

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

4'2020

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

Держвидання
Свідоцтво Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.
Свідоцтво 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. Арсеньєва, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ".

В. С. Ведь, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ІТПА НТУ "ХПІ"

В. П. Шаповров, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ХТПЕ НТУ "ХПІ"

П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖІБ 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. Маляренко, 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 egyetem, Budapest, Hungary

Шарифа Рафидан Ван Алві, 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, Німеччина

Мартін 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; зареєстрований 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. Tovazhnyanskyi, 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"

V. P. Shaporev, 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 Klemesš, PhD., professor, DSc (Hon) of the University of Pannonia (Veszprem, Hungary) and the University of Manchester (Great Britain)

Eugen Kenig, prof., dr.-ing., University of Paderborn, Germany

Martin Picón Núñez, PhD, professor, university of Guanajuato, Mexico

Petar Sabev Varbanov, 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 ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

*Лебедєв В. В., Тихомирова Т. С., Савченко Д. О., Лозовицький А. О.,
Литвиненко Є. І.*

Вивчення особливостей гелеутворення та реологічних процесів гідрогелей на основі желатину для косметології та медицини..... 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

*Куценко О. С., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ В. І., Перевертайленко О. Ю.,
Капустенко П. О., Ведь В. Є., Юзбашьян А. П.*

Дослідження теплових інерційних характеристик пластинчастого теплообмінника в системі регулювання опалення будівлі за незалежною системою підключення..... 11

Алексахін О. О., Єна С. В., Гордієнко О. П., Бобловський О. В.

Методика оцінки втрат теплоти трубопроводами розподільної опалювальної мережі за укрупненими показниками..... 23

*Пироженко Є. В., Себко В. В., Здоренко В. Г., Бабенко В. М.,
Горбунова О. В.*

Сумісний вимірювальний контроль фізико-хімічних параметрів зразка пивних стоків..... 34

*Горбунов К. О., Пономаренко Г. В., Миронов А. М., Ільченко М. В.,
Школьнікова Т. В., Мельник Т. В.*

Моделювання процесу екстрагування у системі тверде тіло–рідина..... 48

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Савінок О. М., Кобзар Т. А., Марінічева К. В.

Аналіз сучасних розробок полімерних матеріалів із заданими техніко-технологічними характеристиками..... 63

Миць М. Г., Білошенко К. С., Божков А. І.

Інтенсифікація аерації під час біологічної очистки стічних вод..... 75

Шевченко К. В., Григоров А. Б.

Отримання компоненту котельного палива з вторинного поліпропілену..... 83

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Зінченко М. Г., Філенко О. М.

Екологічні інновації як фактор досягнення сталого розвитку суспільства..... 90

Сторінка редколегії..... 99

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 6 від 13.11.2020 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – № 4. – 100 с.

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

© Національний технічний університет «ХПІ», 2020

Лебедев В.В., к.техн.н., доцент, Тихомирова Т.С. к.техн.н., доцент, Савченко Д.О., студент, Лозовицький А.О., студент, Литвиненко Є.І., к.техн.н. доцент

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГЕЛЕУТВОРЕННЯ ТА РЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГІДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ЖЕЛАТИНУ ДЛЯ КОСМЕТОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

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

Вступ. Останніми роками у світі проводяться інтенсивні дослідження з синтезу і вивчення властивостей полімерних гідрогелів через перспективність їх застосування у багатьох галузях, зокрема медичній, та в косметології. Новим трендом у цій галузі стали гідрогелеві маски для обличчя. Їхньою головною функцією є інтенсивне зволоження шкіри. Усі гідрогелеві маски також запускають процеси детоксикації – позбавляють від шлаків і токсинів, які накопичуються у шкірі. Маска добре прилипає до шкіри обличчя, тому створює умови, подібні до парникового ефекту, що ще більше сприяє ефективнішому очищенню шкіри. Крім того, створений мікроклімат прискорює кровообіг і корисні (активні) речовини, маски проникають у глибокі шари шкіри та покращують процес їх засвоєння.

Фізико-хімічні властивості та стійкість на стискування гідрогелів, отже, і сфери їх можливого використання визначаються природою полімеру, ступенем структурування, співвідношенням полімер : вода. Тому одержання та дослідження впливу різних факторів на характеристики полімерних гідрогелів є важливим і актуальним завданням сучасної полімерної хімії. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гідрогелі на основі тривимірних, полімерних сіток знайшли своє застосування у галузі косметології та медицини [1–3]. Вони можуть складатись з природних речовин (полісахариди) та синтетичних високомолекулярних матеріалів.

В контексті косметологічних застосувань основною перевагою полімерних гідрогелів є можливість їх насичення дієвими речовинами ще на стадії виготовлення. Можливим є створення полімерних гідрогелів, що містять розчини активних компонентів, наприклад, багаті магнієм розчини “Бішофіту” або інші мінеральні чи органічні речовини. Крім того, заслуговують у вагу косметологів гідрогелеві матеріали, що містять колаген, наночастинки срібла або золота; глиністі мінерали, такі як каолінит, бентоніт та ін.

Мета статті – вивчення особливостей гелеутворення та реологічних процесів гідрогелів на основі желатину для косметології та медицини.

Об'єкти та методи дослідження. У роботі використовувався желатин харчовий ТМ «АРОМАТНА СТРАВА», (Україна). Використовували воду дистильовану, мед різ-

нотрав'я «Дідова пасіка» (Україна), молоко «Простоквашино» жирності 2,5 % (Україна).

Для аналізу реологічних властивостей розчини желатину різної концентрації (0,5, 1, 1,5 %) готували у дистильованій воді. Зразки перемішували при кімнатній температурі до повного розчинення желатину.

Потім від розчинів відбирали проби по 20 мл, які нагрівали до 100 °С і перемішували впродовж 5 хв. Потім охолоджували до 25 °С.

При отриманні висококонцентрованих полімерних гідрогелів з молоком та медом концентрацією 25 та 50 % полімерної частини наважку заливали певною кількістю дистильованої води і залишали на добу для набухання, суміш нагрівали на водяній бані при безперервному перемішуванні до отримання однорідного розчину. Потім отриманий розчин полімерних гідрогелів з молоком та медом виливали на скло та досліджували гелеутворення.

Концентрація 25 та 50 % полімерної частини у полімерних гідрогелях обумовлена подальшим потенційним використанням їх для отримання косметологічних масок для обличчя, спеціальних тейпів при травмах та розтяганнях м'язів та суглобів.

Вимірювання реологічних характеристик проводили за допомогою капілярного віскозіметра Освальда. Статистичний аналіз для оцінки частот аналізованих параметрів проводили за допомогою кутового перетворення Фішера.

Обговорення результатів. В першу чергу оцінювалася структурна завершеність в приготованих розчинах. Відомо [8, 9], що при температурах понад 40–45 °С розчини желатину поведуться подібно ньютонівським рідинам, у яких максимальне напруження зсуву дорівнює нулю. В інтервалі температур 28–40 °С розчини желатину поведуться як пружно-в'язкі системи. У цьому інтервалі температур за рахунок стійких зв'язків в розчині желатину утворюється структура. Цей розчин є квазідисперсною системою, що характеризується пружністю і граничним напруженням зсуву. Температурний коефіцієнт в'язкості має постійне значення незалежно від молекулярної маси. Нижче зазначеного температурного межі утворюється структура, причому зі зниженням температури максимальне напруження зсуву різко збільшується. Зміна форми молекули желатину тягне за собою зміну в'язкості за рахунок того, що щільні клубки молекули желатину мають меншу в'язкість. Так, у водних розчинах при температурі 40 °С макромолекули желатину тваринного походження знаходяться в вигляді глобули, при температурі 28–30 °С відбувається конформаційний перехід «кулька-фібрила», в результаті чого макромолекула желатину спіралізуються в фібрилярну форму, а система переходить у гелеподібний стан, при якому макромолекули желатину втрачають розчинність внаслідок переходу в жорстку конформацію. Встановлено, що конформаційний перехід в молекулі желатину починається з функціональної групи піролідину, яка діє як точка заводу для утворення зон, в яких буде відбуватися зчленування поліпептидного ланцюга. При зниженні температури в цих ділянках виникають зони з'єднання. Топлення холодцю желатину є зворотним процесом спіралізації, при цьому відбувається протилежний конформаційний перехід «фібрила-кулька» [46], в результаті якого зникають властивості желатину, обумовлені фібрилярними структурами (гнучкість, міцність), і посилюються властивості, обумовлені глобулярними структурами (крихкість).

Віскозіметричне дослідження концентраційної залежності в'язкості розчинів желатину від температури, за результатами якого можна судити про здатність желатину

здійснювати конформаційні переходи, показало істотну відмінність графічних залежностей відносної в'язкості розбавлених розчинів в інтервалі температур 20–25 °С, далі криві майже збігаються, хоча помітна тенденція до зменшення в'язкості розчинів рибного желатину при збільшенні температури (рис. 1).

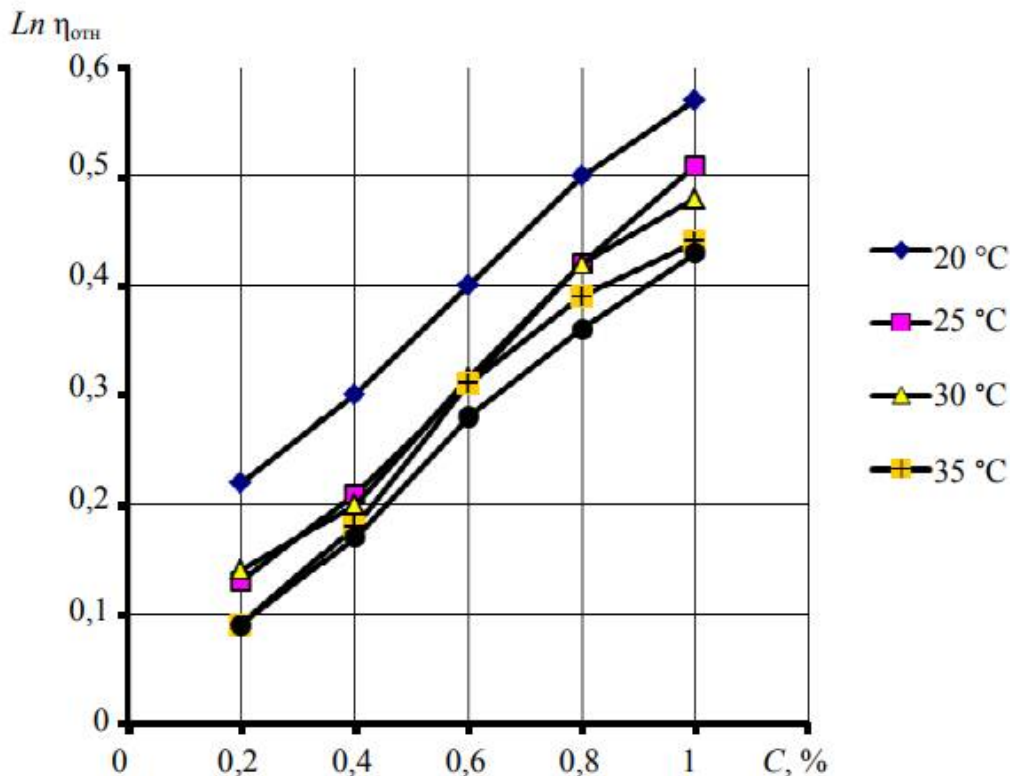


Рисунок 1 – Концентраційна залежність логарифма відносної в'язкості розбавлених розчинів желатину від температури: С – концентрація

Цей факт дозволяє вважати, що в інтервалі температур від 20 до 25 °С макромолекули рибного желатину здійснюють конформаційний перехід «фібрила-кулька». Представлені дані є доказом того, що макромолекули желатину в розчинах мають схильність до спіралізації, отже, молекули желатину зберегли свій нативний стан і мають реакційну здатність. Слід зазначити, що інтервал температурного переходу «фібрила-кулька» у дослідженого желатину 20–25 °С, а у тварини желатину – 28–30 °С [50–53]. Цей факт також підтверджує тезу про відмінність термічних залежностей дослідженого і тваринного желатину. При підвищенні температури до 40 °С істотної зміни відносної в'язкості не відзначено, що обумовлює однорідність молекулярно-масового розподілу компонентів желатину і підтверджується експериментальними даними його молекулярно-масового складу, що свідчить про наявність високомолекулярних компонентів з максимально збереженою нативною структурою.

Далі було досліджено ефективність гелеутворення в умовах висококонцентрованих розчинів желатину з різним вмістом полімерної частини та активних речовин – таблиця 1.

Як видно, у композиціях, які складаються виключно з желатину та води спостерігається найменший час втрати липкості та плівкоутворення. При цьому, при збіль-

шенні вмісту желатину с 25 до 50 % відсотків можна побачити найбільш швидкі процеси втрати липкості та плівкоутворення. При додаванні до композицій активних речовин – молока та меду, ми можемо спостерігати значне сповільнення процесів втрати липкості та плівкоутворення, при цьому найменш інтенсивно процес втрати липкості та плівкоутворення йде у композиціях з 25 % желатину та 50 % молока та меду.

Таблиця 1 – Дослідження ефективність гелеутворення в умовах висококонцентрованих розчинів желатину з різним вмістом полімерної частини та активних речовин

Вміст желатину, % мас.	Вміст води, % мас.	Вміст молока та меду, % мас.	Час втрати липкості, хв.	Час утворення плівки, хв.
25	75	-	3,5	17
25	50	25	4,5	20
25	25	50	5	22
50	50	-	3,5	13
50	25	25	3	17

Взагалі, з погляду того, що досліджені і композиції полімерних гідрогелів желатину ми розглядаємо, як матеріали для отримання масок для обличчя та медичних тейпів, найбільш ефективними є саме композиції з найбільшим часом втрати липкості та плівкоутворення, тому що саме для них буде характерне як найдовший час дифузії активних речовин до організму людини.

Висновки. В статті проведено дослідження з вивчення особливостей гелеутворення та реологічних процесів гідрогелей на основі желатину для косметології та медицини.

В ході дослідження ми дійшли наступних висновків:

– встановлено, що в інтервалі температур від 20 до 25 °С макромолекули рибного желатину здійснюють конформаційний перехід «фібрила-кулька». Представлені дані є доказом того, що макромолекули желатину в розчинах мають схильність до спіралізації, отже, молекули желатину зберегли свій нативний стан і мають реакційну здатність;

– визначено, що при підвищенні температури до 40 °С істотної зміни відносної в'язкості не відзначено, що обумовлює однорідність молекулярно-масового розподілу компонентів желатину і підтверджується експериментальними даними його молекулярно-масового складу, що свідчить про наявність високомолекулярних компонентів з максимально збереженою нативною структурою;

– найбільш ефективними с точки зору отримання різних медичних, косметологічних матеріалів та засобів є композиції з найбільшим часом втрати липкості та плівкоутворення – з 25 % желатину та 50 % молока та меду, тому що саме для них буде характерне як найдовший час дифузії активних речовин до організму людини.

Література

1. Белоусова О.С., Дышлюк Л.С., Австриевских А.Н., Щетинин М.П. Изучение термодинамических и реологических свойств природных полимеров, перспективных

для получения капсул фармацевтического назначения // Техника и технология пищевых производств. 2014. №4 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-termodinamicheskikh-i-reologicheskikh-svoystv-prirodnih-polimerov-perspektivnyh-dlya-polucheniya-kapsul-farmatsevticheskogo> (дата обращения: 07.10.2020).

2. Желатин: химический состав, физико-химические свойства, технология изготовления, использование в пищевой и фармацевтической промышленности: обзор (Китай) // Пищевая и перерабатывающая пром-сть. 2003. № 3. С. 1217

3. Королева С.В. Практические аспекты использования функции желательности в медико-биологическом эксперименте. Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. URL: www.science-education.ru/100-5270 (дата обращения: 07.10.2020).

4. Ли Н. И., Сидоров Ю. Д., Маямсина В. О. Совершенствование физико-механических свойств слоев на основе полимер-желатиновых композиций // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-fiziko-mehanicheskikh-svoystv-sloev-na-osnove-polimer-zhelatinovyh-kompozitsiy> (дата обращения: 07.10.2020).

5. Ли Н.И., Сидоров Ю.Д. Влияние боросодержащих соединений на физико-механических свойства желатинсодержащих слоев // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-borosoderzhaschih-soedineniy-na-fiziko-mehanicheskikh-svoystva-zhelatinsoderzhaschih-sloev> (дата обращения: 07.10.2020).

6. Grinberg V.Ya. Thermodynamics of Conformational Ordering of ι-Carrageenan in KCl Solutions Using High-Sensitivity Differential Scanning Calorimetry / V.Ya. Grinberg, N.V. Grinberg, A.I. Usov, N.P. Shusharina, A.R. Khokhlov, K.G. de Kruif // Biomacromolecules. – 2001. - Vol. 2. – P. 864–873.

7. Honey Priya James, Rijo John, Anju Alex, Anoop K.R. Smart polymers for the controlled delivery of drugs – a concise overview// Acta Pharmaceutica Sinica B.– 2014.–4(2).– 120–127 p.

8. Lowman AM, Peppas NA. Hydrogels// Encyclopedia of controlled drug delivery.– New York.– 1999.– 397–418 p.

9. Slaughter BV, Khurshid SS, Fisher OZ, Khademhosseini A, Peppas N, Hydrogels in regenerative medicine// Adv Mater.–2009.– 21(32–33).–3307–3329 p.

10. Ulijn RV, Bib N, Jayawarna V, Thornton PD, Todd SJ, Mart R, Bioresponsive hydrogels// Mater Today.– (2007).–10(4).– 40 p.

11. Вейс А. Молекулярная химия желатина. М.: Пищ. пром-сть, 1971. 478 с.

12. Джафаров А. Ф. Производство желатина. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.

Bibliography (transliterated)

1. Belousova O.S., Dyshlyuk L.S., Avstrieviskikh A.N., Shchetinin M.P. Izuchenie termodinamicheskikh i reologicheskikh svoystv prirodnih polimerov, perspektivnyh dlya polucheniya kapsul farmacevticheskogo naznacheniya // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. 2014. №4 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-termodinamicheskikh-i-reologicheskikh-svoystv-prirodnih-polimerov-perspektivnyh-dlya-polucheniya-kapsul-farmatsevticheskogo> (data obrashcheniya: 07.10.2020).

2. Zhelatin: himicheskij sostav, fiziko-himicheskie svoystva, tekhnologiya izgotovleniya, ispol'zovanie v pishchevoj i farmacevticheskoy promyshlennosti: obzor (Ki-taj) // Pishchevaya i pererabatyvayushchaya prom-st'. 2003. № 3. P. 1217
3. Koroleva S.V. Prakticheskie aspekty ispol'zovaniya funktsii zhelatelnosti v mediko-biologicheskom eksperimente. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. № 6. URL: www.science-education.ru/100-5270 (data obrashcheniya: 07.10.2020).
4. Li N. I., Sidorov Yu. D., Mayamsina V. O. Sovershenstvovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv sloev na osnove polimer-zhelatinovykh kompozitsiy // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-fiziko-mekhanicheskikh-svoystv-sloev-na-osnove-polimer-zhelatinovykh-kompozitsiy> (data obrashcheniya: 07.10.2020).
5. Li N.I., Sidorov Yu.D. Vliyanie borosoderzhashchih soedineniy na fiziko-mekhanicheskikh svoystva zhelatinsoderzhashchih sloev // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. №15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-borosoderzhashchih-soedineniy-na-fiziko-mekhanicheskikh-svoystva-zhelatinsoderzhashchih-sloev> (data obrashcheniya: 07.10.2020).
6. Grinberg V.Ya. Thermodynamics of Conformational Ordering of ι -Carrageenan in KCl Solutions Using High-Sensitivity Differential Scanning Calorimetry / V.Ya. Grinberg, N.V. Grinberg, A.I. Usov, N.P. Shusharina, A.R. Khokhlov, K.G. de Kruif // Biomacromolecules. – 2001. - Vol. 2. – P. 864–873.
7. Honey Priya James, Rijo John, Anju Alex, Anoop K.R. Smart polymers for the controlled delivery of drugs – a concise overview// Acta Pharmaceutica Sinica B.– 2014.–4(2).–120–127 p.
8. Lowman AM, Peppas NA. Hydrogels// Encyclopedia of controlled drug delivery.– New York.– 1999.– 397–418 p.
9. Slaughter BV, Khurshid SS, Fisher OZ, Khademhosseini A, Peppas N, Hydrogels in regenerative medicine// Adv Mater.–2009.– 21(32–33).–3307–3329 p.
10. Ulijn RV, Bib N, Jayawarna V, Thornton PD, Todd SJ, Mart R, Bioresponsive hydrogels// Mater Today.– (2007).–10(4).– 40 p.
11. Vejs A. Molekulyarnaya himiya zhelatina. M.: Pishch. prom-st', 1971. 478 p.
12. Dzhaфарov A. F. Proizvodstvo zhelatina. M.: Agropromizdat, 1990. 287 p.

УДК 678

Лебедев В.В., Тихомирова Т.С., Савченко Д.О., Лозовицкий А.О., Литвиненко Є.І.

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГЕЛЕУТВОРЕННЯ ТА РЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГІДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ЖЕЛАТИНУ ДЛЯ КОСМЕТОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

В даній статті наведено вивчення особливостей гелеутворення та реологічних процесів гідрогелів на основі желатину для косметології та медицини. Показано, що вивчення особливостей процесів структуроутворення дисперсних гідрогелів у воді, а також процесів отримання медичних та косметологічних матеріалів різної природи має виключно важливе значення при вирішенні ряду актуальних завдань. В контексті косметологічних застосувань основною перевагою полімерних гідрогелів є можливість їх

насичення дієвими речовинами ще на стадії виготовлення. В'язкозіметричне дослідження концентраційної залежності в'язкості розчинів желатину від температури, за результатами якого можна судити про здатність желатину здійснювати конформаційні переходи, показало істотну відмінність графічних залежностей відносно в'язкості розбавлених розчинів в інтервалі температур 20–25 °С. Встановлено, що в інтервалі температур від 20 до 25 °С макромолекули рибного желатину здійснюють конформаційний перехід «фібрила-кулька». Представлені дані є доказом того, що макромолекули желатину в розчинах мають схильність до спіралізації, отже, молекули желатину зберегли свій нативний стан і мають реакційну здатність. Визначено, що при підвищенні температури до 40 °С істотної зміни відносно в'язкості не відзначено, що обумовлює однорідність молекулярно-масового розподілу компонентів желатину і підтверджується експериментальними даними його молекулярно-масового складу, що свідчить про наявність високомолекулярних компонентів з максимально збереженою нативною структурою. Встановлено, що найбільш ефективними з точки зору отримання різних медичних, косметологічних матеріалів та засобів є композиції з найбільшим часом втрати липкості та плівкоутворення – з 25 % желатину та 50 % молока та меду, тому що саме для них буде характерне як найдовший час дифузії активних речовин до організму людини.

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

Лебедев В.В., Тихомирова Т.С., Савченко Д.А., Лозовицкий А.А., Литвиненко Е.И.

ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛАТИН ДЛЯ КОСМЕТОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

В данной статье проведено изучение особенностей гелеобразования и реологических процессов гидрогелей на основе желатина для косметологии и медицины. Показано, что изучение особенностей процессов структурообразования дисперсных гидрогелей в воде, а также процессов получения медицинских и косметологических материалов различной природы имеет исключительно важное значение при решении ряда актуальных задач. В контексте косметологических применений основным преимуществом полимерных гидрогелей является возможность их насыщения действенными веществами еще на стадии изготовления. Вязкозиметрическое исследование концентрационной зависимости вязкости растворов желатина от температуры, по результатам которого можно судить о способности желатина осуществлять конформационные переходы, показало существенное различие графических зависимостей относительной вязкости разбавленных растворов в интервале температур 20–25 °С. Установлено, что в интервале температур от 20 до 25 °С макромолекулы рибного желатина осуществляют конформационный переход «фибриллы-шарик». Представленные данные являются доказательством того, что макромолекулы желатина в растворах имеют склонность к спираллизации, следовательно, молекулы желатина сохранили свое нативное состояние и имеют реакционную способность. Определено, что при повышении температуры до 40 °С существенного изменения относительной вязкости не отмечено, что обуславливает однородность молекулярно-массового распределения компонентов желатина и подтверждается

экспериментальными данными его молекулярно-массового состава, что свидетельствует о наличии высокомолекулярных компонентов с максимально сохраненной нативной структурой. Установлено, что наиболее эффективными с точки зрения получения различных медицинских, косметологических материалов и средств являются композиции с наибольшим временем потери липкости и пленкообразования – с 25 % желатина и 50 % молока и меда, так как именно для них будет характерно как самое большое время диффузии активных веществ в организм человека.

Ключевые слова: гидрогели, желатин, исследования, косметология, гелеобразование, вязкость.

Lebedev V.V., Tikhomirova T.S., Savchenko D.O., Lozovitsky A.O., Litvinenko E.I.

STUDYING FEATURES OF GEL FORMATION AND RHEOLOGICAL PROCESSES OF GELATIN-BASED HYDROGELS FOR COSMETOLOGY AND MEDICINE

This article studies the features of gelation and rheological processes of gelatin-based hydrogels for cosmetology and medicine. It is shown that the study of the features of the processes of structure formation of dispersed hydrogels in water, as well as the processes of obtaining medical and cosmetic materials of various natures is extremely important in solving a number of urgent problems. In the context of cosmetic applications, the main advantage of polymer hydrogels is the possibility of their saturation with active substances even at the manufacturing stage. Viscosimetric studies of the concentration dependence of the viscosity of gelatin solutions on temperature, the results of which can be used to judge the ability of gelatin to carry out conformational transitions, showed a significant difference in the graphical dependences of the relative viscosity of diluted solutions in the temperature range 20–25 °C. It was found that in the temperature range from 20 to 25 °C macromolecules of fish gelatin carry out the conformational transition "fibrils-ball". The presented data are evidence that gelatin macromolecules in solutions tend to spiralise, therefore, gelatin molecules retained their native state and have reactivity. It was determined that with an increase in temperature to 40 °C, no significant change in the relative viscosity was noted, which determines the homogeneity of the molecular weight distribution of the components of gelatin and is confirmed by experimental data on its molecular weight composition, which indicates the presence of high molecular weight components with the maximum preserved native structure. It has been established that the most effective from the point of view of obtaining various medical, cosmetic materials and agents are compositions with the greatest time of loss of stickiness and film formation – with 25 % gelatin and 50 % milk and honey, since they will be characterized by the longest diffusion time active substances into the human body.

Key words: hydrogels, gelatin, research, cosmetology, gelation, viscosity.

Куценко О.С., д.техн.н., професор, ТОВАЖНЯНСЬКИЙ В.І., аспірант,
Перевертайленко О.Ю., ст.наук.співробітник, Капустенко П.О., к.техн.н., професор,
Ведь В.Є., д.техн.н., професор, Юзбашьян А.П., к.техн.н.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА В СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ ОПАЛЕННЯ БУДІВЛІ ЗА НЕЗАЛЕЖНОЮ СИСТЕМОЮ ПІДКЛЮЧЕННЯ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: системи опалення, незалежна схема, пластинчастий теплообмінник, інерційні характеристики, тепловіддача, порівняння

Вступ

Системи централізованого теплопостачання Східної Європи мають значний потенціал для енергоефективної оптимізації. Модернізація взаємопов'язаних елементів цих систем повинна включати застосування найкращих доступних енергозберігаючих технологій та обладнання для усіх компонентів такої системи.

В Україні системи централізованого теплопостачання забезпечують потреби біля 55 % населення країни, при цьому споживання енергії житловим фондом майже вдвічі перевищує європейські показники [1], що робить проблему модернізації елементів системи теплопостачання дуже актуальною.

Згідно періодизації розвитку централізованих систем теплопостачання, яка наведена у [2], зараз застосовуються системи третього покоління, які характеризуються, у тому числі, застосуванням попередньо зібраних індивідуальних теплових пунктів (ІТП) на вводах споживачів. Для систем опалення будівель у централізованих системах теплопостачання все більше застосовуються ІТП з незалежною системою підключення системи опалення будівлі до теплових мереж через теплообмінний апарат.

ІТП для систем опалення по незалежній схемі складаються з теплообмінного та помпового обладнання, системи автоматичного регулювання, гідравлічної арматури. Високоєфективні пластинчасті теплообмінники є базовим елементом ІТП в системах теплопостачання третього покоління. Разом із системою автоматичного регулювання пластинчастий теплообмінник є основним засобом, який забезпечує економію теплової енергії.

Аналіз стану проблеми

Регулювання теплообмінних апаратів являє собою доволі складний процес, який залежить, у тому числі, від тепловіддачі потоків робочих середовищ, їх теплофізичних властивостей, забруднення поверхні теплопередачі, геометричних характеристик теплообмінного апарату [3].

Як відомо [4], теплообмінний апарат як об'єкт регулювання разом з автоматичним регулювачем складає єдину замкнену динамічну систему, яка призначена для підтримки заданого закону зміни параметру, що регулюється, на сталих та перехідних режимах роботи. Зміна регульованого параметру у збуреному режимі, а також час, за який відхилення наближається до нуля, в значній мірі буде залежати від характеристик

об'єкту автоматизації, які можна назвати інерційними. Для теплообмінних апаратів основними такими характеристиками є ємність, самовирівнювання та запізнення.

Теплова ємність – це властивість об'єкту регулювання накопичувати теплову енергію, яка бере участь у процесі, при умові, що у об'єкті регулювання є спротив виходу цієї енергії. Для теплообмінного апарату теплову ємність можна також охарактеризувати як акумулюючу спроможність.

Ступінь самовирівнювання характеризує поведінку об'єкту регулювання після внесення збурення без регулювала. Чим більше ступінь самовирівнювання, тим скоріше об'єкт приходить до деякого сталого значення з меншим статистичним відхиленням. Величина, зворотна ступеню самовирівнювання, є коефіцієнтом підсилення або коефіцієнтом передачі об'єкту.

Константа часу являє собою час, за який об'єкт при внесенні збурення переходить з одного рівно вісного стану в інший при умові, що швидкість зміни параметру, що регулюється, буде постійною та відповідати максимальному початковому значенню. Між моментом внесення збурення та початком зміни регулюючого параметру фізичної величини проходить деякий час, який являє собою запізнювання та визначається інерційністю об'єкту регулювання.

У публікаціях [5] та [6] показано, що константа часу для теплообмінного апарату як двопорожнинного об'єкту регулювання складається з трьох компонентів: константи часу першої порожнини, константи часу тепло передаючого елементу (стілки трубки або каналу) та константи часу другої порожнини, у яких течуть робочі середовища. Згадані константи часу залежать від геометричної форми порожнин та коефіцієнтів теплопередачі робочих середовищ, які протікають.

Результати досліджень регулювання кожухотрубчатого теплообмінника, які приведені у публікації [7], для позиції охолодження піролізного газу водою, свідчать про те, що внутрішнім збуренням теплообмінника як об'єкта регулювання є зміна коефіцієнта теплопередачі, яка обумовлена зовнішнім збуренням – зміною температури теплоносія та довколишнього середовища.

Ці параметри опосередковано входять до значення констант часу.

Аналіз праць, присвячених регулюванню пластинчастих теплообмінників [8,9,10], показав, що дослідження інерційних характеристик таких апаратів не проводилося.

Таким чином, метою роботи є дослідження інерційних характеристик пластинчастого теплообмінного апарату як двопорожнинного об'єкту регулювання та вплив факторів інтенсифікації параметрів потоків робочих середовищ на ці характеристики.

Експериментальна частина та методологія

Дослідження були проведені на діючому індивідуальному тепловому пункті, який встановлено на ввіді в учбовий корпус У-2 академічного містечка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» для системи опалення за незалежною схемою підключення. Конструкція тепловипункту була розроблена фахівцями університету та АТ «Співдружність-Т», сам тепловипункт був виготовлений АТ «Співдружність-Т» із виконанням усіх наявних на сьогоднішній час енергозберігаючих заходів та обладнання для їх реалізації, включаючи засоби автоматичного керування. Мета автоматичного керування – економія тепла зовнішнього теплоносія, який подається підприємством міських теплових мереж в залежності від температури навколишнього середовища. Економія тепла в значній мірі залежить від швидкості реагуван-

ня теплообмінника ІТП на зміни цієї температури, при цьому швидкість реагування залежить від інерційних характеристик згаданого теплообмінника.

Дані для проектування ІТП на вводі у будівлю У-2 приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні експлуатаційні дані для проектування ІТП для будівлі У-2

№	Назва об'єкту	У-2	
1	Кількість тепла, яке нормативно передається за годину	0,63 Гкал	
2	Розрахункова температура подачі теплоносія	T1 = 118°C	
3	Зворотна розрахункова температура теплоносія	T2 = 59°C	
4	Температура подачі в контур опалення	T11 = 75°C	
5	Температура виходу з контуру опалення	T21 = 50°C	
6	Робочий тиск у теплообмінному апараті	P = 1600 000 Па	
7	Втрати тиску потоку теплоносія	$\Delta p_{1 \leq 3 \text{ м}}$ в.ст	
8	Втрати тиску потоку у контурі опалення	$\Delta p_{1 \leq 5 \text{ м}}$ в.ст	

Розрахунок поверхні теплопередачі пластинчастого теплообмінного апарату для системи опалення по незалежній схемі будівлі У-2 виконаний згідно методик, які викладені у [11] з урахуванням можливих корекцій температурного графіку подачі теплоносія теплопостачаючою організацією. Результати розрахунку наведені у таблиці 2.

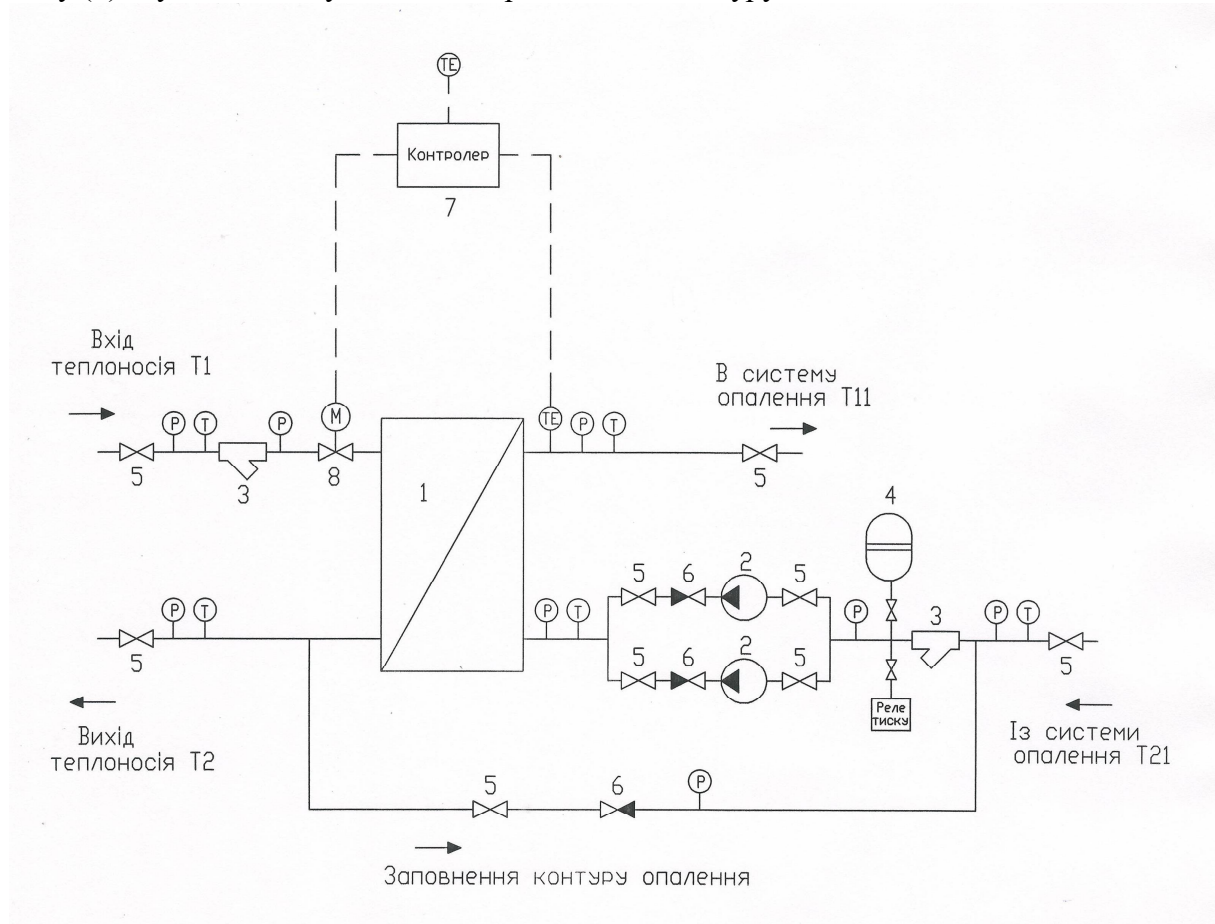
Таблиця 2

№ п/ п	Найменування показників	Одиниця вимірю- вання	Значення	
			Теплоносій	Контур опалення
1	Тип пластинчастого теплообмінника	–	M6-FG	
2	Кількість теплообмінників	Шт.	1	
3	Площа поверхні теплопередачі	м ²	9	
4	Втрати тиску: по теплоносію по контуру опалення	М.в.ст	0,93	4,6
5	Компоновка пакету		20H+10ML	21H+10MH
6	Об'єм порожнини	л	9,38	9,68
7	Матеріал пластин	–	Нерж. сталь AISI 316	
8	Матеріал прокладок	–	EPDM	

Принципова схема ІТП будівлі У-2 наведена на рис. 1

Теплоносій теплової мережі Т1 подається у пластинчастий теплообмінник (1), де віддає тепло потоку Т21 внутрішнього контуру системи опалення та відводиться назад у теплову мережу (потік Т2). Потік Т21 є зворотнім потоком незалежного контуру опалення будівлі корпусу, який поступає до циркуляційних pomp (2) через механічний фільтр (3). Встановлено дві помпи: одна – робоча, друга – резервна. Приймавши тепло

від потоку T1 у теплообміннику (1), потік внутрішнього контуру опалення T21 подається безпосередньо до системи опалення у якості подачі системи опалення T11. Заповнення внутрішнього контуру опалення здійснюється із зворотного трубопроводу теплоносія T2. Термокомпенсаційний вузол включає розширювальний бак мембранного типу (4). Вузол під'єднується до зворотної лінії контуру опалення T21.



- 1 – пластинчастий теплообмінник; 2 – циркуляційні помпи;
 3 – механічні фільтри; 4 – бак мембранний; 5 – засувка; 6 – зворотній клапан;
 7 – контролер; 8 – регулювач з електроприводом; ТЕ – датчик температури;
 Т – термометр; Р – манометр

Рисунок 1 – Принципова схема індивідуального тепловузла будівлі У-2

Методологія

Для розрахунку теплових інерційних характеристик пластинчастого теплообмінника використовуємо принципи методики, яку викладено в [4].

Коефіцієнт теплової ємності теплообмінника дорівнює:

$$K_A = V \rho c, \quad (1)$$

де V – об'єм порожнини теплообмінника; ρ – щільність робочого середовища; c – питома теплоємність робочого середовища

Якщо до збудження теплове навантаження на теплообмінник дорівнювало Q_1 , то після внесення збудження воно дорівнюватиме

$$Q = Q_1 + \Delta Q. \quad (2)$$

Відповідно, приріст температури робочого середовища, що нагрівається, дорівнюватиме:

$$\Delta t = \Delta Q / (G_2 c_2), \quad (3)$$

де G_2 , c_2 – масовий дебіт та питома теплоємність робочого середовища, що гріється.
Ступінь самовирівнювання теплообмінника

$$\delta = (t_2 \Delta G) / (G_1 \Delta t), \quad (4)$$

де G_1 – дебіт гарячого робочого середовища, ΔG - приріст дебіту гарячого робочого середовища після збурення, t_2 – температура робочого середовища, що нагрівається, на виході з теплообмінника до збурення.

Константа часу теплообмінника дорівнює:

$$T_0 = (t_2 K_A) / (Q \delta). \quad (5)$$

Коефіцієнт підсилення теплообмінника:

$$K_0 = 1/\delta. \quad (6)$$

Для ПІ-регулятора з перехідним процесом регулювання з 20 % пере регулюванням коефіцієнт підсилення регулятора дорівнює:

$$K_p = (0,7T_0) / (K_0 \tau), \quad (7)$$

де τ – час запізнювання, який дорівнює:

$$\tau = l_k / w, \quad (8)$$

l_k – довжина каналу (труби) теплообмінника; w – лінійна швидкість потоку робочого середовища у каналі (трубі) теплообмінника.

Час інтегрування регулятора дорівнює:

$$T_1 = 0,3T_0 + \tau. \quad (9)$$

Якщо константи часу потоків робочих середовищ T_1 та T_2 є функціями коефіцієнтів тепловіддачі потоків α_1 та α_2 , то значення цих коефіцієнтів можна знайти за допомогою критеріальних рівнянь, керуючись даними, приведеними в роботі [12]:

$$Nu = 0,206 Re^{0,7} Pr^{0,4}, \quad (10)$$

де Nu – критерій Нуссельта; Re – критерій Рейнольдса; Pr – критерій Прандтля.

Рівняння (10) є справедливим для компоновки обох порожнин пластинчастого теплообмінника М6-FG, теплові інерційні характеристики якого досліджуються.

Відповідно, коефіцієнти тепловіддачі знаходяться із відомого співвідношення:

$$h = (Nu \lambda) / d_e, \quad (11)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності робочого середовища, d_e – еквівалентний діаметр каналу, по якому протікає робоче середовище.

Розрахунковий коефіцієнт теплопередачі у теплообміннику для чистої поверхні теплообміну дорівнює:

$$k_p = 1 / (1/h_1 + \delta_{ст}/\lambda_{ст} + 1/h_2). \quad (12)$$

Користуючись методиками, викладеними у [5,6], визначаємо константи часу для порожнини гарячого потоку, стінки каналу та порожнини холодного потоку. Тоді загальну константу часу можна записати наступним чином:

$$T_0 = T_\Gamma + T_{ст} + T_X, \quad (13)$$

де T_Γ – константа часу порожнини гарячого потоку, $T_{ст}$ – константа часу стінки каналу, T_X – константа часу порожнини холодного потоку.

Формулу (13) можна також представити у вигляді:

$$T_0 = T_1 + T_2. \quad (14)$$

У цій формулі $T_1 = T_\Gamma$, $T_2 = T_{ст} + T_X$, оскільки тепло, віддане гарячим потоком сприймається стінкою каналу та потім холодним потоком.

Згідно роботі [4] характеристичне рівняння автоматичної системи регулювання температури у контурі опалення може бути записане у наступному вигляді:

$$T_1 T_2 T_i p^3 + T_i (T_1 + T_2) p^2 + (T_i + K_0 K_p T_i) p + K_0 K_p = 0. \quad (15)$$

Перехідному процесу регулювання притаманний коливальний затухаючий характер, тобто температура на вході в систему опалення будівлі У-2 при внесенні одиничного збурення змінюється відповідно наступному закону:

$$x_{вих}(\tau) = 1 + A e^{-\alpha \tau} + B e^{-\gamma \tau} \sin(\lambda \tau + \varphi), \quad (16)$$

де A , B – коефіцієнти; e – експонента; τ – реальний час, сек.; α , γ , λ – дійсний корінь та складові уявних коренів рівняння (15) відповідно, φ – кут, що характеризує ступінь затухання.

$$\operatorname{tg} \varphi = [\lambda(C + \alpha^2 - 2\alpha\gamma)] / [\alpha^2\gamma - \alpha(\gamma^2 - \lambda^2) - C(\alpha - \gamma)], \quad (17)$$

де C – перша та друга прохідниця рівняння (16):

$$x(+0) = x^I(+0) = x^{II}(+0) = 1/K_0 K_p. \quad (18)$$

Тоді коефіцієнти A та B дорівнюватимуть:

$$A = (\lambda \cos\varphi - \gamma \sin\varphi) / [(\lambda \cos\varphi - \gamma \sin\varphi) + \alpha \sin\varphi]. \quad (19)$$

$$B = \alpha A / (\lambda \cos\varphi - \gamma \sin\varphi). \quad (20)$$

Максимальна температура на виході з теплообмінника у систему опалювання при збуренні дорівнює:

$$t_{\max} = t_2 + \Delta t, \quad (21)$$

а температура у реальному часі

$$t_i(\tau) = t_{\max} - \Delta t x_{\text{вих}}(\tau) \quad (22)$$

при $\tau_i > 0$.

Час, за який температура після збурення досягає заданого значення

$$\tau_i = \tau_{33}.$$

Обговорення результатів

Результати моніторингу роботи індивідуального теплопункту навчального корпусу У-2 НТУ «ХП» наведені у таблиці 3. З аналізу даних видно, що пластинчастий теплообмінник, який підігріває воду внутрішнього контуру опалення, є високоефективним апаратом, у якому досягаються високі значення коефіцієнтів теплопередачі за рахунок інтенсивної турбулізації потоків робочих середовищ.

Таблиця 3

№п /п	Показники	Експеримент №1	Експеримент №2	Експеримент №3	Експеримент №4	Експеримент №5	Експеримент №6	Експеримент №7
1	Температура навколишнього повітря, $t_{\text{нав}}, ^\circ\text{C}$	2	-4	1	-3	-9	-3	0
2	Температура подачі теплоносія, $t_1, ^\circ\text{C}$	70	77	73	73	82	75	72
3	Зворотна температура теплоносія, $t_2, ^\circ\text{C}$	48	52	47	47	50	48	47
4	Температура подачі в системі опалення, $t_{11}, ^\circ\text{C}$	55	58	53	56	57	53	52
5	Зворотна температура системи опалення, $t_{21}, ^\circ\text{C}$	44	45	41	44	43	41	40
6	Дебіт теплоносія тепломережі, $\text{м}^3/\text{год}$.	12,5	13	11,5	12	10,9	11,1	12
7	Дебіт потоку в системі опалення, $\text{м}^3/\text{год}$.	25	25	25	25	25	25	25
8	Теплові навантаження, $\text{Гкал}/\text{год}$.	0,275	0,325	0,3	0,31	0,35	0,3	0,3
9	Значення експериментального коефіцієнту теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3740	3230	2982	3780	2841	2769	2889

Результати дослідження теплових інерційних характеристик пластинчастого теплообмінника представлені у таблиці 4 для одного з робочих режимів, які наведені у таблиці 1, а саме для теплового навантаження $Q = 320$ кВт, що відповідає дебітам гарячого та холодного потоків $G_1 = 3,3$ кг/с та $G_2 = 7,14$ кг/с відповідно. При внесенні збурення з боку гарячого теплоносія $\Delta Q\% = +15\%$ отримуємо приріст теплового навантаження $\Delta Q = 48$ кВт, що становить приріст дебіту гарячого теплоносія $\Delta G_1 = 0,495$ кг/с.

