-географічного походження за генами стійкості до шкідливих організмів та виділено екологічно стабільні популяції за їх комплексною та індивідуальною стійкістю при зміні кліматичних умов середовища. Охарактеризовано біологічні препарати для боротьби із збудниками хвороб.

Ключові слова: пшениця яра, шкідливі організми, гени стійкості, зразок, ураженість.

Чуприна Ю.Ю., Близнюк О.Н., Масалитина Н.Ю., Белинская А.П.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ *TRITICUM AESTIVUM* К ВОЗБУДИТЕЛЯМ БОЛЕЗНЕЙ И АНАЛИЗ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Доминирование устойчивости растений-хозяев и рецессивная вирулентность паразитов являются результатом совместной эволюции с хозяином, который является основным партнером. Однако мутантные гены стойкости обычно рецессивны. Для пополнения генофонда стойкости требуется отдаленная гибридизация. Чем больше площадь засажена устойчивым сортом, тем чувствительнее он становится. Гены резистентности снижаются при размножении. Гены, которые в настоящее время используются для устойчивости к листовой ржавчине, стеблевой ржавчине, желтой ржавчине и мучнистой росе – все из пырея, ржи, гелиопса и т.д. Поиск экологически безопасных и эффективных средств хранения урожаев ценных продуктивных культур обусловил формирование альтернативных защитных методов. Среди них использование биологических препаратов, в основе действия которых лежит принцип антагонизма между различными видами микроорганизмов или проявления их антибиотической активности, в частности выделение во внешнюю среду токсичных для конкурентных организмов веществ. Биологический метод защиты растений основывается на системном подходе, комплексной реализации двух основных направлений: сохранение и содействие деятельности природных популяций полезных видов (энтомофагов, микроорганизмов), самозащиты культурных растений в агробиоценозах и возобновление агробиоценозов полезными видами, которых у них не хватает или отсутствующих.

Принципиальным отличием биологического метода защиты растений от любого другого является использование именно первого направления, которое осуществляют, применяя биологические препараты, способами сезонной колонизации, интродукции и акклиматизации зоофагов и микроорганизмов. Размножению и эффективности дея-

тельности полезных видов способствуют агробиотехнические мероприятия и некоторые способы обработки почвы, с помощью которых можно создавать благоприятные условия для жизнедеятельности зоофагов. Важной агротехнической мерой является выращивание устойчивых к вредным организмам сортов культурных растений, что способствует формированию слабожизнеспособных популяций вредителей.

Проанализированы коллекционные образцы пшеницы яровой разного эколого-географического происхождения по генам устойчивости к вредным организмам и выделены экологически стабильные популяции по их комплексной и индивидуальной устойчивости при изменении климатических условий среды. Охарактеризованы биологические препараты для борьбы с возбудителями болезней.

Ключевые слова: пшеница яровая, вредные организмы, гены стойкости, образец, пораженность.

Chupryna Yu.Yu., Bliznjuk O.M., Masalitina N.Yu., Belinska A.P.

CHARACTERISTICS OF *TRITICUM AESTIVUM* RESISTANCE GENES TO DISEASE CAUSES AND ANALYSIS OF BIOTECHNOLOGICAL PREPARATIONS

The dominance of resistance of host plants and the recessive virulence of parasites are the result of their co-evolution with the host, which is the main partner. However, mutant resistance genes are usually recessive. Distant hybridization is needed to replenish the resistance gene pool. The larger the area planted with a resistant variety, the more sensitive it becomes. Resistance genes are reduced during reproduction. The genes currently used for resistance to leaf rust, stem rust, yellow rust and powdery mildew are all from wheatgrass, rye, heliops etc. The search for ecologically safe and effective means of preserving crops of valuable productive crops led to the formation of alternative protective methods. Among them is the use of biological preparations, the basis of which is the principle of antagonism between different types of microorganisms or the manifestation of their antibiotic activity, in particular, the release of substances toxic to competing organisms into the external environment. The biological method of plant protection is based on a systemic approach, the integrated implementation of two main directions: the preservation and promotion of the activity of natural populations of useful species (entomophages, microorganisms), the self-protection of cultivated plants in agrobiocenoses and the renewal of agrobiocenoses with useful species that are lacking in them or those that are absent.

The fundamental difference between the biological method of plant protection and any other is the use of the first direction, which is carried out using biological preparations, methods of seasonal colonization, introduction and acclimatization of zoophages and microorganisms. The reproduction and efficiency of the activity of beneficial species are facilitated by agrobiotechnical measures and some methods of soil cultivation with the help of which it is possible to create favourable conditions for the life of zoophages. An important agrotechnical measure is the cultivation of varieties of cultural plants resistant to harmful organisms, which contributes to the formation of weakly viable populations of pests.

The collection samples of spring wheat of different ecological and geographical origin were analyzed by pest resistance genes and ecologically stable populations were identified according to their complex and individual resistance to changing environmental climatic conditions. Biological preparations for combating pathogens are characterized.

Keywords: spring wheat, harmful organisms, resistance genes, sample, damage.

¹Аніпко О.Б., д.т.н., професор, професор кафедри,

²Баулін Д.С., к.т.н., с.н.с., старший науковий співробітник науково-дослідного центру

АНАЛІТИЧНА ГІПОТЕЗА ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ МОЖЛИВОСТІ РЕГЕНЕРАЦІЇ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНИХ ПОРОХІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ ПЕРЕКИСОМ ВОДНЮ

¹Харківський Національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

²Національна академія Національної гвардії України, Харків

Ключові слова: пороховий заряд, нітроцелюлоза, піроксиліновий порох, гарантійні терміни експлуатації, регенерація зарядів, перекис водню, стабілізація порохових зарядів, теплотворна здатність.

Постановка проблеми та аналіз публікацій

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].

Відомо, що нітроцелюлозні порохи (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 порошу 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, 6].

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

Малостійкі порохи не вигідні в економічному відношенні, тому що становлять значну небезпеку. Відомі випадки, коли самозаймання порошу супроводжувалося великими катастрофами з людськими жертвами [1].

Проблема старіння порохових зарядів 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 [7–11] отримані дані про зміни, що відбуваються в пороху за більш тривалих термінів зберігання (17–21 р.).

Наразі запаси, що зберігаються на складах силових відомств України досить великі, але терміни їх зберігання становлять понад 35 років [12, 13].

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

Першим проблемним завданням, пов'язаним з питаннями стабілізації порохів, займалося багато дослідників [4, 7, 14–16], але незважаючи на великий обсяг виконаних

робіт, проблема містить ще багато невизначених питань, що пов'язано зі складністю фізико-хімічних процесів, які протікають у порохах при зберіганні, складністю спостереження за протіканням 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.

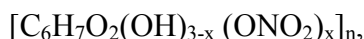
Аналіз літератури свідчить, що останнім часом з'явилися публікації [8–10, 13, 17], пов'язані з обґрунтуванням термінів експлуатації боєприпасів. Проведені експериментальні дослідження [1, 5] підтверджують ефект зниження маси порохового заряду при його тривалому зберіганні. Проте у літературі немає відомостей у тому, як впливає зміна маси порохового заряду на показник початкової швидкості. Також немає обґрунтованого прогнозу змін балістичних характеристик порохових зарядів та озброєння. У роботі [18] подано дані про можливе відновлення властивостей порохових зарядів тривалих термінів експлуатації. Проте не визначено часові терміни проведення регенерації порохових зарядів для отримання найкращого ефекту.

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 хімічних процесів, що відбуваються в нітроцелюлозних порохах при тривалих термінах експлуатації та обґрунтування можливості проведення їх регенерації шляхом обробки перекисом водню.

Виклад основного матеріалу

При аналізі хімічних процесів виходитимемо з наступного. Як вихідний матеріал розглядається теоретична хімічна формула нітроцелюлози [19, 20]



яка відображає ідеальне уявлення про нітроцелюлозу. Цій формулі відповідає наступна структура нітроцелюлози як високомолекулярної сполуки (рис. 1) [20, 21]

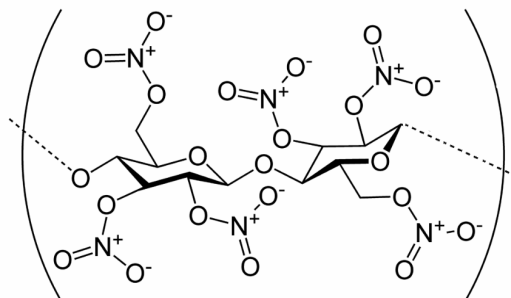


Рисунок 1 – Структурна формула нітроцелюлози

У процесі зберігання під впливом різних факторів на поверхні здійснюються хімічні реакції за механізмом автокаталізу сполук азоту, оскільки, як відомо [8, 10], ніт-

роцелюлоза є хімічно нестійкою сполукою. Зміст компонентів вихідного матеріалу зменшується (таких як азот, водень), абсолютна маса матеріалу знижується. Як наслідок, падає енергетична цінність нітроцелюлози як палива. Спираючись на це припускаємо, що на поверхні відбулися зміни і в структурі матеріалу. Так може бути розірваний зв'язок між двома залишками глюкози (кисень) (рис. 2)

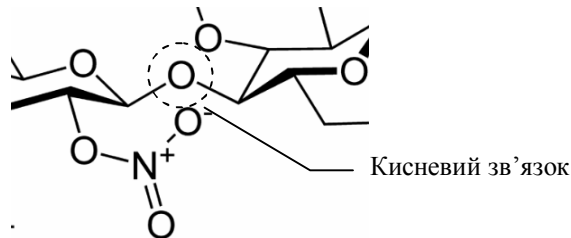


Рисунок 2 – Можливий розрив кисневого зв'язку між молекулами нітроцелюлози

Метою впливу перекисом водню є приєднання водню до різних хімічних елементів, що входять у структуру молекули нітроцелюлози, що призводитиме до ефекту регенерації її як палива та підвищення маси.

Так, наявність згаданого вище розриву при дії перекису водню може призводити до утворення двох кінцевих груп (ОН)

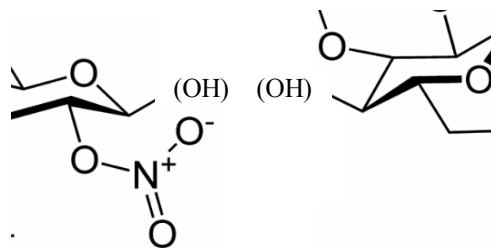


Рисунок 3 – Утворення двох груп (ОН) на місці можливого розриву кисневого зв'язку між молекулами нітроцелюлози

Утворюється полімер з кінцевими (ОН) групами. Гідроліз неповної азотної групи (ONO_2) може призводити до приєднання водню Н, а також давати залишок оксиду азоту NO_2 . Перелічені можливі реакції пов'язані з приєднанням водню або (ОН), що, як згадувалося, призводить до збільшення маси горючих компонентів і, таким чином, досягається ефект регенерації.

Підкреслимо, що взаємодія перекису водню з вуглецем, що знаходиться у складі нітроцелюлози у вигляді легнину, не розглядається через відсутність даних про такі реакції. Однак відомо, що перекис відбілює легнин і, мабуть, якщо є вільний зв'язок у структурі ($\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3$), то водень може його замінити.

За теплотворною здатністю водень характеризується величиною 120,9 МДж/кг, тоді як піроксиліновий порошок при постійному об'ємі всього 5,9 МДж/кг.