Характеристичне рівняння для цього випадку буде таким:

$$1,16p^3 + 3,59p^2 + 3,82p + 0,386 = 0. \quad (23)$$

Вирішення цього рівняння дає наступні корені: $r_1 = -0,112$; $r_{2,3} = -1,483 \pm 0,86i$.

Тоді рівняння (16) має вигляд:

$$X_{\text{вих}}(\tau) = 1 - 0,96 e^{-0,112\tau} + 0,18 e^{-1,483\tau} \sin(0,86\tau + 0,17). \quad (24)$$

Результати моніторингу роботи ІТП опалення будівлі У-2

Зміна температури у реальному часі після збурення представлена у таблиці 5. Завдяки високим значенням коефіцієнта тепловіддачі пластинчастого теплообмінника можна з певною вірогідністю прогнозувати, що збурення з більшою величиною зміни теплового потоку, наприклад, $\Delta Q\% = 45\%$, можна описати за допомогою тих же рівнянь, що і $\Delta Q\% = 15\%$. Як свідчать розраховані значення $x_{\text{вих}}(\tau)$ та $t(\tau)$ температура досягає заданого значення десь через 60 секунд.

Таблиця 4 – Порівняння теплових інерційних характеристик пластинчастого та кожухотрубчатого теплообмінників

Теплообмінний апарат та робочі середовища	Теплове навантаження, Q, кВт	Приріст теплового навантаження, $\Delta Q\%$	Площа поверхні теплопередачі, F, м ²	Теплова ємність, кДж/К	Ступінь самовирівнювання, δ	Константа часу, сек.
Пластинчастий теплообмінник, вода/вода	320	15	9	39,4	5,12	1,313
Кожухотрубчатий теплообмінник водяна пара/розчин NaOH	210	15	27,3	618,8	1,22	288

Оскільки дослідження теплових інерційних характеристик пластинчастого теплообмінника проводиться уперше, для порівняння у таблиці наведені теплові інерційні характеристики кожухотрубчатого теплообмінного апарату, в якому підігрівається розчин NaOH водяною парою, що конденсується, згідно прикладу, наведеному у [4]. Для обох випадків розглядається пропорційно-інтегральне (ПІ) регулювання з 20 % перерегулюванням.

Порівняння показує суттєву різницю у значеннях теплових інерційних характеристик двох типів апаратів на користь пластинчастого теплообмінного апарату. Проаналізувавши цю різницю, її можна об'яснити перш за все компактністю останньо-

го, яка суттєво впливає на теплоємність теплообмінника, а через неї і на константу часу. Компактність пластинчастого теплообмінного апарату обумовлюється специфічною геометричною формою його каналів, яка забезпечує високу інтенсифікацію параметрів потоків та, відповідно, високі коефіцієнти тепловіддачі.

Таблиця 5

τ, сек.	$t_{\max} = 56,6^{\circ}\text{C}; \Delta Q\% = 15\%;$ $\Delta t = 1,6^{\circ}\text{C}$	$t_{\max} = 59,8^{\circ}\text{C}; \Delta Q\% = 45\%;$ $\Delta t = 4,8^{\circ}\text{C}$
1	56,36	59,08
2	56,21	58,65
3	56,09	58,26
4	55,98	57,95
5	55,87	57,63
6	55,78	57,35
7	55,69	57,09
8	55,62	56,87
9	55,55	56,67
10	55,5	56,5
20	55,1	55,48
30	55,05	55,15
40	55,01	55,04
60	55,009	55,02

Висновки

Вперше проведено дослідження теплових інерційних характеристик пластинчастого теплообмінного апарату для системи опалення будівлі за незалежною системою підключення. Доведено вплив високої інтенсифікації параметрів потоків робочих середовищ у каналах апарату на значення інерційних характеристик. Проведено порівняння з кожухотрубчатим теплообмінним апаратом та показано значну перевагу пластинчастого апарату як об’єкту регулювання.

Література

1. C. Fekete. Central and Eastern European District Heating Outlook. – KPMG’s Energy and Utilities Advisory Edition, Budapest, 104 pp.
2. H. Lund et al. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. – “Energy”, 2014, 68, p.1–11.
3. A. Vasickaninova, M. Bakosova, L. Cirka, M. Kalus. Robust Controller Design for Heat Exchanger. – “Chemical Engineering Transactions”, 2018, 70, p. 25–30.
4. Теплотехнологические установки, системы, оборудование: учеб. пособие: в 3ч.-ч.3/под.ред. Б.О.Левченко, Л.Л.Товажнянского.– Х.; НТУ «ХПИ», 2015, 728 с.
5. A. Vasickaninova, M. Bakosova, A.Meszaros, J.Klemes. Neural network predictive control of a heat exchanger. – “Chemical Engineering Transactions”, 2010, 21, p. 73–78.
6. A. Vasickaninova, M. Bakosova. Intelligent Control of Heat Exchangers. “Chemical Engineering Transactions”, 2011, 25, p. 165–170.

7. М.В. Скороспешкин, Г.П. Цапко, В.Н. Скороспешкин. Адаптивная система регулирования температуры кожухотрубчатого теплообменника. – «Известия Томского политехнического университета», 2010, т.316, №5, с. 151–156.
8. P. Kapustenko, O. Dobromyslova, O. Dobromyslov, O. Perevertaylenko, O. Arsenyeva, O. Ilyunin. Control of Plate Heat Exchanger Outlet Temperature Using Butterfly Valve and Parametric Model Predictive Control Technique. – “Chemical Engineering Transactions”, 2009, 18, 5pp.
9. Afraa H.Al-Tae, Safa A.Al-Naimi. Comparative study of temperature control in a heat exchanger process. – “Eng.&Tech. Journal”, 2012, vol.30, No.10, p. 1707–1731.
10. I.A. Kamil. Development of a suitable heat exchanger temperature controller for a typical milk pasteurization process. – “International Journal of Control and Automation”, 2018, 11, No.8, p. 95–108.
11. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. Пластинчатые теплообменники в промышленности.– Харьков, НТУ «ХПИ», 2004, 232 с.
12. O.P. Arsenyeva, L.L. Tovazhnyanskyu, P.O. Kapustenko, G.L. Khavin. Optimal design of plate-and-frame heat exchangers for efficient heat recovery in process industries.- “Energy”, 2011, 36, p. 4588–4598.

Bibliography (transliterated)

1. C. Fekete. Central and Eastern European District Heating Outlook. – KPMG’s Energy and Utilities Advisory Edition, Budapest, 104 pp.
2. H. Lund et al. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. – “Energy”, 2014, 68, p.1–11.
3. A. Vasickaninova, M. Bakosova, L. Cirka, M. Kalus. Robust Controller Design for Heat Exchanger. – “Chemical Engineering Transactions”, 2018, 70, p. 25–30.
4. Teplotekhnologicheskie ustanovki, sistemy, oborudovanie: ucheb. posobie: v 3ch.-ch.3/pod.red. B.O.Levchenko, L.L.Tovazhnyanskogo.– H.; NTU «HPI», 2015, 728 p.
5. A. Vasickaninova, M. Bakosova, A.Meszaros, J.Klemes. Neural network predictive control of a heat exchanger. – “Chemical Engineering Transactions”, 2010, 21, p. 73–78.
6. A. Vasickaninova, M. Bakosova. Intelligent Control of Heat Exchangers. “Chemical Engineering Transactions”, 2011, 25, p. 165–170.
7. М.В. Скороспешкин, Г.П. Цапко, В.Н. Скороспешкин. Адаптивная система регулирования температуры кожухотрубчатого теплообменника. – «Известия Томского политехнического университета», 2010, т.316, №5, P. 151–156.
8. P. Kapustenko, O. Dobromyslova, O. Dobromyslov, O. Perevertaylenko, O. Arsenyeva, O. Ilyunin. Control of Plate Heat Exchanger Outlet Temperature Using Butterfly Valve and Parametric Model Predictive Control Technique. – “Chemical Engineering Transactions”, 2009, 18, 5 pp.
9. Afraa H.Al-Tae, Safa A.Al-Naimi. Comparative study of temperature control in a heat exchanger process. – “Eng.&Tech. Journal”, 2012, vol.30, No.10, p. 1707–1731.
10. I.A. Kamil. Development of a suitable heat exchanger temperature controller for a typical milk pasteurization process. – “International Journal of Control and Automation”, 2018, 11, No.8, p. 95–108.
11. L.L. Tovazhnyanskyu, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arsen'eva. Platinchatye teploobmenniki v promyshlennosti.– Har'kov, NTU «HPI», 2004, 232 p.

12. O.P. Arsenyeva, L.L. Tovazhnyanskyu, P.O. Kapustenko, G.L. Khavin. Optimal design of plate-and-frame heat exchangers for efficient heat recovery in process industries.– “Energy”, 2011, 36, p. 4588–4598.

УДК 66.045.1

Куценко О.С., Товажнянський В.І., Перевертайленко О.Ю., Капустенко П.О., Ведь В.Є., Юзбашьян А.П.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМІННИКА В СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ ОПАЛЕННЯ БУДІВЛІ ЗА НЕЗАЛЕЖНОЮ СИСТЕМОЮ ПІДКЛЮЧЕННЯ

Проаналізовано розвиток систем теплопостачання будівель на теперішній час. Системи теплопостачання займають значне місце в економіці України, та підвищення їхньої енергоефективності є однією з найважливіших завдань, яке визначає споживання вуглеводневих паливних ресурсів, а також викидів парникових газів у довкілля. Енергоспоживання систем теплопостачання залежить, у тому числі, від досконалості конструкцій теплових ввідів споживачів. Найбільш ефективною конструкцією є система опалення за незалежною схемою, тобто, через проміжний теплообмінний апарат. Від ефективної роботи теплообмінного апарату залежить якість опалення будівлі. Визначальну роль грає система регулювання подачі теплоносія теплової мережі залежно від температури навколишнього повітря. Ці фактори визначають споживання теплової енергії будівлею. Пластинчасті теплообмінники зараз є найбільш ефективними апаратами, які застосовуються в системах теплопостачання будівель по незалежній схемі.

В роботі наведено результати досліджень теплових інерційних характеристик пластинчастого теплообмінника, який встановлений на діючому тепловому пункті навчальної будівлі. Тепловий пункт включає в себе систему автоматичного регулювання, що дозволяє регулювати дебіт теплоносія для потреб опалення будівлі. Проведено порівняння теплових інерційних характеристик з трубчатим теплообмінним апаратом. Показано перевагу пластинчастого апарату за рахунок високої тепловіддачі у каналах

Ключові слова: системи опалення, незалежна схема, пластинчастий теплообмінник, інерційні характеристики, тепловіддача, порівняння

Куценко А.С., Товажнянский В.И., Перевертайленко А.Ю., Капустенко П.А., Ведь В.Е., Юзбашьян А.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ ПО НЕЗАВИСИМОЙ СХЕМЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Проанализировано развитие систем теплоснабжения зданий на настоящий момент. Системы теплоснабжения занимают значительное место по энергопотреблению в экономике Украины, и повышение их энергоэффективности является одной из важнейших задач, которая определяет потребление углеводородных топливных ресурсов, а также выбросы в атмосферу парниковых газов. Энергопотребление систем теплоснаб-

ження зависит, в том числе, от совершенства конструкции тепловых вводов потребителей. Наиболее эффективной конструкцией тепловых вводов является система отопления здания или сооружения по независимой схеме, то есть, через промежуточный теплообменный аппарат. От эффективности работы теплообменного аппарата зависит качество отопления здания. Определяющую роль играет система регулирования подачи теплоносителя тепловой сети в зависимости от температуры наружного воздуха. Оба эти фактора определяют потребление тепловой энергии зданием. Пластинчатые теплообменники в настоящее время являются наиболее эффективными аппаратами, которые применяются в системах теплоснабжения зданий по независимой схеме. В данной работе приведены результаты исследований тепловых инерционных характеристик пластинчатого теплообменника, установленного на действующем тепловом пункте учебного корпуса. Тепловой пункт также включает в себя систему автоматического регулирования, что позволяет регулировать расход тепловой энергии на отопление здания. Проведено сравнение тепловых инерционных характеристик с трубчатым теплообменным аппаратом. Показано преимущество пластинчатого аппарата за счет высокой теплоотдачи в каналах.

Ключевые слова: системы отопления, независимая схема, пластинчатый теплообменник, регулирование, инерционные характеристики, теплоотдача, сравнение

Kutsenko O.S., Tovazhnyansky V.I., Perevertaylenko O.Yu., Kapustenko P.O.,
Ved.V.E., Yuzbasyan A.P.

THE STUDY OF PLATE HEAT EXCHANGER THERMAL INERTIAL PROPERTIES AS OBJECT OF CONTROL IN CLOSED-LOOP RADIATOR HEATING SYSTEM

The development of central heating systems for buildings was analyzed. Heating systems take the significant place on energy consumption of Ukrainian economic, so the improvement of energy efficiency is of great importance because it defines the consumption of hydrocarbon fuel resources and pollutions into environment. Heating systems energy consumption depends on construction of consumers thermal substations. The most efficient construction is independent radiator heating system of building through intermediate heat exchange apparatus. The efficiency of heat exchanger determines the quality of radiator heating service. Very important is the heat supply control from district heating supply system depending on ambient air temperature Both these factors define the building heat consumption. Plate heat exchangers now are widely used in independent radiator heating systems.

In this paper the results of thermal inertial characteristics investigation for plate heat exchanger installed in existing heat substation of academic building are presented. The heat substation includes also control system that lets to regulate the heat consumption for building radiator heating. The comparison with thermal inertial characteristics of shell-and-tube heat exchanger was carried out. The much better heat transfer in plate heat exchanger pattern causes the better thermal inertial properties of this unit.

Keywords: radiator heating, independent systems, control, plate heat exchanger, inertial properties, heat transfer, comparison

Алексахін О.О.¹, к.т.н., доцент, Єна С.В.², ст. викладач, Гордієнко О.П.², ст. викладач,
Бобловський О.В.³, асистент

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВТРАТ ТЕПЛОТИ ТРУБОПРОВОДАМИ РОЗПОДІЛЬНОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗА УКРУПНЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

¹ Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

³ Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова,
м. Харків

Ключові слова: централізоване теплопостачання, опалювальна мережа групи будівель, зміна витрат теплоносія по довжині розгалуженої мережі, теплові втрати трубопроводами.

Реформування систем централізованого теплопостачання передбачає зменшення витрат теплоти при виробленні, транспортуванні і використанні теплової енергії. Найбільші втрати характерні для етапу споживання енергії. Так наприклад, для опалення будівель необхідно орієнтовно 40 % витраченої для потреб теплопостачання теплоти. Забезпечення сучасних вимог до рівня величини опору теплопередачі огорожувальних конструкцій споруд [1,2] дозволить зменшити опалювальне навантаження на 20–35 %. Втрати теплоти при її транспортуванні можуть досягати значення 13 % від відпущеної до теплових мереж теплоти [3]. Зменшення цих показників можна досягти підвищенням якості теплової ізоляції та застосуванням оптимальних схем прокладки мереж. Обчислення теплових втрат при відомих характеристиках мережі (діаметр і довжина трубопроводів, товщина і матеріал теплової ізоляції тощо) можна виконати за наведеними у [4–6] методиками. Використання цих методик передбачає виконання достатньо громіздких обчислень, які потребують повного набору вихідних даних щодо параметрів забудови, способу прокладки мереж, параметрів теплової ізоляції трубопроводів, температурних умов тощо. Такий набір вихідної інформації не завжди є у наявності на початкових етапах проектування теплових мереж.

Метою роботи є отримання формул для оцінок втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі, зручних для використання на попередніх етапах оцінок енергоефективності варіантів виконання теплових мереж.

У реальних мережах зміна витрат теплоносія по довжині теплопроводу має ступінчастий характер з незмінними значеннями у межах окремих ділянок. Заміна ступінчастого закону розподілу витрат теплоносія монотонним, наприклад, у вигляді (1) спрощує аналітичні дослідження процесів теплопереносу у теплових мережах

$$\bar{G}(\bar{x}) = 1 - \bar{G}_{\text{від}} \bar{x}^n, \quad (1)$$

де $\bar{G}(\bar{x}) = G(\bar{x})/G_{\text{max}}$ – локальні відносні витрати теплоносія на гілці; G_{max} – витрати теплоносія на вході до гілки; $\bar{x} = x/L$ – відносна координата; L – довжина гілки.

Відносні витрати теплоносія через відгалуження від головної гілки $\bar{G}_{eio} = G_{eio} / G_{max}$ можна записати у вигляді

$$\bar{G}_{eio} = 1 - \bar{G}_{min}, \quad (2)$$

де $\bar{G}_{min} = G_{min} / G_{max}$ – відносні витрати теплоносія через систему найвіддаленішої на гілці будівлі.

Витрати теплоносія обумовлюють величину повної теплоємності потоку речовини, його теплоакумулюючу здатність й інтенсивність охолодження теплоносія. Залежно від величини показника ступеня у рівнянні (1) маємо різні закони зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу. При $n < 1$ спостерігається більш інтенсивне зниження витрат теплоносія на ближніх до входу до гілки ділянках мережі з поступовим зниженням витрат до мінімальної на гілці величини G_{min} . Значення $n=1$ обумовлює лінійний характер зміни витрат. При $n > 1$ спостерігається незначне зниження витрат на вхідних ділянках і різке зниження витрат на кінцевих ділянках. У роботі значення показника ступеня було прийнято рівним 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0.

При обчисленні втрат теплоти трубопроводами мереж часто користуються рівнянням

$$Q = q \cdot L \cdot K_1, \quad (3)$$

$$q = (t_{cp} - t_{om}) / \sum R, \quad (4)$$

де q – питомі (віднесені до 1м довжини трубопроводу) втрати теплоти; L – довжина теплопроводу; K_1 – коефіцієнт для обліку втрат теплоти конструктивними елементами мережі; t_{cp} – середня температура теплоносія; t_{om} – температура оточуючого середовища для відповідного способу прокладки мереж; $\sum R$ – сума складових опору теплопередачі.

Тому що при проектуванні теплової ізоляції трубопроводів, як правило, використовують нормативні значення припустимих втрат теплоти q_n для визначення фактичних втрат на ділянці теплової мережі можна скористатися рівнянням

$$q = q_n (t_{cp} - t_{om}) / \Delta t_n, \quad (5)$$

де Δt_n – різниця температур теплоносія і оточуючого середовища, при якій здійснено нормування теплових втрат.

Для зручності подальших перетворень табличні дані нормативних втрат теплоти для подавальних трубопроводів системи теплопостачання, що прокладені безканально або у непрохідних каналах [4], представлено у вигляді (6), для зворотних трубопроводів – у вигляді (7)

$$q_{n,1} = 31,6 + 270 D_{cp}, \quad (6)$$

$$q_{n,2} = 18,2 + 191 D_{cp}, \quad (7)$$

де D_{cp} – середній діаметр трубопровода.

При порівнянні варіантів виконання теплової мережі втрати теплоти трубопроводами доцільно оцінювати за питомими значеннями, віднесеними до матеріальної характеристики мережі, яку обчислюють за формулою

$$M = \sum_{i=1}^n (d_i \cdot l_i) = D_{cp} L, \quad (8)$$

де d_i, l_i – діаметр і довжина розрахункових ділянок гілки; n – кількість розрахункових ділянок

Для рекомендованого у [5] значення коефіцієнта $K_1 = 1,15$ співвідношення для визначення питомих втрат тепла подавальними трубопроводами матиме вигляд

$$\frac{Q_1}{M} = (3,653 + 0,428/D_{cp}) \cdot (\tau_{1,cp} - t_{om}). \quad (9)$$

Для зворотних трубопроводів системи тепlopостачання отримане аналогічним чином співвідношення має вигляд

$$\frac{Q_2}{M} = (4,88 + 0,465/D_{cp}) \cdot (\tau_{2,cp} - t_{om}). \quad (10)$$

При відсутності фактичних даних щодо діаметра трубопроводів його можна визначити за укрупненими показниками опалювальної мережі, використовуючи максимальний D_{max} (на вході теплоносія до подавального трубопроводу) і мінімальний D_{min} (на ввіді до системи опалення найвіддаленішої на гілці будівлі) діаметри. Середній діаметр гілки мережі можна обчислити наступним чином

$$D_{cp} = 0,5(D_{max} + D_{min}) K_G, \quad (11)$$

де K_G – коефіцієнт, що враховує особливості розподілу витрат теплоносія по довжині гілки.

Діаметр трубопроводів D визначають залежно від гідродинамічних характеристик потоку теплоносія [7,8]

$$D = (1,34 \cdot 10^{-5} \cdot G^2 / R)^{0,19}, \quad (12)$$

де R – питомі втрати тиску на подолання сил тертя під час руху теплоносія.

Витрати теплоносія G можна визначити залежно від теплового навантаження ділянок мережі. Після перетворень формула (11) приймає вигляд

$$D_{cp} = 7,33 \cdot 10^{-4} \cdot K_G \cdot Q_c^{0,38} \left[1 + (\bar{G}_{min})^2 \right]^{0,19} / R_{cp}^{0,19}, \quad (13)$$

де Q_c – сумарне опалювальне навантаження приєднаних до гілки теплопроводу будівель; R_{cp} – середні по довжині гілки питомі втрати тиску через тертя.