Таким чином, для еквівалентної компенсації втраченої маси порошку потрібна в 20 разів менша маса водню.

При експериментальному дослідженні впливу перекису водню на НЦП після тривалого зберігання [18] спостерігалось збільшення маси на 3%. Якщо припустити, що це збільшення маси обумовлено лише воднем, то це еквівалентно відповідному збільшенню теплотворної здатності.

Висновки

Таким чином, виходячи з розгляду теоретичної (ідеальної) формули нітроцелюлози, доведено принципову можливість протікання реакцій на її поверхні з перекисом водню. Ці реакції призводять до приєднання водню, що підвищує теплотворну здатність вихідного матеріалу регенеруючи його таким чином. Водень характеризується такою теплотворною здатністю, яка може хоча б частково компенсувати втрату енергетичної цінності нітроцелюлози у процесі зберігання. Причому потрібна у 20 разів менша маса водню, ніж маса, втрачена порохом у процесі зберігання.

Критично аналізуючи таку оцінку слід підкреслити, що не все збільшення маси після обробки НЦП перекисом водню може йти тільки воднем. Однак якщо припустити, що хоча б половина її припадає на водень, то це дає в 10 разів менше за масою кількості водню, яке необхідно для компенсації втраченої теплотворної здатності.

Тут потрібно брати до уваги також і те, що процес горіння йде не при постійному об'ємі, а також можлива зміна швидкості горіння. Це може ще більше знизити ефект від 10 до 5 разів. Однак і в цьому випадку обробка НЦП перекисом водню слід вважати ефективним методом регенерації нітроцелюлозних порохів.

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. Чернов В.П. Поправочные формулы внутренней баллистики. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР. 1956. 168 с.
7. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулин 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники. Харьков: НТУ “ХПИ”. 2008. 196 с.
12. Гриненко О.І., Денежкін М.М. Деякі проблеми перспективного планування розвитку Збройних Сил України // Наука і оборона. 2001. №3. С. 31–35.

13. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулин 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.
14. 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.
15. 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.
16. Чурбанов Е.В. Внутренняя баллистика артиллерийского орудия. М.: Военное издательство. 1973. 103 с.
17. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Анализ методов оценки состояния пороховых зарядов как элемент системы мониторинга артиллерийских боеприпасов // Інтегровані технології та енергозбереження. 2012. №3. С. 60–71.
18. Анипко О.Б. Результаты экспериментального исследования воздействия перекиси водорода на нитроцеллюлозные высокомолекулярные соединения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2014. № 2. С. 50–55.
19. Роговин З.А. Химия целлюлозы. Москва: Химия, 1972. 520 с.
20. Марченко Г.Н., Забелин Л.В. Производство нитратов целлюлозы. Физико-химические основы производства и переработки нитратов целлюлозы. М.: ЦНИИНТИ и ТЭИ, 1988. 164с.
21. Зеленский В.П. Эксплуатационные свойства порохов и зарядов. Пенза: ПВАИУ, 1975. 358 с.

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. Chernov V.P. Popravochnyye formuly vnutrenney ballistiki. M.: Voennoye izdatel'stvo Ministerstva Oborony SSSR. 1956. 168 p.
7. 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.
8. Anipko O.B., Baulin D.S., Gorêlishev S.A. Gerontologichni vlastivosti porokhovikh zaryadiv boêpripasiv ta ikh vpliv na pokazniki zhivuchosti strilets'koï zbroï. Monografiya. Kharkiv: Vid-vo Natsional'noï akademii Natsional'noï gvardii Ukraïni, 2019. 119 p.
9. Goncharenko P.D. Integral'naya popravka v nachal'nuyu skorost' na iznos stvola i gerontologicheskoye izmeneniya porokhovogo zaryada // Zbirnik naukovikh prats' Akademii viys'kovo-mors'kikh sil imeni P.S. Nakhimova. 2011. №1 (5). P. 11–14.

10. Anipko O.B., Busyak YU.M. Vnutrennyaya ballistika stvol'nykh sistem pri primeneniі boyepripasov dlitel'nykh srokov khraneniya: Monografiya: Khar'kov: Izd-vo akademii vnutr. voysk MVD Ukrainy, 2010. 130 p.
11. Anipko O.B., Borisyuk M.D., Busyak YU.M. Kontseptual'noye proyektirovaniye ob'yektov bronetankovoy tekhniki. Khar'kov: NTU «KHPI». 2008. 196 p.
12. Grinenko O.І., Dênêzhkin M.M. Deyaki problemi perspektivnogo planuvannya rozvitku Zbroynikh Sil Ukraїni // Nauka i oborona. 2001. №3. P. 31–35.
13. Anipko O.B., Mulenko AO., Baulin D.S., Cherkashin A.D. Problema zhivuchesti stvolov strelkovogo oruzhiya pri primeneniі boyepripasov poslegarantiynykh srokov khraneniya // Іntegrovanі tekhnologії ta yenergozbezrehennya. 2010. №3. P. 80–83.
14. 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.
15. 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.
16. Churbanov Ye.V. Vnutrennyaya ballistika artilleriyskogo orudiya. M.: Voennoye izdatel'stvo. 1973. 103 p.
17. Anipko O.B., Khaykov V.L. Analiz metodov otsenki sostoyaniya porokhovykh zaryadov kak element sistemy monitoringa artilleriyskikh boyepripasov // Іntegrovanі tekhnologії ta yenergozbezrehennya. 2012. №3. P. 60–71.
18. Anipko O.B. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya vozdeystviya perekisi vodoroda na nitrotsellyuloznyye vysokomolekulyarnyye soyedineniya // Іntegrovanі tekhnologії ta yenergozbezrehennya. 2014. № 2. P. 50–55.
19. Rogovin Z.A. Khimiya tsellyulozy. Moskva: Khimiya, 1972. 520 p.
20. Marchenko G.N., Zabelin L.V. Proizvodstvo nitratov tsellyulozy. Fiziko-khimicheskiye osnovy proizvodstva i pererabotki nitratov tsellyulozy. Moskva: TSNIINTI i TEI, 1988. 164 p.
21. Zelenskiy V.P. Ekspluatatsionnyye svoystva porokhov i zaryadov. Penza: PVAIU, 1975. 358 p.