З рівняння (13) отримуємо співвідношення для коефіцієнта, що враховує особливості розподілу витрат теплоносія по довжині теплопроводу.

$$K_G = \frac{D_{cp}}{7,33 \cdot 10^{-4} \cdot Q_c^{0,38} \left[1 + (\bar{G}_{\min})^2 \right]^{0,19} / R_{cp}^{0,19}} \quad (14)$$

Для врахування закону зміни витрат теплоносія по довжині фрагмента мережі прийнято співвідношення середніх у межах головної гілки витрат G_{cp} і витрат теплоносія через відгалуження $G_{від}$. Для розглянутих у роботі законів зміни $\bar{G}(x) = 1 - \bar{G}_{від} \cdot x^n$ було обчислено значення витрат теплоносія у точках мережі, діаметри розрахункових ділянок теплопроводів і середній діаметр теплопроводу у межах гілки D'_{cp} , фактичні втрати тиску на ділянках і середні на довжині гілки втрати тиску. При обчисленнях значення мінімальних витрат на гілці було прийнято рівними $\bar{G}_{\min} = 0,1; 0,2; 0,4; 0,5$. Розглянутий діапазон зміни сумарного теплового навантаження будівель, що приєднані до гілки розподільної теплової мережі, становить $1,25 \leq Q_c \leq 10$ МВт. Вказаний діапазон є найбільш вірогідним для мікрорайонних систем великих міст [9]. Графіки зміни значень комплексу K_G від співвідношення витрат теплоносія $G_{cp}/G_{від}$ показано на рис.1. Результати обчислень узагальнено формулою (15).

$$K_G = (2 - 1,075 \bar{G}_{\min}) (G_{cp}/G_{від})^{0,41} \quad (15)$$

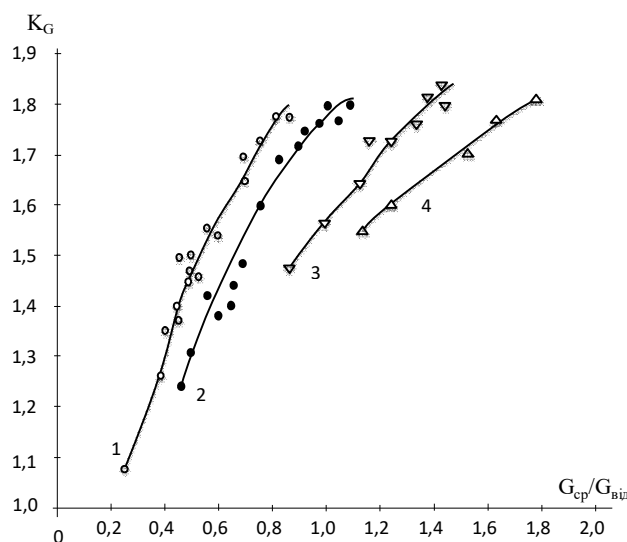


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта K_G від величини середніх витрат теплоносія на гілці теплової мережі

1 – $\bar{G}_{\min} = 0,1$; 2 – $\bar{G}_{\min} = 0,2$; 3 – $\bar{G}_{\min} = 0,4$; 4 – $\bar{G}_{\min} = 0,5$

Після перетворень формула (13) приймає вигляд

$$D_{cp} = 14,56 \cdot 10^{-4} \cdot Q_c^{0,38} (1 - 0,466 \cdot \bar{G}_{\min}) (G_{cp} / G_{від})^{0,41} / R_{cp}^{0,19}. \quad (13,a)$$

Зафіксоване максимальне відхилення результатів обчислень середніх діаметрів трубопроводів опалювальної мережі за формулою (13,a) від значень D'_{cp} не перевищує 1,5%. З урахуванням (13,a) співвідношення (9), (10) матимуть вигляд

$$\frac{Q_1}{M} = \left\{ 3,653 + \frac{294 R_{cp}^{0,19}}{Q_{сум}^{0,38} [1 - 0,466 \cdot \bar{G}_{\min}] (G_{cp} / G_{від})^{0,42}} \right\} \cdot (\tau_{1,cp} - t_{om}), \quad (9,a)$$

$$\frac{Q_2}{M} = \left\{ 4,88 + \frac{319,4 R_{cp}^{0,19}}{Q_{сум}^{0,38} [1 - 0,466 \cdot \bar{G}_{\min}] (G_{cp} / G_{від})^{0,42}} \right\} \cdot (\tau_{2,cp} - t_{om}). \quad (10,a)$$

Точність використання запропонованих формул перевірено на прикладах схем теплопостачання ідеалізованих груп будівель, наведених у табл. 1. Групи будівель утворено спорудами з однаковими витратами теплоти на опалення кожної зі споруд ідеалізованої групи. Залежно від теплових навантажень ділянок мережі обчислено витрати мережної води і за результатами гідравлічного розрахунку визначено діаметри теплопроводів і питомі втрати тиску на подолання сил на ділянках мережі. З використанням викладеної у [10–12] методикою, за фактичними витратами і температурою води на ділянках обчислено втрати теплоти трубопроводами подавальної та зворотної ліній, які у подальшому використано для порівняння з результатами обчислень за формулами (9,a) і (10,a). Результати порівняння наведено у табл. 1. Відмінність результатів не перевищує приблизно 3 %, що можна вважати достатнім при проведенні попередніх оцінок теплового стану мереж. Запропоновані формули дозволяють визначати втрати теплоти трубопроводами головної гілки опалювальної мережі. Для оцінок частки відгалужень у загальних теплових втратах мережею за розрахунковими даними, що враховують фактичні розподіли витрат мережної води і температури по довжині теплопроводів, побудовано графік зміни співвідношення втрат теплоти трубопроводами відгалужень і головної гілки $G_{від} / G_{зл}$ від величини співвідношення матеріальних характеристик трубопроводами відгалужень і головної гілки $M_{від} / M_{зл}$, який наведено на рис. 2. Несуттєва відмінність розрахункових даних для трубопроводів подавальної лінії, зворотних трубопроводів і мережі в цілому дозволила узагальнити результати обчислень одним рівнянням, яке має вигляд

$$\frac{Q_{від}}{Q_{зл}} = \frac{M_{від} / M_{зл}}{0,76 + 0,09 (M_{від} / M_{зл})}. \quad (16)$$

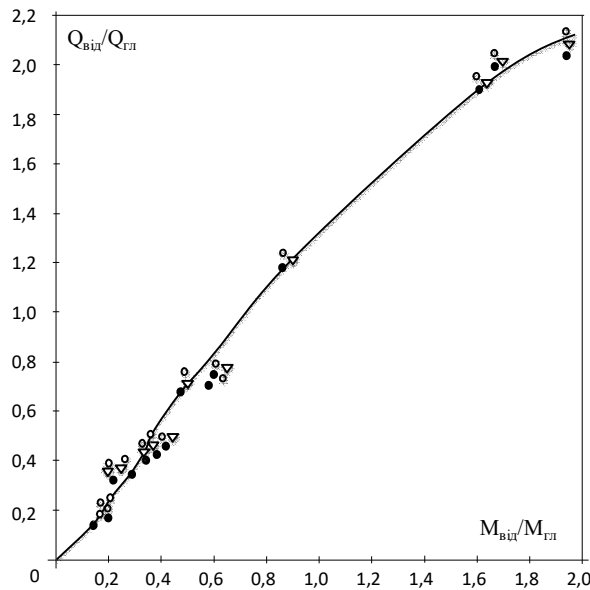


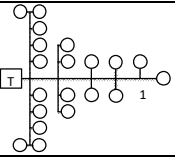
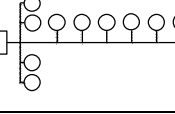
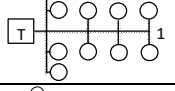
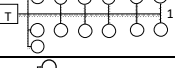
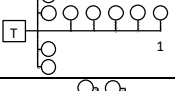
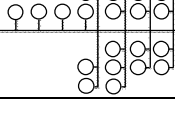
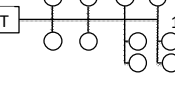
Рисунок 2 – Зміна втрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі при зміні співвідношення матеріальних характеристик трубопроводів

○ – подавальний трубопровід; ● – зворотний трубопровід; ◼ – мережа в цілому

Таблиця 1 – Порівняння результатів обчислень втрат теплоти трубопроводами головної гілки опалювальної мережі

Розрахункова схема	Q_c , МВт	Гілка (1-Т)			$\frac{M_{vit}}{M_{gl}}$	Питомі втрати теплоти, Q/M , Вт/м ²			
		M_{gl} , м ²	R , Па/м	d_{cp} , м		Подавальний трубопровід		Зворотний трубопровід	
						Ф-ла (9,a)	Δ , %	Ф-ла (10,a)	Δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	10	187	35	0,207	0,17	551	-3,3	517	-2,9
	10	150	100	0,167	0,16	597	-3,7	550	2,2
	10	210	20	0,233	0,17	532	-3,0	502	-2,5
	10	278	45	0,309	0,14	504	-0,7	479	-2,1
	2,5	66	37	0,189	0,7	591	-1,5	477	1,2
	3,25	42	36	0,158	1,95	633	-2,3	509	-0,6

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	5,0	43	34	0,173	1,63	621	0,1	492	0,13
	2,5	81	41	0,147	0,38	674	1,03	535	2,1
	5,0	66,3	39	0,189	0,4	601	0,4	483	1,7
	2,5	70	42,5	0,161	0,61	650	1,2	518	-0,25
	7,5	81,5	39	0,233	0,33	559	2,4	454	2
	2,5	70	38	0,145	0,61	679	0,7	529	1,9
	6,25	108	43	0,239	108	553	2,1	450	0,2
	2,5	73	32	0,183	0,54	613	0,6	492	3,2
	5,0	72	33	0,239	0,56	557	2,4	453	3,1

Висновки

1. Запропоновано формули для обчислення втрат теплоти подавальними і зворотними трубопроводами за укрупненими показниками систем централізованого теплопостачання.

2. Проведене порівняння результатів обчислень за запропонованими формулами і розрахунків за традиційними методиками з урахуванням фактичної зміни витрат мережної води і температури по довжині теплопроводів показало можливість використання цих формул при проведенні попередніх оцінок теплового стану мереж.

3. Запропоновано формулу для врахування втрат теплоти трубопроводами відгалужень залежно від співвідношення матеріальних характеристик трубопроводів відгалужень і головної гілки.

Література

1. Теплова ізоляція будівель.: ДБН В.2.6-31:2016. – К.:Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2016. – 31 с.
2. International Code Council. International Energy Conservation Code. Falls Church, VA, 2018.

3. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарські потреби в Україні // Керівний технічний матеріал 204 України, 244-94. – 1995. – 636 с.
4. Тепловая изоляция. Справочник строителя / Под ред. Г.Ф. Кузнецова – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
5. Проектирование тепловых сетей. Справочник проектировщика / Под ред. А.А. Николаева – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.
6. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях. РД 34.09.255-97. – М.: 1998. – 56 с.
7. Справочник по гидравлике / Под ред. Б.А. Большакова – К.: Вища школа, 1984. – 343 с.
8. Н.М. Зингер Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Зингер Н.М. – М.: Энергоиздат, 1986. – 320 с.
9. О.О. Алексахін Теплові розрахунки мікрорайонних систем теплопостачання. / Алексахін О.О. – ХНАМГ, – 2010. – с. 164.
10. О.О. Алексахін Особливості визначення середніх тепловтрат трубопроводами розгалужених мереж теплопостачання / Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П. – «Інтегровані технології та енергозбереження», – 2018. – №1 – с. 45-51.
11. А.А. Алексахін Расчет тепловпотерь подающими трубопроводами разветвленных тепловых сетей / Алексахін А.А., Єна С.В., Гордієнко Е.П. – «Інтегровані технології та енергозбереження», – 2016. – № 1 – с. 45–50.
12. А.А. Алексахін Особенности утепления групп зданий при централизованном теплоснабжении / Алексахін А.А., Єна С.В., Гордієнко Е.П., Сыров М.В., Фещенко Р.С. – «Інтегровані технології та енергозбереження», – 2018. – №3 – с. 27–34.

Bibliography (transliterated)

1. Teplova izoliatsiia budivel.: DBN V.2.6-31:2016. – К.:Minrehionbud ta ZhKH Ukrainy, 2016. – 31 p.
2. International Code Council. International Energy Conservation Code. Falls Church, VA, 2018.
3. Normy ta vказivky po normuvanniu vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarski potreby v Ukraini // Kerivnyi tekhnichniy material 204 Ukrainy, 244-94. – 1995. – 636 p.
4. Teplovaya izolyatsiya. Spravochnik stroitelya / Pod red. G.F. Kuznetsova – М.: Stroyizdat, 1982. – 336 p.
5. Proektirovanie teplovykh setei. Spravochnik proektirovshchika / Pod red. A.A. Nikolaeva – М.: Stroiizdat, 1965. – 359 p.
6. Metodicheskie ukazaniia po opredeleniiu teplovykh poter v vodianykh teplovykh setiakh. RD 34.09.255-97. – М.: 1998. – 56 p.
7. Spravochnik po gidravlike / Pod red. B.A. Bolshakova – К.: Vishcha shkola, 1984. – 343 p.
8. N.M. Zinger Gidravlicheskie i teplovye rezhimy teplofikatsionnykh sistem / Zinger N.M. – М.: Energoizdat, 1986. – 320 p.

9. O.O. Aleksakhin Teplovi rozrakhunky mikroraionnykh system teplopostachannia. / Aleksakhin O.O. – KhNAMH, – 2010. – p.164.

10. O.O. Aleksakhin Osoblyvosti vyznachennia serednikh teplovtrat truboprovodamy rozghaluzhenykh merezh teplopostachannia / Aleksakhin O.O., Iena S.V., Hordiienko O.P. – «Integrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia», – 2018. – №1 – p. 45–51.

11. A.A. Aleksahin Raschet teplopoter podayuschimi truboprovodami razvetvlenykh teplovyih setey / Aleksahin A.A., Ena S.V., Gordienko E.P. – «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya», – 2016. – № 1. – p. 45–50.

12. A.A. Aleksahin Osobennosti utepleniya grupp zdaniy pri tsentralizovannom teplosnabzhenii / Aleksahin A.A., Ena S.V., Gordienko E.P., Syirov M.V., Feschenko R.S. – «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya», – 2018. – №3 – p. 27–34.

УДК 658.264

Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П., Бобловський О.В.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВТРАТ ТЕПЛОТИ ТРУБОПРОВОДАМИ РОЗПОДІЛЬНОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗА УКРУПНЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

На підставі узагальнення результатів розрахункового визначення втрат теплоти трубопроводами розподільної мережі централізованої системи опалення отримано формули, що дозволяють за укрупненими показниками забудови здійснювати оцінки теплового стану подавальних й зворотних трубопроводів головних гілок мереж. За укрупнені показники прийнято сумарне опалювальне навантаження приєднаних до теплової мережі будівель, матеріальну характеристику теплопроводів, величини, що враховують особливості розподілу витрат теплоносія по довжині теплопроводу. Обчислення здійснено при умові, що питомі (лінійні) втрати теплоти трубопроводами знаходяться на рівні нормативних значень для підземної прокладки у непрохідних каналах. При обчисленнях враховано теплові втрати конструктивними елементами трубопроводів мережі. Формули отримано за результатами аналізу даних для ідеалізованих груп, що утворені будівлями з однаковим тепловим навантаженням, для розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря для кліматичних умов м. Харкова. Для апроксимації реального ступінчастого закону зміни витрат мережної води по довжині теплопроводу використано ступеневу функцію. Особливості розподілу витрат теплоносія по довжині теплопроводу враховано показником ступеню у рівнянні для витрат і величиною співвідношення середніх на довжині головної гілки витрат та сумарних витрат через відгалуження. Отримані формули для обчислення втрат теплоти відгалуженнями залежно від співвідношення матеріальних характеристик відгалужень і головної гілки дозволяють визначати теплові втрати мережею в цілому. Здійснено оцінки точності використання запропонованих формул. Відмінність результатів обчислень з використанням укрупнених показників забудови та результатів обчислень за традиційними методиками з урахуванням фактичної зміни витрат і температури мережної води по довжині тепло-

проводу не перевищує 6%, що можна вважати задовільним при проведенні оцінок теплового стану мереж на початкових етапах проектування.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, опалювальна мережа групи будівель, зміна витрат теплоносія по довжині розгалуженої мережі, теплові втрати трубопроводами.

Алексахин А.А., Ена С.В., Гордиенко Е.П., Бобловский А.В.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТЕРИ ТЕПЛОТЫ ТРУБОПРОВОДАМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПО УКРУПНЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

На основании обобщения расчетных данных по определению потерь теплоты трубопроводами распределительной сети централизованной системы отопления получены формулы, позволяющие по укрупненным показателям застройки выполнять оценки теплового состояния подающих и обратных трубопроводов главных ветвей отопительной сети. В качестве укрупненных показателей приняты суммарная отопительная нагрузка присоединенных к тепловой сети зданий, материальная характеристика теплопроводов, величины для учета особенности распределения расхода теплоносителя по длине теплопровода. Расчеты выполнены при условии, что удельные (линейные) потери теплоты теплопроводами находятся на уровне нормативных значений для подземной прокладки в непроходных каналах. При вычислениях учтены тепловые потери конструктивными элементами трубопроводами сети. Формулы получены по результатам анализа данных для идеализированной группы, составленной из зданий с одинаковой тепловой нагрузкой, при расчетной для отопления температуре наружного воздуха для климатических условий г. Харькова. Для аппроксимации реального ступенчатого закона изменения расхода сетевой воды по длине теплопровода использована степенная функция. Особенности распределения расхода теплоносителя по длине теплопровода учитываются показателем степени в уравнении расхода и величиной соотношения среднего на длине главной ветви расхода и суммарного расхода через ответвления. Полученные формулы для нахождения тепловых потерь ответвлениями в зависимости от соотношения материальных характеристик ответвлений и главной ветви позволяют определять тепловые потери сетью в целом. Выполнены оценки точности применения предложенных формул. Расхождение результатов расчетов с применением укрупненных показателей настройки и результатов расчетов по традиционным методикам с учетом фактического изменения расхода и температуры сетевой воды по длине теплопровода не превышает 6 %, что можно считать удовлетворительным при проведении оценок теплового состояния сетей на начальных этапах проектирования.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, отопительная сеть группы зданий, изменение расхода теплоносителя по длине трубопровода разветвленной сети, тепловые потери трубопроводами.

Aleksakhin O.O., Yena S.V., Hordiienko O.P., Boblovskiy O.V.

TECHNIQUE FOR EVALUATION OF HEAT LOSSES OF DISTRIBUTION HEATING NET PIPELINES USING AGGREGATED INDICATORS

Heat losses from distribution net pipelines of a centralized heating system were computationally estimated. The data were generalized. Formulas that allow evaluating the thermal state of supply and return pipelines for heating net main branches using buildings aggregated indicators were obtained as a result of the generalization. The total thermal load of the buildings connected to the heating net, the material characteristics of heat pipelines, factors that consider the peculiarities of heat transfer medium flow distribution along the heat pipeline were taken as aggregated indicators. Specific (linear) heat losses of subsurface heat pipelines in non-accessible channels were considered to be standard. Heat losses for structural elements of net pipelines were also taken into account. Idealized groups of buildings with the same thermal load were used in the calculation technique proposed. The standard ambient air temperature for the cold period and climatic conditions for Kharkov was used in the calculation. The real stepwise law for net water flow rate change along the heat pipeline was approximated using a power function. The peculiarities of heat transfer medium flow distribution along the heat pipeline was taken into account with the exponent in flow equation and the ratio of the average heat transfer medium flow of the main pipeline and the total heat transfer medium flow of its branches. Heat losses of the branches, based on the material characteristics ratio for the branches and the main pipeline, make it possible to determine heat losses of the heating net as a whole. The accuracy of applying the proposed formulas was evaluated. The imprecision between the results of the calculations using the aggregated indicators of buildings and traditional calculations method results, taking into account the actual change of flow rate and net water temperature along the heat pipeline, was compared. This imprecision does not exceed 6 %, which can be considered acceptable when assessing net thermal state at the early design stages.

Keywords: district heat supply, district heating, branched heating net, hydraulic conditions of heating net, thermal conditions of heating net, heat transfer medium changes along branched net pipelines, pipelines heat losses.

Пироженко Є.В., асп., Себко В.В., д.техн.н., проф., Здоренко В.Г., д.техн.н., проф.,
Бабенко В.М., к.техн.н., ст.викл, Горбунова О.В., ст.викл.

СУМІСНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКА ПИВНИХ СТОКІВ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключеві слова: техноекологія, виробництво пива, методи очищення, інформативний метод, кислі стічні води, фільтр, сумісний контроль, питома електрична провідність, температура.

На сьогодні, найважливішим завданням вітчизняної техноекології є очищення промислових стічних вод харчової та переробної промисловості. При створенні очисних споруд на підприємствах пивоварної промисловості необхідно враховувати специфічні особливості стоку обумовлені: технологіями виробництва продукції, споживанням води, методами очищення стічних вод, а також технічними можливостями інформативних методів контролю фізико-хімічних характеристик зразків стічних вод [1–3]. Стічні води, що надходять на очисні споруди, утворюються на різних стадіях виробничого процесу (затирання солоду, бродіння, кип'ятіння, фільтрація та ін.). Відходи, які утворюються на великих і середніх підприємствах, використовуються і утилізуються самими підприємствами [1–3]. Однак для міні-пивоварень удосконалення відомих і розробка нових способів очищення стічних вод є важливими і актуальними задачами. При цьому, стічні води в тих чи інших частках мають кислотний або лужний склад зі суспендованими речовинами [1–3]. Основними показниками нормативних документів і санітарних інструкцій на стічні води є питома електрична провідність χ , водневий показник pH , температура t і пов'язані з ними характеристики мінералізації $TДС$ і загальної жорсткості dGH [1–3].

На теперішній час, найбільш розповсюджені кондуктометричні методи і пристрої вимірювань питомої електропровідності χ (або питомого електричного опору k) водних розчинів електролітів [4–7]. При існуючій різноманітності кондуктометричних методів і пристроїв всі ці методи об'єднує реалізація основних операцій визначення χ в кондуктометричному осередку. При вимірі χ очищеної води, кондуктометричні методи вимірювань використовуються нормативними документами як еталонні. Слід зазначити, що при істотному зниженні χ розчинів електролітів, а також емульсійних рідин, які утворюються в стічних водах пивоварних виробництв до конструкції кондуктометричного осередку і до електродів починають пред'являтися досить жорсткі вимоги [4]. При цьому, інформативний параметр χ водних розчинів слабких електролітів і емульсійних рідин залежить від температури t і концентрації різних домішок: сульфатів, хлоридів, азоту, фосфору, молочної, масляної та вугільної кислот (що виникають в результаті загнивання білків) та ін. [7–14]. При загниванні стічних вод активна реакція середовища робиться кислою, в цьому випадку $pH < 4,3$. У практиці кондуктометричних вимірювань, прийнято значення питомої електропровідності χ приводити до $25\text{ }^\circ\text{C}$, все це викликає неточності інформативного контролю фізико-хімічних характеристик рідинних середовищ і призводить до виникнення додаткового

джерела похибок вимірювань. Саме тому для вибору способів очищення стічних вод виробництв пивоварної галузі, необхідно сумісне визначення χ і t , при цьому величина χ буде відрізнятися за чисельними даними, для різних зразків стічних вод в залежності від кислого або лужного походження зразків пивних стоків.

У зв'язку з цим виникає необхідність в створенні нових широкомежових методів спільного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ і температури t проб розчинів слабких електролітів та емульсій. Слід зазначити, що визначення температури t до потрапляння стічних вод як в міську каналізацію, так і у відкриті водойми, має важливе самостійне значення в плані запобігання теплових забруднень. Так, наприклад, для відкритих водойм, погіршення якості води при підвищенні температури, призводить до зниження розчинності кисню, яка зменшується на одну третину при температурі близькій до 30 °С викликаючи евтрофікацію водойм, в свою чергу, процес евтрофікації знищує більшу частину видів флори і фауни водойм, сильно трансформуючи екосистеми водоймищ та істотно погіршує санітарно-гігієнічні характеристики зразків води [2].

Як відомо, найважливішим показником відповідності стічних вод до нормативних документів є водневий показник pH [1–3]. Залежно від рівня pH визначають ефективність засобів і методів очищення стічних вод. Цей показник пов'язаний з жорсткістю води, чим більше значення pH (лужний характер стічних вод), тим більше жорсткість dGH . З жорсткістю води dGH також пов'язана питома електрична провідність стічних вод χ , тобто чим менше dGH , тим менше значення χ . При цьому стічні води пивоварного виробництва можуть мати також і кислий характер, так як дріжджі, білки і вуглеводи в результаті гниття утворюють в основному одноосновні слабкі карбонові кислоти [2]. У свою чергу, все це призводить до того, що в результаті антропогенного забруднення природних та штучних водойм, відбувається відхилення від нормативних документів важливих характеристик середовища, які відповідають нормам реакції мікроорганізмів на ці характеристики.

Таким чином, подальших досліджень потребує проблема зменшення антропогенного навантаження за рахунок моделювання пов'язаних з ним процесів руйнування природного середовища районів великих міст, в яких розташовані виробництва пивоварної галузі при реалізації перспективних методів очищення на основі попереднього вимірювального контролю фізико-хімічних характеристик зразків пивних стоків кислого та лужного походження. При цьому, для обирання способів очищення у подальших перспективних дослідженнях необхідна реалізація нових інформативних методів сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ , температури t та інших корелюючих з електричними та температурними параметрами фізико-хімічних величин: ТДС, dGH та рівня pH .

Слід зазначити, що вимірюючи різні характеристики зразків слабких електролітів (до яких відносять і пивні стоки), як правило, використовують кілька вимірювальних пристроїв (кондуктометри, мости змінного струму, pH -метри, ТДС-метри, термометри). Для спрощення вимірювальних процедур, виникає необхідність застосування тільки одного первинного пристрою – електромагнітного перетворювача за допомогою якого створюється інформаційна надмірність, а потім на основі теорії непрямих і сукупних вимірювань можна визначити відразу кілька параметрів зразків стічної води одночасно одним і тим же первинним перетворювачем.

Основними перевагами цих методів є безконтактність, простота функцій перетворення і схемних реалізацій, висока надійність і чутливість, можливість автоматиза-

ції процесу вимірювань – все це надає змогу щодо подальшого розвитку цих методів та пристроїв у напрямку вимірювань багатьох фізико-хімічних параметрів, які характеризують стан стічних вод пивоварних виробництв.

Слід зазначити, що до теперішнього часу теорія роботи багатопараметрових вихорострумових перетворювачів була недостатньо розвинена стосовно контролю рідинних середовищ, незважаючи на те, що деякі з цих методів були описані в наукових статтях [15–17]. Все це пояснюється насамперед складністю електромагнітних процесів, що відбуваються в провідних рідинних середовищах, пов'язаних з дифузією в них змінного магнітного поля, тому були ускладнені розрахунки і проектування занурювальних перетворювачів з осердям, що піддається нагріву у процесі контролю або прохідних вихорострумових перетворювачів з контрольованою пробю рідини. Таким чином, при вимірювальному контролі рідинних середовищ доцільно використовувати прохідні вихорострумові перетворювачі з двома обмотками, котушки яких охоплюють контрольований об'єкт – пробу рідини (що знаходиться в скляній трубці), за поширеною класифікацією ці перетворювачі відносять до вихорострумових трансформаторних перетворювачів ТВП [15].

Слід зазначити, що якщо підприємство розташоване в межах міста, кислі стічні води можуть подаватися в міську каналізацію – за умови, що їх кількість складає менше ніж 4 % від обсягу загальноміських стічних вод. Якщо стоки мають кислу реакцію, перед скидом їх нейтралізують, при цьому скид стічних вод в міську каналізацію без попередньої очистки неприпустимий.

Тому є підстави вважати, що питання, які пов'язані з обиранням методу очищення, а також моделюванням подальшої екологічної ситуації, яка пов'язана зі скидом стічних вод пивоварних виробництв – потребують створення нових широкомежових інформативних методів контролю пивних стоків, у свою чергу, недостатня визначеність теоретичних положень роботи вихорострумових пристроїв та обмеження реалізації методів вимірювального контролю електричних і температурних параметрів зразків слабких електролітів, обумовлюють необхідність проведення відповідних досліджень задля досягнення високого ступеню очищення зразків пивних стоків за вказаними вище напрямками.

Таким чином, метою роботи є дослідження інформативного метода сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t на основі трансформаторного вихорострумового перетворювача ТВП зі зразком пивних стоків кислого походження.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- дослідити можливість застосування теорії роботи ТВП стосовно реалізації інформативного двопараметрового вихорострумового метода сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t зразка пивних стоків;
- навести алгоритми моделювання процесу сумісного вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t зразка за допомогою ТВП;
- навести основні співвідношення для визначення електричної провідності χ і температури t зразка стічних вод.

Двопараметровий вихорострумовий метод сумісного вимірювального контролю електричних та температурних параметрів зразка кислих стічних вод пивоварних виробництв.

У роботах [16, 17] запропоновано контактні електромагнітні методи сумісного вимірювального контролю електричних і температурних параметрів зразків розчинів ка-

рбонових кислот. Показано, що підвищення точності вимірювань значень температури зразків відбувається, за рахунок розроблених алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур, які містять операції зі складовими компонентами сигналів теплових контактних електромагнітних перетворювачів (КЕП). Однак слід зазначити, що в [16, 17] не наведено шляхи встановлення оптимальних режимів роботи перетворювача зі зразками, що контролюються, не розглянуто безконтактні методи контролю слабких електролітів засновані на простих алгоритмах вимірювальних та розрахункових процедур, не розглянуто особливості контролю фізико-хімічних характеристик емульсій та суспензій, які утворюються внаслідок викидів відходів виробництв кислот та лугів.

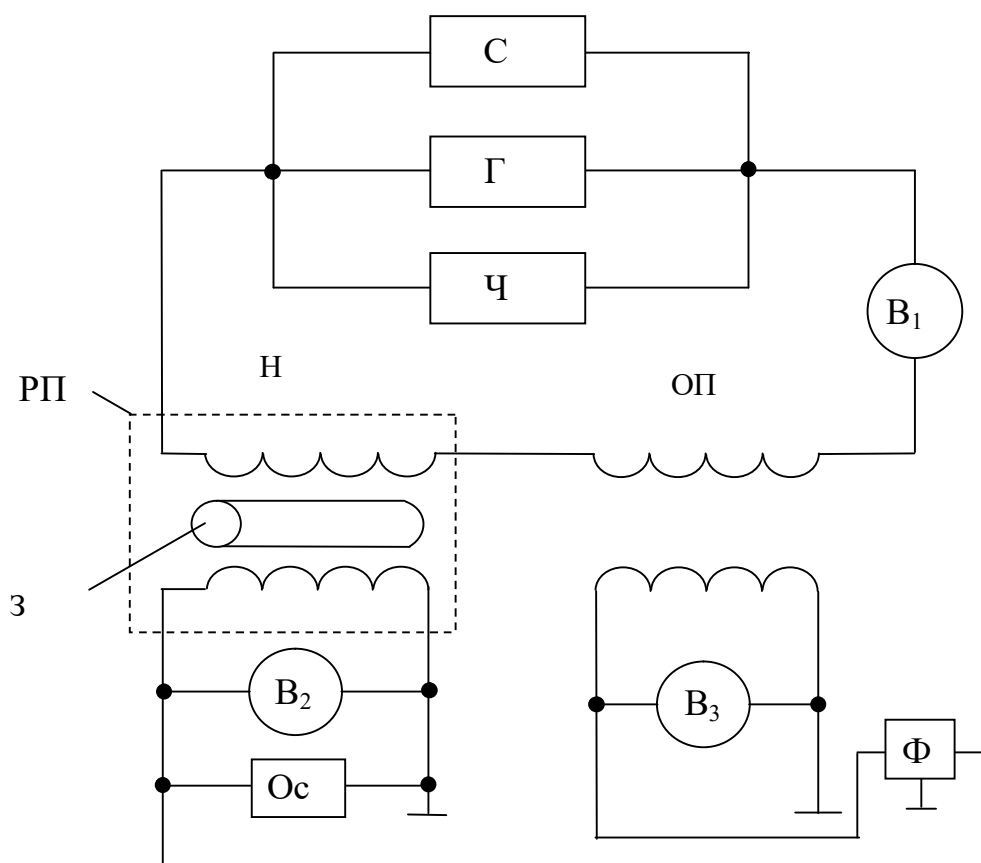


Рисунок 1 – Схема ТВП для сумісного двопараметрового вихорострумовеого контролю зразка пивних стоків

З урахуванням результатів робіт [15–17] на рис.1, наведено схему ТВП зі зразком пивного стоку. Схема містить до себе самопис – С, генератор – Г, частотомір – Ч, робочий перетворювач – РП, опорний перетворювач – ОП, вольтметри – V_1 , V_2 і V_3 , осцилограф – Ос, фазометр – Ф. ОП має ідентичне з РП число витків, довжину l та радіус $a_{п.}$ Збуджуюча котушка призначена для створення електромагнітного поля та внаслідок цього вихрових струмів у зразку рідини (який розташовано у скляній пробниці), у свою чергу, вимірювальна котушка призначена для вимірювання ЕРС E_{2t} , яка наводиться сумарним магнітним потоком, що проходить безпосередньо у зразку. Для контролю форми намагнічувального струму та напруги джерела змінного струму генератора Г застосову-

ють самопис – С, частоту змінення струму фіксує вимірювач частоти – Ч. За допомогою вимірювача напруги V_2 , визначають ЕРС E_{2t} , яка залежить від температури рідини, при цьому одночасно осцилографом ОС визначають форму цієї ж ЕРС. Таким чином, вимірювач напруги V_2 , свій вихідний сигнал подає на один вхід вимірювача фазового кута зсуву – Ф, опорну ЕРС E_0 вимірюють за допомогою вольтметра V_3 , вхід ОП з'єднується з іншим входом Ф. За допомогою фазометра Ф визначають залежний від температури фазовий кут зсуву φ_{2t} поміж ЕРС E_0 та ЕРС E_{2t} ТВП. У даному випадку сигнали ТВП (E_{2t} та φ_{2t}) залежать від температури t зразка рідини. Задля імітації виробничих умов та підвищення точності вимірювань інформативних параметрів, схема передбачає нагрівання зразка в процесі контролю за допомогою нагрівача – Н.

Таким чином, основна ідея цієї реалізації полягає в тому, що в сигналах ТВП є інформація про такі термозалежні параметри, як питома електрична провідність χ (або про k – питомий електричний опір, $k = 1/\chi$) і про температуру t зразка слабкого електроліту. При цьому, якщо ввести спеціальний нормований магнітний параметр G і фазовий кут зсуву φ між опорним магнітним потоком і магнітним потоком в зразку рідини, то можна в значній мірі спростити реалізацію багатопараметрового вихорострумowego методу контролю фізико-хімічних параметрів зразка слабких електролітів (в даному випадку проби пивних стоків). Алгоритм реалізації двопараметрового безконтактного вихорострумowego методу контролю параметрів зразка пивних стоків полягає у наступному. Спочатку, знаходять робочу точку на універсальній функції перетворення теплового ТВП зі зразком рідини $G_t = f(A_t)$, тобто $A_t = A_1$, де A_1 значення узагальненого параметра, яке відповідає початковій температурі виробу t_1 . Для цього встановлюють генератором довільну частоту магнітного поля f і вимірюють компоненти сигналів теплового ТВП E_Σ , E_0 і φ_0 . Потім знаходять значення паразитної ЕРС E_1 [16, 17]:

$$E_1 = E_0(1 - \eta), \quad (1)$$

де η – коефіцієнт заповнення перетворювача скляною трубкою зі зразком рідини.

Після цього, з урахуванням вимірних значень E_Σ , φ_0 і розрахованої величини E_1 , визначають ЕРС E_2 , обумовлену проходженням магнітного потоку в зразку рідини при початковій температурі.

$$E_{2t} = \sqrt{(E_{\Sigma t} \cos \varphi_0 - E_1)^2 + (E_{\Sigma t} \sin \varphi_0)^2}, \quad (2)$$

де φ_0 – фазовий кут зсуву поміж ЕРС E_0 та ЕРС E_{2t} .

Далі знаходять питомий нормований параметр G_1 , за формулою

$$G_1 = \frac{E_{2t}}{E_1}(1 - \eta). \quad (3)$$

Знаючи G_1 , на основі отриманої залежності G_t від A_t (див. табл. 1), знаходять значення робочої точки A_1 при вимкненому нагрівачі. Якщо це значення потрапляє в діапазон найбільшої крутизни характеристики (найбільшої чутливості ТВП до фізико-хімічних параметрів зразка), то залишають встановлену раніше частоту f , якщо отримане значення A_1 не задовольняє вказаному діапазону, то змінюють частоту магнітного

поля і виконують цю процедуру до тих пір, поки знайдено значення A_1 не опиниться в необхідному діапазоні. Після цього нагрівають зразок стічної води до конкретних значень температури t з досліджуваного температурного діапазону. Далі вимірюють $E_{\Sigma t}$, E_0 і φ_{0t} і знаходять компоненти сигналів теплового ТВП E_{2t} , G_t і A_t , виконуючи розглянуту вище процедуру.

В табл. 1 наведено отримані залежності питомого нормованого параметра ТВП G_t від узагальненого параметру A_t та фазового кута зсуву φ_{2t} .

Таблиця 1 – Залежності нормованих параметрів G_t та φ_{2t} від узагальненого параметра A_t теплового ТВП зі зразком кислого стока, який піддається нагріванню у процесі контролю

φ_{2t} , град	G_t	A_t
6,47	0,9893	0,96
6,65	0,9886	0,97
6,84	0,9872	0,99
6,91	0,9865	1,01
7,20	0,9853	1,02
7,45	0,9844	1,03
7,74	0,9831	1,05
8,01	0,9820	1,07

З урахуванням [1], технологічний процес виготовлення пива має наступні етапи:

1. Промивання солоду від домішок і бруду.
2. Подрібнення солоду до стану крупи.
3. Процес затирання солоду. Для затирання солоду рекомендуються наступні температурні паузи:
 - а) Пауза 35 °С створює умови для появи стійкої піни, 15–20 хвилин.
 - б) Пауза (55–59) °С – нормальна білкова пауза (яка не ушкоджує піну), від 30 хвилин.
 - в) Пауза 62 °С – перехідна пауза, пауза витримки продукту, 15–20 хвилин.
 - г) Пауза (63–70) °С – це пауза оцукрювання, від 1–15 хвилин.
 - д) Пауза (71–73) °С – дооцукрення, для підсилення «солодування», від 20 до 60 хвилин, задля отримання бажаного ефекту.
 - ж) Пауза (75–78) °С – «інактивування» закінчення затирання, від 1,5 до 15 хвилин.
 Запропоновані температурні паузи, дозволяють отримати якісні органолептичні показники готової продукції пивоваріння та призводять до підвищення pH кислих стічних вод.
4. Фільтрація сусла.
5. Варка і охмеління в суслварочному котлі.
6. Охолодження сусла у чилері-змівіку до температури $t = 20^\circ\text{C}$.
7. Насичення сусла киснем для кращого бродіння.

- 8). Зброджування сусла.
9. Карбонізація молодого пива (насичення вуглекислим газом).
10. Розлив готового продукту.

Розглядаючи міні-пивоварню відповідно до прийнятої схеми [1], необхідно відзначити, що стічні води по черзі матимуть то кислий, то лужний склад зі завислими речовинами. Було зроблено кілька відборів проб стічної води, на різних стадіях. Після відповідних досліджень, виявлено утворення кислого стоку після затирання і варіння сусла у сусловарочному котлі. При цьому, в процесі очищення стічних вод і перед скиданням їх в міську каналізацію для раціонального використання реагентів і досягнення допустимого відхилення від нейтральності середовища pH на виході з накопичувальної ємності кислі і лужні води, слід приймати на обробку окремо – здійснюючи контроль χ_t і рівня pH . Це пояснюється тим, що і кислі, і лужні стоки надходять нерівномірно і з різними значеннями показника pH . У загальному випадку для нейтралізації в кислій воді додають лужні реагенти на основі алюмінатів $mCaO \cdot nAl_2O_3$ і силікатів кальцію $CaSiO_3$, вони використовуються для зв'язування іонів водню, що утворюються в результаті гідролізу коагулянтів на основі кислих солей [2, 3]. При цьому, задля удосконалення процесу очищення рекомендується додавання магнітної рідини на одному зі заключних етапів фільтрації, магнітна рідина за рахунок взаємодії з пробєю стічної води, що контролюється, перетворюється у слабомагнітну, далі застосовують процес сепарації в результаті якого видаляється фракція, яка містить забруднювачі та потім стічна вода надходить до фільтру доочищення.

Таким чином, при зондуванні зразка стічних вод магнітним полем з частотою f_t , узагальнений параметр A_t визначають за формулою

$$A_t = a \sqrt{2\pi \cdot \mu_0 \cdot f_t \cdot \chi_t}, \quad (4)$$

де a – радіус зразка, μ_0 – магнітна стала, f – частота магнітного поля, χ_t – питома електрична провідність зразка.

Знаючи узагальнений параметр A_t , знаходимо питому електричну провідність χ_t та температуру t зразка кислого стоку

$$\chi_t = \frac{x_t^2 \cdot E_1 \cdot G_t}{\mu_0 \cdot (1 - \eta) \cdot 2\pi \cdot f \cdot E_2 \cdot a^2}, \quad (5)$$

$$t = \left(\frac{x_t^2}{x_1^2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1 + \alpha \cdot t_1}{\alpha} \right) + t_1, \quad (6)$$

де α – температурний коефіцієнт опору, який визначають експериментально; t_1 – початкова температура зразка.

В табл. 2, наведено результати визначення електричних та температурних параметрів зразка кислого пивного стоку, а також нормованих параметрів теплового ТВП.

Таким чином, досліджено метод двопараметрового вимірювального контролю електричних та температурних параметрів зразка кислого стоку, який утворюється при реалізації процесу пивоваріння, надано рекомендації стосовно підвищення якості готового продукту шляхом підтримання конкретних температурних пауз в технологічному

процесі пивоваріння під час затирання солоду, а також рекомендації стосовно удосконалення процесу очищення зразка стічних вод за рахунок додавання магнітної рідини на заключних етапах процесу очищення.

Таблиця 2 – Результати визначення електричних та температурних параметрів зразка стічних вод

$t, ^\circ\text{C}$	$\chi \cdot 10^{-1}, \text{См/м}$	$\varphi_{2t}, \text{град}$	G_t	A_t	$t', ^\circ\text{C}$	$\chi'_{t'} \cdot 10^{-1}, \text{См/м}$
15,39	9,29	6,5286	0,9892	0,9600	15	9,27
17,12	9,61	6,7964	0,9884	0,9771	17	9,63
18,95	9,92	6,9734	0,9876	0,9929	19	9,95
20,98	10,24	7,1899	0,9868	1,0086	21	10,23
23,02	10,55	7,4035	0,9860	1,0241	23	10,55
24,98	10,86	7,6182	0,9852	1,0403	25	10,87
27,01	11,18	7,8304	0,9844	1,0542	27	11,19
29,20	11,49	8,0491	0,9835	1,0691	29	11,51
21,27	11,81	8,2538	0,9826	1,0830	31	11,83
32,87	12,12	8,4608	0,9818	1,0972	33	12,10
35,40	12,44	8,6852	0,9808	1,1123	35	12,46

Висновки. Таким чином, дану статтю присвячено визначенню основних завдань та конкретизації шляхів розв'язання важливої науково-практичної проблеми, яка полягає у зменшенні антропогенного навантаження за рахунок моделювання пов'язаних з ним процесів руйнування природного середовища районів великих міст, в яких розташовані виробництва пивоварної галузі при реалізації перспективних методів очищення на основі попереднього вимірювального контролю фізико-хімічних характеристик зразків пивних стоків кислого та лужного походження.

В рамках поставлених завдань досліджено інформативний метод сумісних вимірювань питомої електричної провідності χ та температури t зразка пивних стоків кислого походження на основі трансформаторного вихорострумowego перетворювача ТВП. Наведено алгоритми моделювання процесу вимірювань питомої електричної провідності χ та температури t зразка за допомогою ТВП. Отримано співвідношення для визначення електричної провідності χ і температури t зразка стічних вод. Надано рекомендації стосовно підвищення якості готового продукту шляхом підтримання конкретних температурних пауз в технологічному процесі пивоваріння під час затирання солоду, а також рекомендації стосовно удосконалення процесу очищення зразка стічних вод за рахунок додавання магнітної рідини на заключних етапах процесу очищення.

Науковою новизною роботи є запропонований інформативний безконтактний вихорострумований метод двопараметрового контролю зразка пивних стоків на основі трансформаторного вихорострумowego перетворювача ТВП, завдяки реалізації котрого

є можливим обирати методи очищення пивних стоків, які утворюються на різних стадіях виробництва продукції пивоваріння.

Практичним значенням роботи є визначення метрологічних характеристик вихорострумового перетворювача, межі змінення яких відповідають діапазонам змінення електричних та температурних параметрів зразка кислого стока.

Перспективи подальших досліджень, полягають у створенні нових методів та пристроїв очищення пивних стоків лужного та кислого походження, на основі методів попереднього інформативного контролю фізико-хімічних характеристик пивних стоків та застосування в пристроях очищення слабомагнітних рідин на стадіях доочищення.

Література

1. Мелетьєв А., Романова З., Бартош Г., Тертиці С. Асортимент і біологічна цінність пива. Київ. Харчова і переробна промисловість, 2010. № 1. С. 23–25.
2. Савчук Л.В., Курилець О.Г., Оленич Р.Р. Шляхи зменшення негативного впливу стічних вод пивзаводів на довкілля. Вісник НУ „Львівська політехніка”. №787, 2014. С. 95–99.
3. Мальований М.С., Санніков М.І., Одноріг З.С. Методи збільшення обмінної ємності природних дисперсних сорбентів для застосування їх в технологіях очищення промислових стоків та в харчових технологіях. Праці науково-технічної конф. «Екологія та здоров'я людини. Охорона водного та повітряного басейнів. Утилізація відходів». Харків, 2000. С. 617–619.
4. Мідик І.М. Оцінка якості продукції овочівництва за електричними характеристиками. Технологічний аудит та резерви виробництва. Харків. № 3/2(29), 2016. С. 30–35.
5. Брицун В.М., Останіна Н.В. Особливості кондуктометричного контролю якості дистильованої води для фармакопейних потреб. Фармакологія та лікарська токсикологія, № 2 (58)/2018. С. 97–103.
6. Міхалева М.С. Результати експериментальних досліджень модельних водних розчинів новим електричним імпедансним методом // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія Автоматика, вимірювання та керування, 2010. № 665. С. 169–173.
7. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О. Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. Харків. Вісник НТУ “ХПІ», 2014. №40 (1083). С. 130–137.
8. Abimbola M. Enitan, Josiah Adeyemo, Sheena Kumari, Feroz M. Swalaha, Faizal Bux Characterization of Brewery Wastewater Composition World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering, 2015. № 9. P. 1073–1076.
9. Rahier G. and Hermia J. Clarification and stabilization of beer with a regenerative adjuvant, *Cerevisia*, 26(4), 2001. P. 204–209.
10. Kuiper S, van Rijn C, Nijdam W, Raspe O, van Wolferen H, Krijnen G, Elwenspoek M. Filtration of lager beer with microsieves: flux permeate haze and in-line microscope observation. *Journal of Membrane Science*, 2002. P. 159–170.