УДК 355.014: 623.522

Аніпко О.Б., д.т.н., професор, Баулін Д.С., к.т.н., с.н.с.

АНАЛІТИЧНА ГІПОТЕЗА ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ МОЖЛИВОСТІ РЕГЕНЕРАЦІЇ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНИХ ПОРОХІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ ПЕРЕКИСОМ ВОДНЮ

Досвід зберігання боєприпасів показує, що у процесі тривалого зберігання піро-ксилінові пороха, які використовуються в боєприпасах, 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 30–35 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 боеприпасів на різних періодах їх зберігання.

Проведено аналіз хімічних процесів, що відбуваються в нітроцелюлозних пороху при тривалих термінах експлуатації та обґрунтовується можливість проведення регенерації НЦП шляхом обробки перекисом водню.

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

Показано, що при проведенні регенерації нітроцелюлозних порохових зарядів перекисом водню підвищується теплотворна здатність вихідного матеріалу. Важливо відмітити, що не все збільшення маси після обробки НЦП перекисом водню може йти для компенсації втраченої теплотворної здатності, однак і в цьому випадку обробка НЦП перекисом водню слід вважати ефективним методом регенерації нітроцелюлозних порохів.

Ключові слова: пороховий заряд, нітроцелюлоза, піроксиліновий порох, гарантійні терміни експлуатації, регенерація зарядів, перекис водню, стабілізація порохових зарядів, теплотворна здатність.

Анипко О.Б., д.т.н., професор, Баулін Д.С., к.т.н., с.н.с.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ НИТРОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПОРОХОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ПЕРЕКИСЬЮ ВОДОРОДА

Опыт хранения боеприпасов показывает, что в процессе длительного хранения пироксилиновые пороха, используемые в боеприпасах, способны самовольно 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 30–35 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 об изменении основных баллистических характеристик боеприпасов на разных периодах их хранения.

Проведен анализ химических процессов, происходящих в нитроцеллюлозном порохе при длительных сроках эксплуатации, и обосновывается возможность проведения регенерации НЦП путем обработки перекисью водорода.

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 осно-

ве чего может быть разработана технология полного или частичного восстановления баллистических и энергетических характеристик порохового заряда.

Показано, что при проведении регенерации нитроцеллюлозных пороховых зарядов перекисью водорода повышается теплотворная способность исходного материала. Важно отметить, что не все увеличение массы после обработки НЦП перекисью водорода может идти для компенсации потерянной теплотворной способности, однако и в этом случае обработка НЦП перекисью водорода следует считать эффективным методом регенерации нитроцеллюлозных порохов.

Ключевые слова: пороховой заряд, нитроцеллюлоза, пироксилиновый порох, гарантийные сроки эксплуатации, регенерация зарядов, перекись водорода, стабилизация пороховых зарядов, теплотворная способность.

Anipko O., Baulin D.

ANALYTICAL HYPOTHESIS TO SUBSTANTIATE THE FUNDAMENTAL POSSIBILITY OF REGENERATION OF NITROCELLULOSE POWDERS AFTER LONG-TERM STORAGE WITH HYDROGEN PEROXIDE

The experience of storing ammunition shows that during long-term storage, pyroxylin powders used in ammunition are capable of arbitrarily 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 30–35 years or more.

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

A number of factors affecting the physicochemical stability of powder charges during their long-term operation are given.

Summarizing data on the change in the main ballistic characteristics of ammunition at different periods of their storage are given.

The analysis of chemical processes occurring in nitrocellulose gunpowder during long periods of operation is carried out, and the possibility of carrying out the regeneration of NCP by treatment with hydrogen peroxide is substantiated.

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

It is shown that during the regeneration of nitrocellulose powder charges with hydrogen peroxide, the calorific value of the starting material increases. It is important to note that not all of the increase in mass after NCP treatment with hydrogen peroxide can be used to compensate for the lost calorific value, however, in this case, the treatment of NCP with hydrogen peroxide should be considered an effective method for regenerating nitrocellulose powders.

Keywords: powder charge, nitrocellulose, pyroxylin powder, warranty periods, charge regeneration, hydrogen peroxide, powder charge stabilization, calorific value.

Сінкевич І.В., к. техн. н., професор, Мардупенко О.О., к.техн.н., ст. викладач,
Тульська А.Г., к.техн.н., доцент, Левін Є.Д., ст. викладач

РОЛЬ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

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

Ключові слова: науково-дослідна робота, компоненти науково-дослідної роботи, функції науково-дослідної роботи, види та форми науково-дослідної роботи.

Вступ. Сучасний період розвитку суспільства характеризується змінами, які торкаються всіх сфер життєдіяльності людини. Швидкий темп соціально-економічних перетворень у країні, зміна ціннісних орієнтацій у суспільстві, обсяг інформації, що збільшується, тенденція до розширення управлінських функцій у професійній діяльності обумовили зміну вимог, пропонованих суспільством до системи вищої професійної освіти в питаннях підготовки майбутніх фахівців.

Особливу практичну значимість здобувають уміння фахівця адекватно сприймати складні ситуації життя, правильно їх оцінювати, швидко адаптуватися до нових пізнавальних ситуацій, цілеспрямовано переробляти наявну інформацію, шукати та доповнювати її відсутньої, знати закономірності її оптимального використання, прогнозувати результати діяльності, використовуючи свій інтелектуальний і творчий потенціал.