11. Geoffrey S. Simate, Sunny E. Iyuke, Evans T. Musapatika, Sehliselo Ndlovu, Lubinda F. Walubita, Alex E. Alvarez. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art, 2011. G.S. Simate et al. №9. P. 237–247.
12. Luc Fillaudeau, Pascal Blanpain-Avet, Georges Daufin. Water, wastewater and waste management in brewing industries. Elsevier. Journal of Cleaner Production Vol. 14, Issue 5, 2006. P. 463–471.
13. Stefan Schaltegger, Tobias Viere, Dimitar Zvezdov. Tapping environmental accounting potential of beer brewing: Information needs for successful cleaner production. Elsevier. Journal of Cleaner Production, 2012. P. 1–10
14. Schuurman R, Broens L, Mepschen A. Membrane beer filtration: an alternative way of beer filtration. MBAA Technical Quarterly, 2003. 40(3): P. 189–192.
15. Масвський С.М., Серий К.М. Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Львів. Видавництво Фізико-механічного інституту ім. Карпенка, 2011. 116 с.
16. Себко В.В., Здоренко В.Г., Петухова Е.О., Минкова А. К. Автоматизація вимірювального контролю температури проби харчового барвника// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну, 2015. №4 (88). С. 49–57.
17. Себко В.В., Здоренко В.Г. Метод неруйнівного контролю зразка водного розчину адипінової кислоти. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну, 2016. №1 (94). С. 121–127.

Bibliography (transliterated)

1. Melet'ev A., Romanova Z., Bartosh G., Tertici S. Assortiment i biologichna cinnist' piva. Kii'v. Harchova i pererobna promislovist', 2010. № 1. P. 23–25.
2. Savchuk L.V., Kurilec' O.G., Olenich R.R. SHlyahi zmeshennya negativnogo vplivu stichnih vod pivzavodiv na dovkillya. Visnik NU „L'vivs'ka politekhnikha”. №787, 2014. P. 95–99.
3. Mal'ovaniy M.S., Sannikov M.I., Odnorig Z.S. Metodi zbil'shennya obminnoï emnosti prirodni' dispersni' sorbentiv dlya zastosuvannya ih v tekhnologiyah ochishchennya promislovi' stokiv ta v harchovih tekhnologiyah. Praci naukovu–tekhnichnoï konf. «Ekologiya ta zdorov'ya lyudini. Ohorona vodnogo ta povitryanogo basejniv. Utilizaciya vidhodiv». Harkiv, 2000. P. 617–619.
4. Midik I.M. Ocinka yakosti produkciï ovochivnictva za elektrichnimi harakteristikami. Tekhnologichnij audit ta rezervi virobnictva. Harkiv. № 3/2(29), 2016. P. 30–35.
5. Bricun V.M., Ostanina N.V. Osoblivosti konduktometrichnogo kontrolyu yakosti distil'ovanoï vodi dlya farmakopejni' potreb. Farmakologiya ta likars'ka toksikologiya, № 2 (58)/2018. P. 97–103.
6. Mihaleva M.S. Rezul'tati eksperimental'ni' doslidzhen' model'ni' vodni' rozchiniv novim elektrichnim impedansnim metodom // Visnik Nacional'nogo universi-tetu «L'vivs'ka politekhnikha». Seriya Avtomatika, vimiryuvannya ta keruvannya, 2010. № 665. P. 169–173.
7. Yacishin A.V., Popov O.O., Artemchuk V.O. Metodi vimiryuvannya parametriv navkolishn'ogo prirodnogo seredovishcha. Harkiv. Visnik NTU “HPI», 2014. №40 (1083). P. 130–137.
8. Abimbola M. Enitan, Josiah Adeyemo, Sheena Kumari, Feroz M. Swalaha, Faizal Bux. Characterization of Brewery Wastewater Composition World Academy of Science, En-

gineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineer-ing, 2015. № 9. P. 1073–1076.

9. Rahier G. and Hermia J. Clarification and stabilization of beer with a regerative adjuvant, *Cerevisia*, 26(4), 2001. P. 204–209.

10. Kuiper S, van Rijn C, Nijdam W, Raspe O, van Wolferen H, Krijnen G, Elwenspoek M. Filtration of lager beer with microsieves: flux permeate haze and in-line microscope observation. *Journal of Membrane Science*, 2002. P. 159–170.

11. Geoffrey S. Simate, Sunny E. Iyuke, Evans T. Musapatika, Sehliselo Ndlovu, Lubinda F. Walubita, Alex E. AlvareThe treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art, 2011. G.S. Simate et al. №9. P. 237–247.

12. Luc Fillaudeau, Pascal Blanpain-Avet, Georges Daufin. Water, wastewater and waste management in brewing industries. Elsevier. *Journal of Cleaner Production* Vol. 14, Issue 5, 2006. P. 463–471.

13. Stefan Schaltegger, Tobias Viere, Dimitar Zvezdov Tapping environmental account-ing potential sofbeerb rewing: Information needs for success full cleaner production. Elsevier. *Journal of Cleaner Production*, 2012. P. 1–10.

14. Schuurman R, Broens L, Mepschen A. Member anebeerfiltratione an alternative way of beer filtration. *MBAA Technical Quarterly*, 2003. 40(3): P. 189–192.

15. Maevs'kij S.M., Serij K.M. Fizichni metodi ta zasobi kontrolyu seredovishch, materialiv ta virobiv. L'viv. Vidavnictvo Fiziko-mekhanichnogo instituta im. Karpenka, 2011. 116 p.

16. Sebko V.V., Zdorenko V.G., Petuhova E.O., Minkova A. K. Avtomatizaciya vimiryuval'nogo kontrolyu temperaturi probi harchovogo barvnika// *Visnik Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu tekhnologij ta dizajnu*, 2015. №4 (88). P. 49–57.

17. Sebko V.V., Zdorenko V.G. Metod nerujnivnogo kontrolyu zrazka vodnogo rozchinu adipinovoï kisloti. *Visnik Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu tekhnologij ta dizajnu*, 2016. №1 (94). P. 121–127.

УДК 504.064.38; 504.064.37

Пироженко Є.В., Себко В.В., Здоренко В.Г., Бабенко В.М., Горбунова О.В.

СУМІСНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКА ПИВНИХ СТОКІВ

Запропоновано інформативний двопараметровий безконтактний вихорострумовий метод вимірювального контролю питомої електричної провідності χ та температури t зразка пивних стоків. Наведено основні співвідношення, які описують роботу теплового трансформаторного вихорострумового перетворювача (ТВП) з пробницею кислих стічних вод, що контролюється. Надано схему включення теплового ТВП зі зразком рідини, який розташовано у скляній пробниці, схема передбачає нагрівання зразка рідини у процесі двопараметрового контролю (за допомогою нагрівача, який розташовано у робочому перетворювачі), для імітації виробничих умов пивоварного виробництва. Отримано нові універсальні функції перетворення, які пов'язують компоненти сигналів теплового вихорострумового перетворювача з питомою електричною провідністю

χ_t та температурою t зразка кислих стічних вод пивоварного виробництва, а саме залежності питомого нормованого магнітного потоку G_t від узагальненого магнітного параметра A та залежності G_t від фазового кута зсуву φ_{2t} . Одержані чисельні данні, надають змогу стверджувати про узгодження результатів вимірювань електричних та температурних параметрів контрольними методами та запропонованим двопараметровим вихорострумовим методом, на основі якого здійснюється вибір методу очищення стічних вод пивоварного виробництва. Діапазон змінення питомої електричної провідності χ_t складає від 9,29 См/м до 12,44 См/м в досліджуваному температурному діапазоні. Для підвищення якості готового продукту, надано рекомендації стосовно температурних пауз, які застосовують на стадії технологічного процесу, що полягає у затиранні солоду, а саме пауза 35 °С створює умови для появи стійкої піни та триває 15–20 хвилин; пауза (55–59) °С – нормальна білкова пауза (яка не ушкоджує піну), триває від 30 хвилин; пауза 62 °С – перехідна пауза, пауза витримки продукту, триває 15–20 хвилин; пауза (63–70) °С – це пауза оцукрювання, триває від 1–15 хвилин; пауза (71–73) °С – дооцукрення, для підсилення «солодування», від 20 до 60 хвилин, пауза (75–78) °С – «інактивування» закінчення затирання, триває від 1,5 до 15 хвилин.

Запропоновані температурні паузи, дозволяють отримати якісні органолептичні показники готової продукції пивоваріння та призводять до підвищення pH кислих стічних вод. Визначено нормовані характеристики вихорострумового перетворювача, тобто параметри G_t і A (при різних значеннях температури t) межі змінення яких відповідають діапазонам змінення електричних та температурних параметрів зразка кислих стічних вод. При цьому, задля удосконалення процесу очищення рекомендується додавання магнітної рідини на одному із заключних етапів фільтрації, магнітна рідина за рахунок взаємодії з пробною стічною водою перетворюється у слабomagнітну, далі застосовують процес сепарації в результаті якого видаляється фракція, яка містить забруднювач та стічна вода надходить до фільтру доочищення.

Ключеві слова: техноекологія, виробництво пива, методи очищення, інформативний метод, кислі стічні води, фільтр, сумісний контроль, питома електрична провідність, температура.

Пироженко Е.В., Себко В.В., Здоренко В.Г., Бабенко В.М., Горбунова О.В.

СОВМЕСТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗЦА ПИВНЫХ СТОКОВ

Предложен информативный двухпараметровый безконтактный вихретоковый метод измерительного контроля удельной электрической проводимости χ и температуры t образца пивных стоков. Приведены основные соотношения, описывающие работу теплового трансформаторного вихретокового преобразователя (ТВП) с контролируемой пробой кислых сточных вод. Рассмотрена схема включения теплового ТВП с образцом жидкости, который помещен в стеклянную трубку, схема предусматривает нагрев образца жидкости в процессе двухпараметрового контроля (с помощью нагревателя, который размещен в рабочем преобразователе), для имитации производственных условий пивоваренного производства. Получены новые универсальные функции преобразования, которые связывают компоненты сигналов ТВП с удельной электрической проводимостью χ_t и температурой t образца кислых сточных вод пивоваренного производ-

ства, т.е. зависимости удельного нормированного магнитного потока G_t от обобщенного магнитного параметра A и зависимости G_t от фазового угла сдвига φ_{2t} . Численные значения электрических и температурных параметров дают возможность утверждать о согласовании результатов измерений при реализации предложенного двухпараметрового вихретокового метода с контрольными методами. Диапазон изменения удельной электрической проводимости χ_t составляет от 9,29 См/м до 12,44 См/м в исследуемом температурном диапазоне. Для повышения качества готового продукта, даны рекомендации относительно температурных пауз, применяемых на стадии технологического процесса, который заключается в затирании солода, а именно пауза 35 °С создает условия для появления устойчивой пены и длится 15–20 минут; пауза (55–59) °С – нормальная белковая пауза (которая не повреждает пену), длится от 30 минут; пауза 62 °С – переходная пауза, пауза выдержки продукта, длится 15–20 минут; пауза (63–70) °С – это пауза осахаривания, длится от 1–15 минут; пауза (71–73) °С – доосахаривания для усиления «соложения», от 20 до 60 минут, пауза (75–78) °С – «окончания активации», окончание затирания, длится от 1,5 до 15 минут. Предложенные температурные паузы, позволяют получить качественные органолептические показатели готовой продукции пивоварения. Определены нормированные характеристики вихретокового преобразователя, т.е. параметры G_t и A_t (при различных значениях температуры t), границы изменения которых соответствуют диапазонам изменения электрических и температурных параметров образца кислых сточных вод. При этом для усовершенствования процесса очистки рекомендуется добавление магнитной жидкости на одном из заключительных этапов фильтрации, магнитная жидкость за счет взаимодействия с пробой сточной воды превращается в слабомагнитную, далее применяют процесс сепарации в результате которого удаляется фракция содержащая загрязнитель и сточная вода поступает в фильтр доочистки.

Ключевые слова: техноэкология, производство пива, методы очистки, информативный метод, кислые сточные воды, фильтр, совместный контроль, электропроводность, температура.

Pirozhenko E.V., Sebko V.V., Zdorenko V.G., Babenko V.M., Gorbunova O.V.

JOINT MEASURING CONTROL OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF A SAMPLE BEER RUNOFF

An informative two-parameter contactless eddy current method for measuring control of the specific electrical conductivity χ and temperature t of a sample of beer drains is proposed. The basic relationships describing the operation of a thermal transformer eddy-current converter (TVP) with a controlled sample of acidic wastewater are presented. A diagram of the inclusion of a thermal TVP with a liquid sample, which is placed in a glass tube, is given; the scheme provides for the heating of a liquid sample in the process of two-parameter control (with the help of a heater, which is located in a working transducer), to simulate the production conditions of brewing production. New universal transformation functions that relate the signal components of the thermal eddy-current transducer with the specific electrical conductivity χ_t and the temperature t of a sample of acidic wastewater from brewing production, namely, the dependence of the specific normalized magnetic flux G_t on the generalized magnetic parameter have been obtained A and the dependence of G_t on the phase shift angle φ_{2t} .

The obtained numerical values make it possible to assert the agreement of the results of measurements of electrical and temperature parameters by control methods and the proposed two-parameter eddy current method, on the basis of which the choice of a method for purifying wastewater from brewing production is carried out. The range of change in specific electrical conductivity χ_t is from 9,29 Cm / m to 12,44 Cm / m in the investigated temperature range. To improve the quality of the finished product, recommendations are given regarding temperature pauses, which are used at the stage of the technological process, which consists in mashing the malt, namely, a pause of 35 °C creates conditions for the appearance of a stable foam and lasts 15–20 minutes; pause (55–59) °C – normal protein pause (which does not damage the foam), lasts from 30 minutes; a pause of 62 °C – a transitional pause, a pause for holding the product, lasts 15–20 minutes; pause (63–70) °C – this is a pause of saccharification, lasts from 1–15 minutes; pause (71–73) °C – additional saccharification, to enhance “malting”, from 20 to 60 minutes, pause (75–78) °C – “end of activation”, end of mashing, lasts from 1.5 to 15 minutes. The proposed temperature pauses make it possible to obtain high-quality organoleptic indicators of finished brewing products and lead to an increase in the pH of acidic wastewater. The normalized characteristics of the eddy current transducer have been determined, that is, the parameters G_i and A (at different values of temperature t), the boundaries of which correspond to the ranges of changes in the electrical and temperature parameters of the acidic wastewater sample. At the same time, to improve the purification process, it is recommended to add magnetic fluid at one of the final stages of filtration, the magnetic fluid, due to interaction with the waste water sample, turns into weakly magnetic, then a separation process is applied, as a result of which the fraction containing the pollutant is removed and the waste water enters the post-treatment filter.

Keywords: techno-ecology, beer production, purification methods, informative method, acidic waste water, filter, joint control, electrical conductivity, temperature.

Горбунов К.О., к.техн.н., професор, Пономаренко Г.В., к.техн.н., доцент,
Миронов А.М., к.техн.н., ст.викладач, Ільченко М.В., к.техн.н., ст.викладач,
Школьнікова Т.В., к.техн.н., доцент, Мельник Т.В., к.іст.н., доцент

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ РЕЧОВИНИ У СИСТЕМІ: ТВЕРДЕ ТІЛО–РІДИНА

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Ключові слова: екстрагування, двофазне середовище, дифузія, частка, пора, контакт, екстрагент, псевдокаталітична реакція.

Вступ

Процес екстрагування речовини в системі тверде тіло-рідина є одним з основних процесів хімічної, фармацевтичної, біотехнологічної галузей. Цей процес має дві стадії. Одна з них – стадія масообміну усередині твердого тіла, яка в силу відсутності у останнього плинності, носить дифузійний характер. В результаті цього процесу речовина, що витягується, доставляється екстрагентом на поверхню тіла. Інша стадія процесу екстрагування полягає в тому, що речовина, яка витягується з поверхні тіла, відноситься потоком рідини або газу. Друга стадія, на відміну від першої, має гідродинамічний характер. У реальних технологіях в ролі твердого тіла виступають агрегати часток, пов'язані між собою через майданчики міжчасткових контактів. Самі частки можуть мати скільки завгодно складну структуру, наявність якої намагаються так чи інакше врахувати при описі процесу внутрішньочасткової дифузії. При цьому коефіцієнти дифузії найчастіше визначаються експериментальним шляхом або в результаті обробки експерименту так, що вони є підганяльними параметрами, які не відображають структуру матеріалу. Гідродинамічна стадія процесу використовує різні моделі внутрішнього простору агрегатів часток. Такі моделі використовують результати рішення гідродинамічних завдань в областях різної геометричної форми і бувають детермінованими і недетермінованими.

Аналіз ситуації в області проблеми.

Дифузійна стадія

Дифузія і масопередача традиційно розуміються як процеси, що описуються рівняннями Фіка або їх ускладненими варіантами. Ці варіанти є результатом моделювання різноманітних явищ, які супроводжують перенесення речовини. Усю безліч явищ можна упорядкувати за ознаками постійності коефіцієнта дифузії. Процеси, в яких коефіцієнт дифузії вважається постійним, можна ускладнити введенням різних просторово і поверхнево розподілених джерел і стоків, і обліком кореляцій між частками в різних порядках [1].

Процеси, в яких коефіцієнт дифузії не можна вважати постійним, можуть бути, у свою чергу, поділені на дві групи. До однієї групи слід віднести процеси, що відбуваються в однорідному середовищі із залежним від концентрації коефіцієнтом дифузії.

До іншої групи слід віднести процеси перенесення речовини в неоднорідних середовищах [2,3].

Такі середовища є складною композицією однорідних середовищ з різними коефіцієнтами дифузії. Складний характер перенесення речовини в таких середовищах обумовлений міжфазними явищами і різною природою перенесення в різних елементах композиції (молекулярна дифузія, конвекція) [4].

Для однорідних матеріалів коефіцієнт дифузії найчастіше є скалярною величиною і зазвичай знаходиться з даних експерименту. Ускладнення дифузійного перенесення в клітинних системах викликане наявністю клітинних стінок і неоднорідної багатофазної структури. Клітинні стінки (мембрани) мають властивості, що різко відрізняються від властивостей самих клітин. У цих стінках часто є присутніми спеціальні речовини, що є переносниками речовин – учасників клітинного обміну.

Мікронеоднорідна багатофазна структура клітин обумовлена безліччю різноманітних внутрішньоклітинних включень, розміри і фазовий стан яких змінюється у широких межах.

Суть екстракції, як одного з методів отримання речовин, полягає у селективному витягу певної речовини із складної суміші, що знаходяться в хімічному або фізико-хімічному зв'язку.

Екстракція включає масопередачу як складову частину, але не зводиться до неї. Поза проблемним полем масопередачі лежить процес селективного відбору однієї з декількох певних речовин, яка з потреби являє собою сукупність хімічних реакцій. Тому будь-який опис процесу екстракції без урахування цієї обставини, в принципі, не може бути повним і правильним і охоплювати усю сукупність спостережуваних явищ.

Вважаючи, що екстракція включає стадію хімічних реакцій, слід поставити питання про кінетичні закономірності цих реакцій. Існує ціла ієрархія кінетичних механізмів, придатних для опису хімічної стадії процесу екстракції. У цій ієрархії можна вказати найпростіші механізми по аналогії з механізмами хімічної кінетики в неорганічному каталізі [5]. Значний експериментальний і теоретичний матеріал у цій області демонструє величезну різноманітність режимів протікання реакції. Подібної різноманітності природньо чекати від хімічної стадії процесу екстракції, якщо використовувати прості реакції, які нижче називатимуться псевдокаталітичними. Ця назва вказує на елементи подібності з каталітичними реакціями, що полягають в утворенні проміжних сполук між реагентами та розчинником.

Гідродинамічна стадія

При описі гідродинамічної стадії використовують різні моделі порового простору. При цьому розрізняють регулярні і нерегулярні порові простори [6-8]. Регулярні мають однакові ближній і далекий порядки по аналогії з порядком в ідеальних кристалах. Нерегулярні порові простори мають неспівпадаючі ближній і далекий порядки. Причиною неспівпадіння порядків є непостійність координаційного числа упаковки для виділеної частки і зміна розмірів часток. Обидві причини відносяться до передісторії агрегату часток, тобто, від того, як він був виготовлений. Додаткові істотні можливості при описі порового простору з'являються, якщо використати різні масштаби. Один масштаб завжди пов'язаний з розміром пір між частками. Інші масштаби породжуються геометрією каналів, що забезпечують комунікацію між порами. Особливою проблемою є опис поведінки реології рідкої фази як суміші екстрагента і речовини, що витягується.

Ця поведінка може бути результатом як процесу зміщення, так і взаємодії рідкої фази з поверхнею частки в мікрмасштабі [6–8].

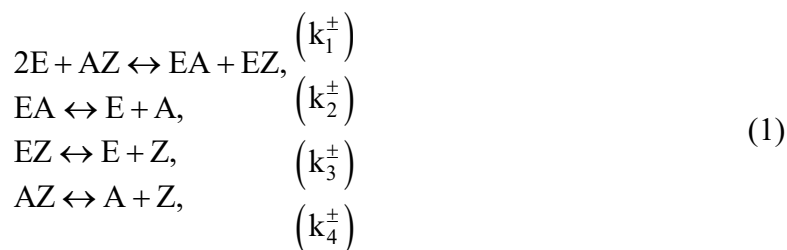
Постановка завдання

Завдання наведеної роботи полягає в тому, щоб для дифузійної стадії процесу екстрагування в системі: тверде тіло-рідина застосувати апарат хімічної кінетики, розроблений для реакцій каталізу, сформулювати рівняння Петровського-Піскунова-Колмогорова-Тьюрінга, продемонструвати принципову можливість врахування міжмолекулярної взаємодії екстрагенту і речовини, що екстрагується, і структури твердого тіла. Інше завдання роботи полягає в створенні рамкової моделі порового простору і гідродинаміки у ньому, ґрунтуючись на детермінованому підході і використовуючи два характерні масштаби.

Загальна частина

Дифузійна стадія

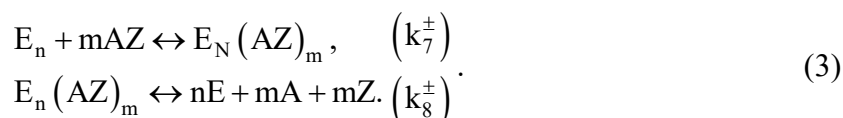
Для запису простих механізмів реакцій позначимо екстрагент через E, речовину, що екстрагується, Z, фаза-носії через A. Запишемо такі дві системи хімічних реакцій:



в яких $k_1^\pm (1=1\dots 6)$ – константи швидкостей прямих та зворотних реакцій.

У першій реакції з (1) відбувається розщеплювання зв'язку між A і Z з утворенням проміжних речовин EA і EZ. У другій, третій і четвертій реакціях відбувається утворення вільних речовин E, A, Z. При тих або інших стадіях можливе виділення речовини, що екстрагується, у вигляді з'єднання EZ.