На кожному рівні навчання необхідно розвивати у студентів творче мислення, дослідницькі вміння, без яких важко як продовжувати освіту, так і реалізовуватись на ринку праці.

У зв'язку із цим науково-дослідна діяльність здобуває все більше значення та перетворюється в один з основних компонентів професійної підготовки майбутнього фахівця.

Аналіз публікацій. Важливість проблеми формування дослідницьких умінь студентів підтверджує аналіз великої кількості професіограм фахівців різних напрямів, до яких включено вміння формулювання та вирішення проблем, системного аналізу, абстрагування, формалізації та ін.

Традиційно поняття «науково-дослідна робота студентів» (НДРС) ототожнюється з формами залучення студентів до наукової роботи кафедр, а також кафедральних та вузівських лабораторій, виконання навчальних дослідницьких робіт, реальних курсових та дипломних робіт, участі у конференціях, семінарах, конкурсах, виставках та т.п.. Аналіз робіт показує, що провідними принципами організації НДР як системи є забезпечення органічної єдності наукового та навчального процесів і на цій основі підвищення якості підготовки фахівців, посилення зв'язку науки з виробництвом, прискорення науково-технічного прогресу.

Існує та інша труднощі у визначенні поняття «науково-дослідна робота», пов'язана з тим, що у вишах поділяють НДРС на проведену в позанавчальний час та

навчальному процесі. Поняття «НДРС» – поняття ємне та багатогранне. Воно включає наступні компоненти:

1) процес формування якостей, навичок, умінь науково-дослідної діяльності у студентів від курсу до курсу з урахуванням особливостей вузу, факультету та спеціалізації (з якою метою та що формується);

2) систему методів, форм та засобів формування даних якостей, навичок, умінь (як і через що формувати);

3) систему та структуру суб'єктивно-об'єктивних зв'язків у процесі формування якостей, навичок, умінь НДРС (хто формує і у кого формується, якої взаємодії формує та формуються);

4) ефективність процесу, системи та підсистеми НДРС (з яким ефектом).

Цей компонент розчленовується на:

- ефективність масового охоплення студентів НДР;
- ефективність впливу НДРС на розвиток творчих здібностей та оволодіння методами індивідуальної та колективної творчості;

- ефективність якісного змісту та вкладу студентів у науку;

- ефективність впливу суб'єкта на об'єкт процесу формування якостей, навичок, умінь НДР;

- ефективність методів, форм та засобів на процес формування суб'єкта творчості.

Поняття «науково-дослідна робота студентів» включає такі елементи:

- навчання студентів основам дослідницької праці, прищеплення їм певних навичок;

- виконання наукових досліджень під керівництвом викладачів.

Правильно організована та спланована науково-дослідна робота студентів у процесі навчання у вузі виконує низку функцій:

- освітню: оволодіння теоретичними (наукові факти) та практичними (наукові методи дослідження; методики проведення експериментів; способи застосування наукових знань) знаннями;

- організаційно-орієнтаційну: формування вміння орієнтуватися у джерелах, літературі; розвиток умінь організовувати та планувати свою діяльність; вибір методів обробки інформації;

- аналітико-коригуючу: пов'язана з рефлексією студента, його самоаналізом, самовдосконаленням планування та організації своєї діяльності; корекцією та самокорекцією навчально-пізнавальної діяльності;

- мотиваційну: розвиток та посилення інтересу до науки в процесі здійснення науково-дослідної діяльності, пізнавальних потреб, переконання в теоретичній та практичній значущості наукового знання, що розробляється; розвиток бажання глибше познайомитися з проблематикою наукового знання, що вивчається, різноманітністю точок зору; стимулювання самоосвіти, саморозвитку;

- розвиваючу: розвиток критичного, творчого мислення, вміння діяти у стандартних та нестандартних ситуаціях, вміння обґрунтовувати, відстоювати свою точку зору; розуміння розвитку мотивації (інтересу, прагнення пізнання), розвиток здібностей (пізнавальних, комунікативних, спеціальних здібностей та інших.);

- що виховує: становлення моральної та правової самосвідомості; виховання здібності до адаптації у змінному соціальному середовищі; формування адекватної самооцінки, відповідальності, цілеспрямованості, волевого саморегулювання, сміливості у подоланні труднощів та інших здібностей та рис характеру. Виховна

функція включає виховання професійного покликання, професійної етики.

У системі вищої професійної освіти можна виділити кілька напрямків щодо застосування та впровадження видів та форм науково-дослідної діяльності студентів:

- збагачення традиційних академічних форм організації навчального процесу (лекцій, семінарів, практичних та лабораторних занять) виконанням завдань дослідницького типу;

- розвиток позанавчальних форм залучення студентів до наукової діяльності (наприклад, написання наукових доповідей, статей, підготовка повідомлень; проведення олімпіад та наукових конференцій; розробка проектів для отримання ГРАНТів; факультативні форми навчання; форми наукового співробітництва ВНЗ – виробництво та ін.);

- впровадження менш поширених специфічних для вищої освіти колективних форм науково-практичної діяльності студентів (наукові дослідні гуртки, колективи молодих дослідників та ін.).

У рамках навчального часу при збагаченні традиційних форм організації навчального процесу розвиток дослідницьких умінь та здібностей студентів можливий у разі використання засобів навчання: проблемного, дослідницького, проектного, евристичного, головне завдання яких – постановка пізнавальних протиріч у процесі вивчення тієї чи іншої дисципліни.