Ускладнення представлених механізмів можливе на шляху деталізації окремих реакцій. Прикладом такої деталізації стосовно механізму (2) є реакція з утворенням проміжних комплексів:



Якщо головний розщеплюваний комплекс має вигляд $n(Z_mA)$, то це може привести до утворення проміжних комплексів E_lZ_m і E_kA_s , де k, l, m, n, s – натуральні числа. Внутрішньоклітинне середовище не можна вважати рідиною, тому замість конвектив-

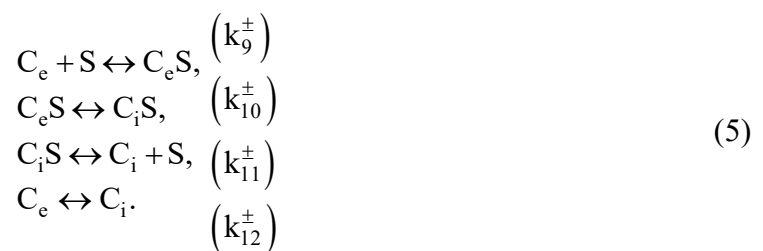
ного дифузійного перенесення необхідно розглядати молекулярний для усіх учасників реакцій (1), (2). Кожен учасник має свій коефіцієнт дифузії. Окрім молекулярного дифузійного перенесення існує перенесення в полі зовнішньої сили. Характеристикою такого перенесення є «рухливість» b_u і повне рівняння дифузії набирає наступного вигляду [9]:

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} + b_u * \nabla U = D_s \Delta C_s, \quad (4)$$

де U – потенціал зовнішньої сили. Це рівняння нагадує рівняння конвективної дифузії у рідині, швидкість якої дорівнює $b_u * \nabla U$.

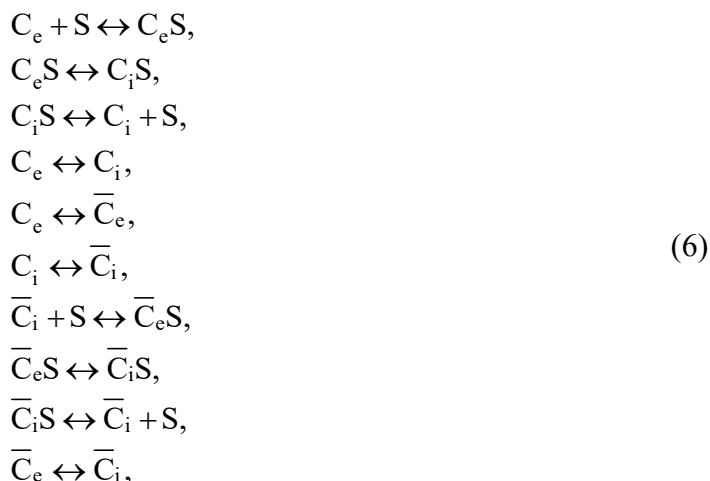
У ролі зовнішньої сили може виступати градієнт міжмолекулярного потенціалу взаємодії речовин – учасників реакцій. Необхідно мати на увазі, що систему реакцій (1), (2) можна вважати однозначно визначеною тільки після завдання усіх коефіцієнтів дифузії, рухливостей, міжмолекулярних потенціалів і констант швидкості реакції. Процес перенесення в клітинних стінках сильно відрізняється від внутрішньоклітинного. Їх наявність необхідно враховувати при формулюванні граничних умов для завдань дифузії. Якби стінок не було, то для цих цілей цілком підійшли б умови першого, другого і третього роду. Для завдання з перенесенням через клітинні стінки перерахованих умов недостатньо, оскільки в клітинних стінках і на їх поверхнях можуть відбуватися хімічні реакції.

Аналіз літературних джерел стосовно цілей цього розділу вказує на те, що разом із звичайною дифузією, званою пасивною, відбувається і опосередкований транспорт. У моделі опосередкованого транспорту розрізняють субстрат (речовина, яка переноситься) і речовина, яка переносить. Для механізмів перенесення з екстрагентом S , що має дві модифікації C_0 на зовнішній стороні клітини і C_1 на внутрішній стороні клітини, можна записати таку систему реакцій перенесення [4]:



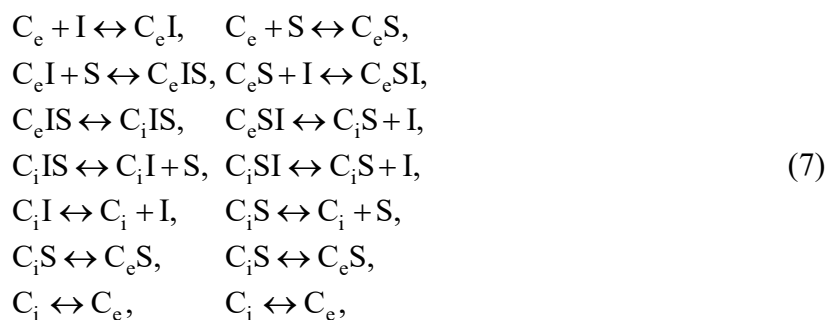
Реакції системи (5) відбуваються в різних місцях клітинної стінки. Перша реакція відбувається на межі клітинної стінки і зовнішнього середовища. Друга реакція – усередині клітинної стінки. Далі слідує дифузійне перенесення комплексу $C_i S$ на межі клітинної стінки і внутрішньоклітинного середовища, де відбувається відновлення C_i до C_e і звільнення субстрату.

У клітинній стінці в якості типового можна застосувати наступний механізм перенесення:



де C_e і C_i – додатковий екстрагент до речовини S в двох модифікаціях. При розгляданні перенесення іонів необхідно враховувати розподіл електричного поля в клітинній стінці.

Існує так званий «зв'язаний» транспорт, учасником якого є іон I . Прикладом системи хімічних реакцій перенесення в цьому випадку можуть служити такі реакції [4, 9]:



З цих прикладів видно, що механізми реакцій в клітинних стінках подібні до механізмів екстракції в міжклітинному середовищі, і навіть можуть перевершувати їх в складності.

Рівняння внутрішнього переносу

Рівняннями внутрішнього переносу є рівняння хімічної кінетики з молекулярною дифузиею. Для запису цих рівнянь для механізмів (1) і (2) введемо такі позначення для концентрацій речовин – учасників реакцій: $C_E, C_{AZ}, C_{EA}, C_{EZ}, C_A, C_Z$. Тоді рівняння процесу екстракції приймають для механізму (1) наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 \dot{C}_E &= D_E \nabla^2 C_E - k_1^+ C_E^2 + k_1^- C_{EA} C_{EZ} + k_2^+ C_{EA} - k_2^- C_E C_A + k_3^+ C_{EZ} - k_3^- C_E C_Z, \\
 \dot{C}_{AZ} &= D_{AZ} \nabla^2 C_{AZ} - k_1^+ C_E^2 C_{AZ} + k_1^- C_{EA} C_{EZ} - k_4^+ C_{AZ} + k_4^- C_A C_Z, \\
 \dot{C}_{EA} &= D_{EA} \nabla^2 C_{EA} + k_1^+ C_E^2 C_{AZ} - k_1^- C_{EA} C_{EZ} - k_2^+ C_{EA} + k_2^- C_E C_Z, \\
 \dot{C}_{EZ} &= D_{EZ} \nabla^2 C_{EZ} + k_1^+ C_E^2 C_{AZ} - k_1^- C_{EA} C_{EZ} - k_3^+ C_{EZ} + k_3^- C_E C_Z, \\
 \dot{C}_A &= D_A \nabla^2 C_A + k_2^+ C_E^2 C_{AZ} - k_1^- C_{EA} C_{EZ} + k_4^+ C_{AZ} - k_4^- C_E C_Z, \\
 \dot{C}_Z &= D_Z \nabla^2 C_Z + k_3^+ C_A C_Z + k_4^+ C_{AZ} - k_4^- C_A C_Z,
 \end{aligned} \tag{8}$$

де $D_E, D_{AZ}, D_{EA}, D_{EZ}, D_A, D_Z$ – коефіцієнти дифузії речовин – учасників реакції.

Для механізму (2) з списку концентрацій необхідно виключити C_A і C_{EAZ} . Відповідні рівняння можна записати так:

$$\begin{aligned}
 \dot{C}_E &= D_E \nabla^2 C_E - k_1^+ C_E C_{AZ} + (k_1^- + k_2^+) C_{EAZ} - k_2^- C_E C_A C_Z, \\
 \dot{C}_{AZ} &= D_{AZ} \nabla^2 C_{AZ} - k_1^+ C_E C_{AZ} + k_1^- C_{EAZ}, \\
 \dot{C}_{EAZ} &= D_{EAZ} \nabla^2 C_{EAZ} - k_1^+ C_E C_{AZ} - (k_1^- + k_2^+) C_{EAZ} + k_2^- C_E C_A C_Z, \\
 \dot{C}_A &= D_A \nabla^2 C_A + k_2^+ C_{EAZ} - k_2^- C_E C_A C_Z, \\
 \dot{C}_Z &= D_Z \nabla^2 C_Z + k_2^+ C_{EAZ} - k_2^- C_E C_A C_Z.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Ці рівняння мають не найзагальніший вигляд, оскільки не враховують наявність перенесення під дією зовнішньої сили. Визначення рухливості є дуже важким завданням, коректне рішення якого не може бути знайдене без залучення методів кінетичної теорії конденсованих середовищ. Такий шлях складний, тому часто використовується феноменологічний або експериментальні підходи.

Виключення складає один простий граничний випадок броунівського руху важкої частки в рідині, що складається з молекул з масою, набагато менше маси важкої частки [9]. В цьому випадку є справедливим співвідношення Ейнштейна, що виражають пропорціональність коефіцієнта дифузії і рухливості.

В моделі важкої частинки, зануреної у рідину, що складається з легких молекул, рухливість b_u пов'язана з коефіцієнтом дифузії таким $D_f = k_B T_f b_u$, де k_B – постійна Больцмана, а T_f – температура рідини. Рухливість b_u зворотно пропорційна Стоксовій силі опору, в яку входить в'язкість рідини, що несе. При малій концентрації важких часток в'язкість системи важких і легких молекул пропорційна величині концентрації з коефіцієнтом Ейнштейна [3]. Таким чином, коефіцієнт дифузії і рухливість залежать від концентрацій речовин.

Описаний тут випадок суміші важких і легких часток (молекул) демонструє наявність зворотного впливу концентрації речовин – учасників реакції на коефіцієнти перенесення. У загальному випадку модель Стоксового опору непридатна для опису взаємодії молекул з внутрішньоклітинним середовищем, і залежності коефіцієнтів від концентрації слід визначати експериментально. Допомогти в цьому можуть загальні закономірності багатокомпонентної дифузії, отримані у рамках термодинаміки нерівномірних процесів, але ця тема далеко виходить за рамки цього дослідження [7, 8].

Задамося метою кількісного опису рівнянь внутрішнього масопереносу в середовищі з клітинними стінками. Щоб не залежати від конкретних механізмів перенесення (5)–(7), позначимо хіміко-кінетичні частини відповідних рівнянь через $f_Z^m(C_Z^m, C_{Ej}^m)$, де індекс m означає належність до клітинної стінки, а C_{Ej}^m – концентрації речовин-переносників. Загальний вигляд рівнянь (5)–(7) в цих означеннях наступний:

$$\begin{aligned} \frac{dC_Z^m}{dt} &= D_2 \nabla^2 C_Z^m + f_Z^m(C_Z^m, C_{Ej}^m); \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ \frac{dC_{Ej}^m}{dt} &= D_{Ej} \nabla^2 C_{Ej}^m + f_{Ej}^m(C_Z^m, C_{Ej}^m). \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \end{aligned} \tag{10}$$

З першого рівняння можна визначити різницю значень потоку речовини E та його концентрацій на зовнішній і внутрішній сторонах клітинної стінки в стаціонарних умовах. Запишемо відповідні вирази для випадку одного виміру:

$$\left. \frac{dC_Z^m}{dx_m} \right|_{x_m=0} - \left. \frac{dC_Z^m}{dx_m} \right|_{x_m=h_m} = \int_0^{h_m} dx_m f_Z^m(C_Z^m, C_{Ej}^m) \tag{11}$$

$$C_Z^m(0) - C_Z^m(h_m) = \int_0^{h_m} dx_m \int_0^{x_m} dx_m f_Z^m(C_Z^m, C_{Ej}^m), \tag{12}$$

де h_m – товщина клітинної стінки, x_m – внутрішня координата у напрямку, перпендикулярному поверхні шару.

Із-за несумірності масштабів клітини і клітинної стінки, доцільно перейти до таких рівнянь внутрішнього перенесення, які враховують наявність клітинних стінок через розриви концентрації на межах клітин. При такому описі поле концентрації в деякій області, що складається з великої кількості клітин, має ділянки гладкості і розриви з амплітудою (12). Розподіл розривів в загальному випадку можна вважати однорідним, а їх амплітуду – залежною від великомасштабної координати. Потік речовини усередині клітин визначається градієнтом концентрації на гладких ділянках, тому для переходу до градієнта середньої концентрації на довжині, що включає розриви, необхідно включити величини стрибків концентрації. Сказане означає, що в рівнянні внутрішнього масопереносу необхідно зробити таку підстановку:

$$\nabla^2 C_Z \rightarrow \nabla^2 C_Z + \frac{1}{2} \int_0^1 du \int_0^u f_Z^m(C_Z^m, C_{Ej}^m), \tag{13}$$

де $\nabla^2 C_Z$ у правій частині слід розуміти як оператор Лапласа за великомасштабними змінними.

Концентрації C_Z^m и C_{Ej}^m залежать як від великомасштабних, так і від дрібномасштабних змінних. Концентраційні функції f_Z^m та f_{Zj}^m можна розкласти в ряд Тейлора поблизу точки з деякою великомасштабною координатою по дрібномасштабній. Результатом такого розкладання, стосовно правої частини (13) після підстановки її в (18) і (19), є такі рівняння для речовини Z:

$$D_Z \nabla^2 C_Z + \frac{1}{8} f_Z^m(C_Z, C_{Zj}) + \frac{1}{8} * \frac{df_Z^m}{dC_Z} \nabla C_Z + \frac{1}{8} \sum_j \frac{df_{Ej}^m}{dC_{Ej}} \nabla C_{Ej} + f_Z(C_Z, C_E, C_{AZ}, C_{EAZ}, C_A), \quad (14)$$

де $f_Z(\dots)$ – скорочене позначення для хіміко-кінетичної частини рівняння для Z з (8) або (9). Аналогічне рівняння слід записати і для усіх речовин-учасників реакцій в клітині. При такому підході концентрації речовин-переносників слід вважати заданими до початку рішення задачі перенесення.

Рівняння типу (14) вже не містять дрібномасштабних координат і не вимагають знання детального розподілу концентрації усередині клітинних стінок. Інформація про це присутня у великомасштабних рівняннях у вигляді доданків, залежних від градієнтів речовин – переносників по великомасштабних змінних.

Рівняння (14) повинні вирішуватися із звичайними граничними умовами.

Розглянемо деякі загальні властивості рівнянь (8) і (9). Для процесу екстракції, що відбувається в малов'язкому рідкому середовищі з ідеальним перемішуванням, дифузійними доданками можна нехтувати. Для рівнянь (8), що залишилися, можна вказати такі закони збереження:

$$\begin{aligned} \dot{C}_A + \dot{C}_Z &= \dot{C}_E - \dot{C}_{AZ}, \\ \dot{C}_{EZ} + \dot{C}_Z &= \dot{C}_{EA} + \dot{C}_A, \\ \dot{C}_E + \dot{C}_{EA} &= \dot{C}_Z, \end{aligned} \quad (15)$$

а для рівнянь (9), що залишилися, такі закони:

$$\begin{aligned} \dot{C}_E + \dot{C}_{EAZ} &= 0, \\ \dot{C}_A - \dot{C}_Z &= 0, \\ \dot{C}_E - \dot{C}_{AZ} &= 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Підстановка (15) в (8) і (16) в (9) призводить до скорочення числа рівнянь хімічної кінетики. Рівняння, що залишилися, можна записати так:

$$\begin{aligned}\dot{C}_E &= -k_1^+ C_E^2 C_{AZ} + k_1^- (C_Z - C_E - C_2)(C_1 - C_2 - C_{AZ}) + \\ &+ k_2^+ (C_Z - C_E - C_2) - k_2^- (C_E - C_{AZ} + C_Z + C_3), \\ \dot{C}_{AZ} &= -k_1^+ C_E^2 C_{AZ} + k_1^- (C_Z - C_E - C_2)(C_Z - C_2 - C_{AZ}), \\ \dot{C}_Z &= k_3^+ (C_1 - C_2 - C_{AZ}) - k_3^- C_E C_Z;\end{aligned}\tag{17}$$

$$\begin{aligned}\dot{C}_E &= -k_1^+ C_E (C_E - C_Z - C_6) + (k_1^- + k_2^+) (C_4 - C_E) - k_2^- C_E C_Z (C_5 + C_2), \\ \dot{C}_Z &= k_2^+ (C_4 - C_E) - k_2^- C_E C_Z (C_5 + C_2),\end{aligned}\tag{18}$$

де сталі повинні визначитися з початкових умов. Якщо реакції (8) і (9) відбуваються в твердому середовищі, то нехтувати дифузійними членами не можна, і реакції набувають дифузійно-контрольованого характеру. Рівняння дифузії з хімічною кінетикою мають аналоги законів збереження для механізму (8), які виглядають таким чином:

$$\begin{aligned}\dot{C}_A + \dot{C}_Z - \dot{C}_E + \dot{C}_{AZ} &= \nabla^2 (D_A C_A + D_Z C_Z - D_E C_E - D_{AZ} C_{AZ}), \\ \dot{C}_{EZ} + \dot{C}_Z - \dot{C}_{EA} - \dot{C}_A &= \nabla^2 (D_{EZ} C_{EZ} + D_Z C_Z - D_{EA} C_{EA} - D_A C_A), \\ \dot{C}_E + \dot{C}_{EA} - \dot{C}_Z &= \nabla^2 (D_R C_E + D_{EA} C_{EA} - D_Z C_Z).\end{aligned}\tag{19}$$

Аналогічні співвідношення для механізму (9) виглядають так:

$$\begin{aligned}\dot{C}_E - \dot{C}_{EAZ} &= \nabla^2 (D_E C_E + D_{EAZ} C_{EAZ}), \\ \dot{C}_A - \dot{C}_Z &= \nabla^2 (D_A C_A + D_Z C_Z), \\ \dot{C}_E - \dot{C}_{AZ} - \dot{C}_Z &= \nabla^2 (D_E C_E - D_{AZ} C_{AZ} - D_Z C_Z).\end{aligned}\tag{20}$$

При описі процесу екстракції в рідких і, особливо, в твердих середовищах часто використовують поняття коефіцієнта внутрішньої дифузії або внутрішнього масопереносу. Цей коефіцієнт, по суті, не є постійною величиною, а залежить від безлічі чинників і часу процесу. Характер цього коефіцієнта багато в чому визначає вид екстракційних кривих [2].

Одним з джерел складної поведінки коефіцієнта внутрішньої дифузії є мікрогетерогенна будова середовища, наприклад, капілярно-пористого [2, 3, 10–15]. Іншим джерелом складної поведінки є хіміко-кінетичні особливості процесу екстракції як псевдokatалітичного процесу, що проявляють себе і в мікрогетерогенному середовищі.

Криві екстракції, що є результатом експериментів, зіставляються з розрахунковими кривими якої-небудь моделі масообміну. В результаті цього зіставлення знаходять коефіцієнт внутрішньої дифузії [2, 9]. Тим самим відбувається проектування результатів зміни концентрації по хіміко-кінетичному механізму на результати зміни по чисто масообмінному механізму.

Зв'язок між істинним коефіцієнтом дифузії \bar{D}_S для деякої речовини-учасника хімічних реакцій (8) або (9), або будь-яких інших, і спостережуваним коефіцієнтом дифузії \bar{D}_S може бути виражений співвідношенням:

$$\bar{D}_S = D_S \left(1 + \frac{1}{\omega D_S} \right) \int \frac{f_C(C_S, \dots) d\omega}{\nabla^2 C_S}, \quad (21)$$

де ω – об’єм частки (елементу середовища), а f_C – хіміко-кінетична частина рівнянь переносу.

На хід екстракції в краплях і твердих частках, що омиваються потоком, значний вплив роблять умови зовнішньої масовіддачі на міжфазних межах [3, 5]. Умови на міжфазних межах виражають принцип рівності потоків речовини у фазах в стаціонарних умовах. Використання таких умов при скороченому описі процесу екстракції в дисперсній фазі, коли метою є опис зміни в часі середніх концентрацій, призводить до рівняння:

$$\frac{d\langle C_S \rangle \omega}{dt} = \frac{1}{\omega} \Phi d\vec{\delta}_\omega * \vec{e}_j \beta_{sf}^e (C_S(\Gamma, t) - C_f(t)) + \langle f_C(C_S, \dots) \rangle \omega, \quad (22)$$

у запису якого визначення $\langle \dots \rangle \omega$ говорить про усереднення за об’ємом $d\delta_\omega$ частки.

Гідродинамічна стадія

Сукупність часток, що становлять тверду фазу, бере участь в колективному русі, в ході якого частки відчувають зсувні та об’ємні деформації. Ці деформації зменшують пористість і проникність двофазного середовища. Останнє є причиною розузгодження рухів рідкої і твердої фаз. У наведеній роботі, без обмеження спільності, прийнято, що частки мають форму, близьку до ізотропної. Поровий простір має двокомпонентну структуру. Одна компонента є сукупністю міжчасткових пір, а інша – сукупність твердо-рідких міжчасткових контактів. В силу руху середовища, як цілого, і наявності в ньому напруги, форма і розміри міжчасткових контактів змінюються. Твердо-рідкі контакти забезпечують зв’язок між міжчастковими порами. Характерний розмір пори, що припадає на одну частку, можна, з точністю до коефіцієнта форми, виразити через загальну пористість середовища таким чином:

$$\delta = \left(\frac{m_0}{n_0 \xi} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1 - m_0}{m_0} \cdot \frac{m(t)}{1 - m(t)} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot d(t), \quad (23)$$

де δ – розмір пори, що припадає на одну частку, m, m_0 - значення пористості у початковий момент часу, m^3/m^3 ; n_0 – координаційне число частки, \bar{b}/p ; ξ – параметр порядку для координаційного числа, \bar{b}/p ; $m(t)$ – поточне значення пористості, m^3/m^3 ; t – час, s ; d – характерний розмір частки, m . Для випадку, в якому загальна частина пористості приходить на пори так, що пористістю твердо-рідких контактів можна знехтувати, для проникності середовища можна записати наступний вираз:

$$\Pi = \left(\frac{2}{\pi} \right)^4 \cdot \frac{1}{K^4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{320} \cdot \left(\frac{m(t)}{1 - m(t)} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot d^2(t). \quad (24)$$

В якому K – звивистість, б/р; Π – проникність, m^2 . Формули (23) і (24) дозволяють моделювати процеси проникнення екстрагента в частки і витягання речовини, якщо взяти до уваги усі можливі шляхи руху суміші екстрагента і речовини, що витягується. Рідка фаза потрапляє в пори через їх поверхню і через твердо-рідкий контакт. Рух рідкої фази в контакті визначається його будовою, а саме, формою часток, спектром мікрошорсткостей поверхні часток, мікромасштабними деформаціями. Гідродинамічне завдання, що описує такий рух, є завданням підшипникової гідродинаміки. Ця остання має такі відмітні риси: довжина, що змінюються, і товщина контакту, зміна в'язкості суміші «екстрагент-речовина», що екстрагується, яка пов'язана з крихтою товщини контакту. В якості основи гідродинамічного завдання слід використати завдання течії Пуазейля.