У зв'язку з цим форми та методи залучення студентів до наукової творчості можна поділити на науково-дослідну роботу, включену в навчальний процес та проведену у навчальний час відповідно до навчальних планів та робочих програм (спеціальні лекційні курси з основ наукових досліджень, різного виду навчальні заняття з елементами наукових досліджень, навчально-дослідницька робота студентів), а також на науково-дослідну роботу, яку виконують студенти у позанавчальний час.

До НДРС, що проводиться у навчальний час, можна віднести курсові роботи, які виконуються протягом усього терміну навчання у ВНЗ, а також випускні кваліфікаційні роботи.

Під час виконання курсових робіт студент робить перші кроки до самостійної наукової творчості. Він навчається працювати з науковою літературою, набуває навичок критичного відбору та аналізу необхідної інформації. Якщо на першому курсі вимоги до курсової роботи мінімальні, і написання її не становить великої праці для студента, то вже наступного року вимоги помітно підвищуються, і написання роботи перетворюється на справді творчий процес. Так, підвищуючи з кожним роком вимоги до курсової роботи, ВНЗ сприяє розвитку студента як дослідника.

Виконання дипломної роботи має на меті подальший розвиток творчої та пізнавальної спроможності студента, і як заключний етап навчання студента у ВНЗ спрямоване на закріплення та розширення теоретичних знань, та поглиблене вивчення обраної теми. На старших курсах багато студентів вже працюють за спеціальністю, і, обираючи тему для дипломної роботи, це найчастіше враховується. В даному випадку, крім аналізу літератури, до дипломної роботи може бути включений власний практичний досвід з цього питання, що тільки збільшує наукову цінність роботи.

До НДРС, передбаченої чинним навчальним планом, можна віднести і написання рефератів на теми практичних занять.

Важливою формою науково-дослідної роботи студентів, яка виконується у навчальний час, є впровадження елементів наукових досліджень у лабораторні роботи. За виконання таких робіт студент самостійно складає план виконання роботи, підбирає необхідну літературу, проводить математичну обробку та аналіз результатів, оформляє

звіт.

Основними формами НДРС, що виконується у поза навчальний час є:

- предметні семінари;
- проблемні семінари;
- проблемні студентські лабораторії;
- участь у наукових та науково-практичних конференціях;
- участь у внутрішньовузівських, регіональних конкурсах.

Студенти, які зацікавили установу, згодом можуть бути запрошені на роботу в них, що під час відсутності державного розподілу є цінним результатом.

Таким чином, робота в науковій лабораторії – важливий крок до повноцінної науково-дослідної роботи та цінний досвід для подальшої наукової та практичної діяльності.

Традиційним стало проведення наукових студентських практичних конференцій.

На конференції студенти мають можливість виступити зі своєю роботою перед широкою аудиторією. Це змушує їх ретельніше опрацьовувати майбутній виступ, відточує його ораторські здібності. Крім того, кожен може порівняти, як його робота виглядає на загальному рівні та зробити відповідні висновки. Це є дуже корисним результатом наукової конференції, оскільки на ранньому етапі багато студентів вважають власні судження непогрішними, а свою роботу – найглибшою та найціннішою у науковому плані. Але, слухаючи доповіді інших студентів, кожен не може не помітити недоліків своєї роботи, якщо такі є, а також виділити для себе свої сильні сторони.

Науково-практичні конференції включають не тільки теоретичні наукові доповіді, скільки обговорення шляхів вирішення практичних завдань. Дані методи та форми навчання сприяють розвитку продуктивного мислення студентів, їх самостійності у навчанні, стимулюють висування нових ідей.

Висновок. Таким чином, процес підготовки майбутніх фахівців до наукової роботи буде результативним, якщо студенти будуть залучені до різноманітних форм науково-дослідної діяльності. Тому протягом усього періоду навчання студентів необхідно системно та цілеспрямовано здійснювати підготовку майбутніх спеціалістів до виконання наукової діяльності, створювати творчі групи з урахуванням наукових інтересів, здібностей, можливостей та досвіду наукової роботи студентів; забезпечити науково-дослідну базу; озброювати їх методикою наукової роботи; створювати ситуації успіху під час впровадження у практику наукових результатів; заохочувати творчу діяльність та самостійність дослідників при вирішенні наукових проблем.

Література

1. Микитюк О.М. Теорія і практика організації науково-дослідної роботи у вищих навчальних закладах освіти України в ХІХ ст.: Автореф. дис.доктора пед. наук / Інститут педагогіки АПН України, К., 2004. – 42 с.
2. Семенов О.М. Організація науково-дослідної роботи студентів філологічних факультетів педагогічних університетів. К. – Глухів: РВВ ГДПУ, 2002. – 96 с.
3. Спіцин Є.С. Методика організації науково-дослідної роботи студентів у вищому закладі освіти. – К., 2003.
4. Ніколаєнко С.М. Наукові дослідження в університетах – визначальний чинник зростання якості освіти / Ніколаєнко С. М. – К. : Прок-бізнес, 2007. – 176 с.

5. Філіпенко А.С. Основи наукових досліджень. Навчальний посібник. – К.: Академвидав, 2005. – 208 с.
6. Яновський А.О. Зміст пошуково-дослідної діяльності. Збірник наукових праць: Наукові записки. – Випуск 83. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВКДПУ ім. В. Винниченка, 2009. – С. 234.
7. Драч І.І. Оцінювання творчого потенціалу студентів вищих навчальних закладів // Проблеми освіти: Наук.-метод. зб. / Кол. авт. – К.: Наук, -метод, центр вищої освіти, 2005. – Вип. 41. – С. 153–160.
8. Judith M. Nixon, “Core Journals in Library and Information Science: Developing a Methodology for Ranking LIS Journals”, *College & Research Libraries* 75, no. 1 2014, p. 66–90.
9. Кузь В.Г. Організація педагогічного дослідження. – К.: Знання України, 2006. – 48 с.
10. Князян М.О. Самостійно-дослідницька діяльність майбутніх вчителів іноземних мов: теорія і практика: [Монографія]. – Ізмаїл: Сміл, 2006. – 242 с.
11. Гончаров С.М. Студентські наукові дослідження в кредитно-модульній системі організації навчального процесу : [навчально-методичний посібник] / Гончаров С.М. – Рівне : НУВГП, 2006. – 127 с.
12. Lamanauskas, V., Augienė, D. Bachelor students’ scientific research activity at university: Situation analysis and improvement possibilities. In: M. Bilek (Ed.), *Science and technology education for the 21st century: Research and research oriented studies (Proceedings of the 9th IOSTE symposium for Central and Eastern Europe)*, Hradec Kralove: Gaudeamus Publishing House, 2014, p. 297–312.

Bibliography (transliterated)

1. Mykytiuk O.M. Teoriia i praktyka orhanizatsii naukovo-doslidnoi roboty u vyshchyykh navchalnykh zakladakh osvity Ukrainy v KhIKh st.: Avtoref. dys.doktora ped. nauk / Instytut pedahohiky APN Ukrainy, K., 2004. – 42 p.
2. Semenoh O.M. Orhanizatsiia naukovo-doslidnoi roboty studentiv filolohichnykh fakultetiv pedahohichnykh universytetiv. K. – Hlukhiv: RVV HDPU, 2002. – 96 p.
3. Spitsyn Ye.S. Metodyka orhanizatsii naukovo-doslidnoi roboty studentiv u vyshchomu zakladi osvity. – K., 2003.
4. Nikolaienko S.M. Naukovi doslidzhennia v universytetakh – vyznachalni chynnyk zrostannia yakosti osvity / Nikolaienko S. M. – K. : Prok-biznes, 2007. – 176 p.
5. Filipenko A.S. Osnovy naukovykh doslidzhen. Navchalnyi posibnyk. – K.: Akademvydav, 2005. – 208 p.
6. Yanovskyi A.O. Zmist poshukovo-doslidnoi diialnosti. Zbirnyk naukovykh prats: Naukovi zapysky. – Vypusk 83. – Serii: Pedahohichni nauky. – Kirovohrad: RVVKDPU im. V. Vynnychenka, 2009. – P. 234.
7. Drach I.I. Otsiniuvannia tvorchoho potentsialu studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv // Problemy osvity: Nauk.-metod. zb. / Kol. avt. – K.: Nauk, -metod, tsentr vyshchoi osvity, 2005. – Vyn. 41. – P. 153–160.
8. Judith M. Nixon, “Core Journals in Library and Information Science: Developing a Methodology for Ranking LIS Journals”, *College & Research Libraries* 75, no. 1 2014, p. 66–90.
9. Kuz V.H. Orhanizatsiia pedahohichnoho doslidzhennia. – K.: Znannia Ukrainy, 2006. – 48 p.

10. Kniazian M.O. Samostiino-doslidnytska diialnist maibutnikh vchyteliv inozemnykh mov: teoriia i praktyka: [Monohrafiia]. – Izmail: Smil, 2006. – 242 p.

11. Honcharov S.M. Studentski naukovi doslidzhennia v kredytno-modulnii systemi orhanizatsii navchalnoho protsesu : [navchalno-metodychnyi posibnyk] / Honcharov S.M. – Rivne : NUVHP, 2006. – 127 p.

12. Lamanauskas, V., Augienė, D. Bachelor students' scientific research activity at university: Situation analysis and improvement possibilities. In. M. Bilek (Ed.), Science and technology education for the 21st century: Research and research oriented studies (Proceedings of the 9th IOSTE symposium for Central and Eastern Europe), Hradec Kralove: Gaudamus Publishing House, 2014, p. 297–312.

УДК 371.84 (378.147)

Сінкевич І.В., Мардупенко О.О., Тульська А.Г., Левін Є.Д.

РОЛЬ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

У статті розглядаються питання науково-дослідної роботи студентів, компоненти та функції науково-дослідної роботи. Виділяються види та форми науково-дослідної роботи у навчальний та позанавчальний час.

Особливу практичну значимість здобувають уміння фахівця адекватно сприймати складні ситуації життя, правильно їх оцінювати, швидко адаптуватися до нових пізнавальних ситуацій, цілеспрямовано переробляти наявну інформацію, шукати та доповнювати її відсутньої, знати закономірності її оптимального використання, прогнозувати результати діяльності, використовуючи свій інтелектуальний і творчий потенціал.

На кожному рівні навчання необхідно розвивати у студентів творче мислення, дослідницькі вміння, без яких важко як продовжувати освіту, так і реалізовуватись на ринку праці.

У зв'язку із цим науково-дослідна діяльність здобуває все більше значення та перетворюється в один з основних компонентів професійної підготовки майбутнього фахівця.

Науково-дослідницька діяльність вдосконалює не лише професійний рівень, а й формує специфічні навички та звички, відповідний склад мислення та спілкування. У зв'язку з новими вимогами до якості підготовки спеціалістів, відповідаючи потребам прискореного науково-технічного і соціально-економічного розвитку країни, науково-дослідницька діяльність студентів розглядається як важливий фактор удосконалення всієї системи підготовки спеціалістів для різних галузей народного господарства. Саме науково-дослідницька діяльність дозволяє поглибити професійне спрямування освіти, виховувати спеціалістів з високим творчим потенціалом і впливає на формування соціально-професійної зрілості майбутніх фахівців.

Таким чином, щоб успішно управляти науково-дослідною роботою студентів, динамікою її складових елементів, викладачеві необхідно чітко уявляти її головні завдання: який об'єкт дослідження обрати і які методи дослідження застосовувати. Тому стратегічним завданням у цьому напрямку є передбачення таких умов, засобів: форм і змісту діяльності, які є найбільш сприятливими та оптимальними для розвитку і удосконалення науково-дослідної роботи.

Відповідно науково-дослідницька діяльність повинна бути організована так, щоб студенти після закінчення навчального закладу прагнули до постійного підвищення свого професійного рівня. Людина має постійно навчатися, співвідносячи свої знання з новими вимогами, своїми потребами, потребами соціуму, ринку праці. Сама особистість і є її професійним інструментарієм.

Ключові слова: науково-дослідна робота, компоненти науково-дослідної роботи, функції науково-дослідної роботи, види та форми науково-дослідної роботи.

Синкевич І.В., Мардупенко А.А., Тульская А.Г., Левин Е.Д.

РОЛЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В статье рассматриваются вопросы научно-исследовательской работы студентов, компоненты и функции научно-исследовательской работы. Выделяются виды и формы научно-исследовательской работы в учебное время.

Особую практическую значимость приобретают умение специалиста адекватно воспринимать сложные ситуации жизни, правильно их оценивать, быстро адаптироваться к новым познавательным ситуациям, целенаправленно перерабатывать имеющуюся информацию, искать и дополнять ее отсутствующей, знать закономерности ее оптимального использования, прогнозировать результаты деятельности, используя свой интеллектуальный и творческий потенциал.

На каждом уровне обучения необходимо развивать у студентов творческое мышление, исследовательские умения, без которых трудно как продолжать образование, так и реализовываться на рынке труда.

В этой связи научно-исследовательская деятельность приобретает все большее значение и превращается в один из основных компонентов профессиональной подготовки будущего специалиста.

Научно-исследовательская деятельность усовершенствует не только профессиональный уровень, но и формирует специфические навыки и привычки, соответствующий склад мышления и общения. В связи с новыми требованиями к качеству подготовки специалистов, отвечая потребностям ускоренного научно-технического и социально-экономического развития страны, научно-исследовательская деятельность студентов рассматривается как важный фактор усовершенствования всей системы подготовки специалистов для разных отраслей народного хозяйства. Именно научно-исследовательская деятельность позволяет углубить профессиональное направление образования, воспитывать специалистов с высоким творческим потенциалом и влияет на формирование социально-профессиональной зрелости будущих специалистов.

Таким образом, чтобы успешно управлять научно-исследовательской работой студентов, динамикой ее составляющих, преподавателю необходимо четко представлять ее главные задачи: какой объект исследования выбрать и какие методы исследования применять. Поэтому стратегической задачей в этом направлении является предвидение таких условий, средств: форм и содержания деятельности, которые наиболее благоприятны и оптимальны для развития и совершенствования научно-исследовательской работы.

Соответственно, научно-исследовательская деятельность должна быть организована так, чтобы студенты после окончания учебного заведения стремились к постоянному повышению своего профессионального уровня. Человек обязан постоянно

обучаться, соотнося свои знания с новыми требованиями, своими потребностями, потребностями социума, рынка труда. Сама личность и есть ее профессиональный инструментарий.

Ключевые слова: научно-исследовательская работа, компоненты научно-исследовательской работы, функции научно-исследовательской работы, виды и формы научно-исследовательской работы.

Sinkevich I.V., Mardupenko O.O., Tulska A.H., Levin Ye.D.

THE ROLE OF STUDENTS' RESEARCH WORK IN THE EDUCATIONAL PROCESS

The article examines the issues of students' research work, components and functions of research work. The types and forms of research work in academic and extracurricular time are distinguished.

Of particular practical importance is the specialist's ability to adequately perceive complex life situations, correctly assess them, quickly adapt to new cognitive situations, purposefully process available information, search for and supplement the missing information, know the patterns of its optimal use, predict the results of activities, using one's intellectual and creative potential.

At each level of education, it is necessary to develop students' creative thinking and research skills, without which it is difficult both to continue their education and to be realized in the labor market.

In this connection, scientific research activity is gaining more and more importance and is turning into one of the main components of the professional training of the future specialist.

Scientific and research activity improves not only the professional level, but also forms specific skills and habits, the appropriate composition of thinking and communication. In connection with the new requirements for the quality of the training of specialists, meeting the needs of the accelerated scientific, technical and socio-economic development of the country, the scientific and research activity of students is considered as an important factor in improving the entire system of training specialists for various branches of the national economy. It is scientific and research activity that allows deepening the professional direction of education, educating specialists with high creative potential and influences the formation of social and professional maturity of future specialists.

Thus, in order to successfully manage the research work of students, the dynamics of its constituent elements, the teacher must clearly imagine its main tasks: which research object to choose and which research methods to apply. Therefore, the strategic task in this direction is to foresee the following conditions, means: forms and content of activities, which are the most favorable and optimal for the development and improvement of scientific research work.

Accordingly, scientific and research activities should be organized so that students, after graduating from the educational institution, strive for constant improvement of their professional level. A person must constantly learn, correlating his knowledge with new requirements, his needs, the needs of society, the labor market. The personality itself is its professional toolkit.

Keywords: scientific research work, components of scientific research work, functions of scientific research work, types and forms of scientific research work.

«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 (210х297 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 «ХП», редколегія журналу
«Інтегровані технології та енергозбереження»,
технічний редактор: к.техн.н., професор Горбунов К.О.

Тел. (057) 707-69-58.

Факс (057) 720-22-95.

Email: gor.kona2016@gmail.com

**СТАТТІ, ОФОРМЛЕНІ НЕ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ,
РЕДКОЛЕГІЯ НЕ РОЗГЛЯДАЄ ТА НЕ РОЗМІЩУЄ У ЖУРНАЛІ**

**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

4'2022

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 12.12.2022 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 6,1. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–50.
Зам. № . 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.