В цілому, з точки зору речовини, що екстрагується, двофазне середовище можна розглядати як сукупність джерел змінної інтенсивності, в ролі яких виступають частки. Поверхня їх складається з поверхонь міжчасткових твердо-рідких контактів і поверхонь, загальних для часток і міжчасткових пір. Потік з поверхні такого джерела можна виразити через відповідний коефіцієнт масопередачі. Вираження для коефіцієнта масопередачі можна записати в наступному вигляді:

$$K = \frac{1}{\frac{m^{2/3}d}{D_s} + \frac{(1-m^{2/3})d}{\frac{d}{D_s} + \frac{1}{D_{fs} + V_{fs} l_{ss} C_{fs}}}} \quad (25)$$

В якому K – коефіцієнт масопередачі, m/c ; l_{ss} – розмір міжчасткового твердорідного контакту, m ; D_s – коефіцієнт дифузії речовини, що екстрагується, у екстрагенту, m^2/c ; V_{fs} – швидкість течії рідкої суміші у міжчастковому контакті, m/c ; C_{fs} – концентрація речовини, що екстрагується, у міжчастковому контакті, б/р.

Висновки

Процес екстрагування речовини в системі тверде тіло-рідина можна розглядати як процес, що складається з двох стадій. Одна стадія має дифузійний характер, описує дифузійне перенесення речовини з внутрішньої частини тіла на його поверхню. Інша стадія, гідродинамічна, описує віднесення речовини з поверхні потоком. Модель першої стадії, що узагальнює закон Фіка, ґрунтована на включенні в дифузійний механізм перенесення системи хімічної кінетики за псевдокаталітичним типом з набором хімікокінетичних констант Арреніусовського виду. Використання найпростіших механізмів другого порядку при описі взаємодії екстрагента і речовини, що витягується, дає достатнє число параметрів для опису різних ефектів екстрагування і надає фізичний сенс інтерпретаціям кінетичних кривих екстрагування.

Для гідродинамічної стадії процесу екстрагування пропонується рамкова модель системи тверде тіло-рідина, в якій це тіло є агрегатом часток. Ця модель детермінована і використовує при описі порового простору агрегату два масштаби: масштаб пір і масштаб, пов'язаний з міжчастковим контактом.

Моделі мають достатню універсальність для того, щоб витримати адаптацію до різних конкретних ситуацій.

Література

1. Рудобашта С.П., Карташев Э.М. Диффузия в химикотехнологических системах. – М.: Колос, 2010. – 478 с.
2. Макаревич Н.А., Богданович Н.И., Третьяков С.И., Коптелова Е.Н., Кушакова Н.А. Кинетическая модель извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья // Вести национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. – 2014. – №2. – С. 99–107.
3. Иманходжаева М.М. Диффузия в системах с твердой фазой. – Санкт Петербург: Санкт Петербургский государственный технический университет растительных компонентов, 2012. – 34 с.
4. Касьянов Г.И. Петренко Е.В. Математическая модель массообменных процессов CO₂ экстракции. – Краснодар: Кубанский государственный технический университет, 2012. – 24 с.
5. Рудобашта С.П., Кошелова М.К., Карташев Э.М. Моделирование экстрагирования целевого компонента из тел сферической формы в полунепрерывном процессе // Инженерно-физический журнал. – 2017. – Т.90. – №4. – С. 841–849.
6. Натарева С.В., Быков А.А., Натарева О.С., Захаров Д.Е. Массоперенос в телах классических форм в аппарате полного смешения полунепрерывного действия. // Журнал прикладной химии. – 2017. – Т.90. – № 2. – С. 180–186.
7. Текляков Ю.А., Рудобашта С.П., Нечаев В.М., Климов А.М. Внутренний массоперенос при экстрагировании из однородно пористых материалов // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2010. – Т.16. – № 2. – С. 319–324.
8. Рудобашта С.П., Климов А.М., Текляков Ю.А., Нечаев В.М. Расчет эффективного коэффициента диффузии по структурным характеристикам полимеров // Вестник Тамбовского государственного университета. – 2012. – Т.18. – № 4. – С. 881–887.
9. Тюлькова Ю.А., Рязанов Т.В., Еременко О.Н, Ушаков С.В. Моделирование процесса экстракции коры сосны водно-щелочным раствором // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. – 2013. – V.3. –№ 6. – PP. 321–327.
10. Аппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. – М. Мир. 1976. – 630 с.
11. Гуров К.П., Карташкин Б.А., Угасте Ю.И. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах. – М. Наука. ГРФМЛ. 1981. – 350 с.
12. Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. – М. Мир. 1961. – 456 с.
13. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – Долгопрудный. Интеллект. 2008. – 407 с.
14. Гупало Ю.П., Полянин А.Д., Рязанцев Ю.С. Массотеплообмен реагирующих частиц с потоком. – М. Наука. ГРФМЛ. 1985. – 336 с.
15. Дильман В.В., Полянин А.Д. Методы модельных уравнений и аналогий. – М. Химия. 1988. – 304 с.

Bibliography (transliterated)

1. Rudobashta S.P., Kartashev E.M. Diffuziya v himikotekhnologicheskikh sistemah. – М.: Kolos, 2010. – 478 p.

2. Makarevich N.A., Bogdanovich N.I., Tret'yakov S.I., Koptelova E.N., Kushakova N.A. Kineticheskaya model' izvlecheniya ekstraktivnykh veshchestv iz rastitel'nogo syr'ya // Vesti nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya himicheskikh nauk. – 2014. – №2. – P. 99–107.
3. Imanhodzhaeva M.M. Diffuziya v sistemah s tverdoj fazoj. – Sant Peterburg: Sankt Peterburzhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet rastitel'nyh komponentov, 2012.– 34 p.
4. Kas'yanov G.I. Petrenko E.V. Matematicheskaya model' massoobmennykh processov SO₂ ekstrakcii. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2012. – 24 p.
5. Rudobashta S.P., Koshelova M.K., Kartashev E.M. Modelirovanie ekstragirovaniya celevogo komponenta iz tel sfericheskoy formy v polunepreryvnom processe // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. – 2017. – T.90. – №4. – P. 841–849.
6. Natareev S.V., Bykov A.A., Natareev O.S., Zaharov D.E. Massoperenos v telah klassicheskikh form v apparate polnogo smesheniya polunepreryvnogo dejstviya. // Zhurnal prikladnoj himii. – 2017. – T.90. – № 2. – P. 180–186.
7. Teklyakov Y.A., Rudobashta S.P., Nechaev V.M., Klimov A.M. Vnutrennij masoperenos pri ekstragirovanii iz odnorodno poristyh materialov // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2010. – T.16. – № 2. – P. 319–324.
8. Rudobashta S.P., Klimov A.M., Teklyakov Y.A., Nechaev V.M. Raschet effektivnogo koefficienta diffuzii po strukturnym harakteristikam polimerov // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – T.18. – № 4. – P. 881–887.
9. Tyul'kova Y.A., Ryazanov T.V., Eremenko O.N, Ushakov S.V. Modelirovanie processa ekstrakcii kory sosny vodno-shchelochnym rastvorom // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. – 2013. – V.3. –№ 6. – P. 321–327.
10. Appel' Dzh., Brenner G. Gidrodinamika pri malyh chislah Rejnol'dsa. – M. Mir. 1976. – 630 p.
11. Gurov K.P., Kartashkin B.A., Ugaste Y.I. Vzaimnaya diffuziya v mnogofaznykh metallicheskih sistemah. – M. Nauka. GRFML. 1981. – 350 p.
12. De Groot S., Mazur P. Neravnovesnaya termodinamika.– M. Mir. 1961.– 456 p.
13. Frank-Kameneckij D.A. Diffuziya i teploperedacha v himicheskoy kinetike. – Dolgoprudnyj. Intellekt. 2008. – 407 p.
14. Gupalo Y.P., Polyandin A.D., Ryazancev Y.S. Massoteploobmen reagiruyushchih chastic s potokom. – M. Nauka. GRFML. 1985. – 336 p.
15. Dil'man V.V., Polyandin A.D. Metody model'nyh uravnenij i analogij. – M. Himiya. 1988. – 304 p.

УДК 536.24(075.8)

Горбунов К.О., Пономаренко Г.В., Миронов А.М., Ільченко М.В., Школьнікова Т.В.,
Мельник Т.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ У СИСТЕМІ ТВЕРДЕ ТІЛО–РІДИНА

Розглянуто принципи моделювання процесу екстрагування речовини через клітинні стінки. Прийнято, що тверде тіло є агрегатом частинок, що деформуються, усередині яких знаходиться речовина, що витягується. Процес екстрагування розглянуто як

суму двох стадій – дифузійної і гідродинамічної. Дифузійний характер носить стадія масообміну усередині твердого тіла в силу відсутності у останнього плинності. Для дифузійної стадії запропоновано розглядати процес внутрішнього перенесення, як сукупність псевдокаталітичних реакцій між молекулами екстрагента і речовини, що витягується. Такий підхід дозволяє застосувати для моделювання процесу кінетичні апарат хімічної кінетики, розроблений для реакцій каталізу. У рамках цього підходу показаний зв'язок між коефіцієнтом дифузії і структурою частинок для випадку їх клітинної будови з урахуванням селективного відбору однієї з декількох певних речовин. Наведено рівняння опису зміни у часі середніх концентрацій речовини з урахуванням впливу умови зовнішньої масовіддачі на міжфазних межах. Доведено, що застосований підхід здійснює можливість знаходження достатнього числа параметрів для опису різних ефектів екстрагування і надає фізичний сенс інтерпретаціям кінетичних кривих екстрагування. Для гідродинамічної стадії сформульована рамкова модель порового простору, яка є детермінованою і двохмасштабною та враховує можливі зсувні і об'ємні деформації частинок. Таке двофазне середовище розглянуто як сукупність джерел змінної інтенсивності, в ролі яких виступають частки. Наведено рівняння для розрахунку коефіцієнту масопередачі для системи тверді частинки–рідина з урахуванням поведінки реології рідкої фази як суміші екстрагента і речовини, що витягується. Обґрунтовано доведено, що запропоновані моделі мають достатню універсальність для того, щоб витримати адаптацію до різних конкретних ситуацій.

Ключові слова: екстрагування, двофазне середовище, дифузія, частинка, пора, контакт, екстрагент, псевдокаталітична реакція.

Горбунов К.А., Пономаренко А.В., Миронов А.Н., Ильченко М.В., Школьнікова Т.В., Мельник Т.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ТВЕРДОЕ ТЕЛО-ЖИДКОСТЬ

Рассмотрены принципы моделирования процесса экстрагирования вещества через стенки клетки. Принято, что твердое тело является агрегатом деформируемых частиц, в середине которых находится вещество. Процесс экстрагирования рассмотрен как сумма двух стадий – диффузионной и гидродинамической. Диффузный характер носит стадия массообмена внутри твердого тела в силу отсутствия у последнего текучести. Для диффузионной стадии предложено рассматривать процесс внутреннего переноса, как совокупность псевдокаталитических реакций между молекулами экстрагента и извлекаемого вещества. Такой подход позволяет применить для моделирования кинетические апарат химической кинетики, разработанный для реакций катализа. В рамках этого подхода показана связь между коэффициентом диффузии и структурой частиц для случая их клеточного строения с учетом селективного отбора. Приведены уравнения описания изменения во времени средних концентраций вещества с учетом влияния условия внешней массоотдачи на межфазных границах. Доказано, что примененный подход осуществляет возможность нахождения достаточного числа параметров для описания различных эффектов экстрагирования и предоставляет физический смысл интерпретациям кинетических кривых экстрагирования. Для гидродинамической стадии сформулирована рамочная модель порового пространства, которая является детерми-

нированной и двухмасштабной и учитывает возможные сдвижные и объемные деформации частиц. Такая двухфазная среда рассмотрена как совокупность источников переменной интенсивности, в роли которых выступают частицы. Приведены уравнения для расчета коэффициента массопередачи для системы твердые частицы–жидкость с учетом поведения реологии жидкой фазы как смеси экстрагента и извлекаемого вещества.

Обоснованно доказано, что предложенные модели имеют достаточную универсальность для того, чтобы выдержать адаптацию к различным конкретным ситуациям.

Ключевые слова: экстрагирование, двухфазная среда, диффузия, частица, пора, контакт, экстрагент, псевдокаталитическая реакция.

Gorbunov K., Ponomarenko H., Myronov A., Ilchenko M., Shkolnikova T., Melnik T.

MODELING OF EXTRACTION PROCESS IN THE SYSTEM SOLID BODY–LIQUID

The paper reports the basic principles of modeling of extraction process through the cell walls. A solid body is assumed to be an aggregate of deformable particles, inside of which there is an extractable substance. Two stages of the process are considered: diffusion and hydrodynamic ones. The mass exchange stage inside the solid is diffusive because it has not fluidity. As far as the diffusion stage is concerned, we propose to consider the process of internal transfer as a set of pseudocatalytic reactions between the solvent molecules and the extractable substance. Based on this approach, the relationship between the diffusion coefficient and the particles structure has been derived under the condition of a cellular structure of the particles. The equations for describing the time change of the mean concentrations of a substance are given, taking into account the effect of the external mass discharge condition at interphase boundaries. It has been proved that the applied approach makes it possible to find a sufficient number of parameters for describing the different effects of extraction and gives physical meaning to interpretations of kinetic curves of extraction. As regards the hydrodynamic stage, a proper frame model of the pore space was formulated, which is deterministic and two-scale. It takes into account possible shear and volume deformations of the particles. Such two-phase medium was considered as a collection of variable intensity sources. The equations for calculating the mass transfer coefficient for the system are solid particles – liquid, taking into account the rheology of the liquid phase as a mixture of extractant and extractable substance. It has been proved that the proposed models have sufficient universality to withstand adaptation to different specific situations.

Keywords: extraction; two-phase medium; diffusion; particle; pore; contact; solvent; pseudocatalytic reaction.

Савінок О.М., к.т.н., доцент, Кобзар Т.А., н.с., Марінічева К.В., м.н.с.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РОЗРОБОК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Науково-дослідний центр Збройних Сил України “Державний океанаріум”,
науково-дослідна лабораторія проблем гідробіоніки та службового використання
морських тварин, м. Одеса*

Ключові слова: полікомполімерні матеріали, склопластики, вуглепластики, армуючий матеріал

Постановка проблеми. Активний розвиток хімічної промисловості, інформаційні технології дозволили отримати нові синтетичні матеріали із запроєктованими характеристиками. До таких матеріалів відносяться полікомполімери. Унікальні властивості композитів забезпечили їх широке застосування у всіх напрямках діяльності людини, починаючи від космосу, закінчуючи земними та підводним глибинами. До основних переваг КМ перед іншими – можуть бути віднесені: мала питома вага при відносно високій міцності, висока корозійна стійкість. Окрім корозійної стійкості, композитні матеріали дозволили знизити магнітну, радарну та інфрачервону сигнатури, покращити тепло- та звукоізоляційні характеристики, що забезпечило їх використання при будівництві та модернізації підводних апаратів та човнів.

Враховуючи ряд переваг полікомполімерів, над традиційними матеріалами, які широко використовуються в різних галузях промисловості, метою статті був аналіз сучасних розробок полімерних матеріалів із заданими техніко-технологічними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Композиційні матеріали – це дво- чи полікомполімерні системи, які представляють матрицю із суцільного матеріалу і армуючих елементів. Сукупні властивості залежать, як правило, від матеріалу, форми та розмірів армуючих елементів, чим тонші волокна чи частинки, тим вищі механічні властивості. Матриці можуть виконуватись із металів, їх сплавів, органічних чи неорганічних полімерів, керамічних, вуглецевих матеріалів. Експлуатаційні характеристики – щільність, питома щільність, робоча температура, опір утомлюючого руйнування, стійкість до агресивних середовищ визначаються технологією процесу отримання композиту. Армуючі елементи, функція яких полягає в ущільненні композиту, виробляють із високоміцної сталі, молібдену, вольфраму, волокон бору, вуглецю, скла, монокристалів із оксидів, нітридів алюмінію та кремнію чи інших матеріалів. Однак найбільш широко представлені полімерно-композиційні матеріали (далі – ПКМ). В якості наповнювача в ПКМ використовуються різні полімерні речовини, які відкривають широкі можливості для їх застосування в різних галузях, як цивільного призначення, наприклад, в стоматології, так і військового призначення, наприклад, при виробництві бойової техніки і систем озброєнь. [1]. В композитах, які використовуються при проектуванні озброєнь, армуючі елементи забезпечують задані механічні характеристики матеріалу в цілому: міцність, щільність, жорсткість та ін. Матриця виконує функцію моноліту та захищає конструкцію від механічних пошкоджень та навколишнього середовища [2,4]

Перевага будь-якого композиційного матеріалу полягає в тому, що йому можна надати необхідні конструктивні властивості. Надійність роботи конструкції залежить в першу чергу, від запасу міцності конструкційного матеріалу, а також від такої характеристики, як в'язкість руйнування, тобто здатність матеріалу перешкоджати поширенню тріщини [5].

Найбільш розповсюдженими у військовій техніці є композити з полімерною матрицею. В якості армуючих волокнистих наповнювачів використовуються скловолокно, вуглеволокно, арамідне волокно (кевлар), базальтове волокно, полімерне волокно, натуральне волокно (наприклад, бавовник, вовна) та інші види [6,7]. Композити з волокнистим наповнювачем, за механізмом армуючої дії, та в залежності від відношення довжини волокна до його діаметру ділять – на дискретні, якщо $l/d \approx 10 \div 10^3$; та з безперервним волокном, для яких $l/d = \infty$ [8]. Дискретні наповнювачі в композитах розміщуються хаотично, їх діаметр варіюється для скляних волокон від 13–16 мкм зв'язані полімером, для базальтових волокон – від 10–16 мкм. Довжина волокна 10–16 мм. Армуючі волокна із оксиду алюмінію, оксиду берилію, карбідів бору та кремнію, нітридів алюмінію і кремнію та інших металів використовують діаметром 1...30 мкм, довжиною 0,3...15 мм. При цьому міцність матеріалу залежить від геометричних характеристик волокон, чим більше відношення довжини до діаметру, тим він міцніший [9,10].

За структурою, композити діляться на декілька класів: волокнисті, шаруваті, дисперсноушільнені, ушільнені та нанокомпозити. За структурою армування композити можуть бути однорідними в макрооб'ємі, чи багат шаруватими. Експлуатаційні характеристики композитних матеріалів залежать від ряду факторів: частки армуючих елементів в системі; адгезійно-когезійних сил зв'язку між матеріалами, які поєднуються; орієнтації волокон в матеріалі, їх просторової конфігурації; технології їх поєднання.

За типом арматури та її орієнтації, композити ділять на дві основні групи: ізотропні та анізотропні. Ізотропні характеризуються однаковими властивостями по всьому об'єму, наприклад, матеріали з порошковими наповнювачами. Характеристики анізотропних матеріалів залежать від напрямку просторового розміщення армуючого матеріалу в композиті. Анізотропні матеріали діляться на однонаправлені, шаруваті, трьохмірнонаправлені. Останні, як правило, полікомпонентні. За способом отримання металеві композити ділять на літійні і деформовані, полімерні та резинові – літійні та пресовані. За призначенням, композиційні матеріали класифікують на загальноконструкційні, термостійкі, пористі, фрикційні та антифрикційні [11].

Найбільш поширеними композитними матеріалами, які знайшли місце у військовій техніці – є склопластики, рідше використовують вуглепластики на основі параарміда (кевлара). Склопластики і вуглепластики – це полімерні композити, в яких найчастіше застосовують в якості компаунда, як термореактивні синтетичні смоли, так і термопластичні полімери (поліаміди, поліетилен, полістирол). В якості армуючого наповнювача для склопластиків використовують скляні волокна, для вуглепластиків – вуглецеві волокна.

В якості полімерних матеріалів застосовують такі, як УГЕТ, склотекстоліти Каста-В, Стефен, склопластик марки Стетем (Стетем-1 і Стетем-2) та інші матеріали. Застосування знаходять також склопластики на основі поліефірних смол холодного затвердіння марок ПН-1, ПН-1С, ПН-3 і МА-3. Як армуючі матеріали використовують склопластикові наповнювачі наступних марок: Т1, Т2, АСТТ(6)-С1, АСТТ(6)-С2, АСТТ(6)-С8, АСТТ(6)-С9 і ін. Для захисного обклеювання маломірних суден найбільш вживаними марками склотканин є ССТЕ-6 або ССТЕ-9 [12].

Смола, як пластична основа, володіє невисокими міцностними характеристиками, але вона здатна приймати будь-яку форму. З'єднання пластичної основи і тканини, або окремих волокон, сприяє створенню КМ, який має задані міцнісні характеристики. Типовими прикладами такого поєднання може бути внесення до пластичних основ різних наночастинок. Затверділі епоксидні смоли забезпечують надійний захист сталі від впливу зовнішніх чинників завдяки їх сумісній адгезії, відсутності утворення побічних продуктів або летких речовин і низької усадки під час реакцій затвердіння [13]. Однак у затверділих епоксидних смол є ряд недоліків, одним із яких є можливість появи тріщин в матеріалі. Цей недолік значно обмежує їх експлуатаційні характеристики. Вдосконалити властивості епоксидної смоли дозволяють добавки у вигляді наночастинок. В. Qi, Q.X. Zhang, M. Bannister та ін. [14] в якості нанонаповнювача для епоксидної смоли дигліцидилового ефіру бісфенолу А використовували наноглину. Нанокompозити були виготовлені методом полімеризації *in situ* за допомогою механічного зсуву. Автори зазначили, що додавання наноглини значно збільшило модуль пружності і в'язкість руйнування епоксидної смоли, знизило межу міцності композиту при руйнуванні і саму деформацію руйнування.

Kim, B. S., Park, S. W. [15], для збільшення в'язкості руйнування епоксидного клею використовували в якості добавок не тільки наноглину, а і наночастинок вуглецевої сажі. В'язкість руйнування вимірювалась на зразках різних геометричних конфігурацій в режимі температур від плюс 25 °С до мінус 150 °С. Автори з'ясували, що використання в якості армуючих наночастинок сажі і глини, покращує в'язкість руйнування при кімнатній температурі, але знижує цей показник при криогенній температурі, незважаючи на прояв ущільнюючого ефекту.

Використання малих концентрацій (0,1 %) наночастинок оксиду заліза [16] дозволило суттєво підвищити механічні властивості профільних конструкцій, забезпечити додаткову твердість нанокompозитів через добре диспергування оксиду заліза в епоксидних композитах та їх хімічну взаємодію між складовими. Окрім того, додавання наночастинок оксиду заліза до епоксидного покриття забезпечує його захисні характеристики шляхом самовідновлення. Науковці встановили [16], що епоксидні нанокompозитні покриття досягли більш високої корозійної стійкості до солі або морського середовища, ніж інші аналогічні полімери без наночастинок оксиду заліза.

Техніко-технологічні властивості композитних матеріалів сприяли розробці нових технологій конструювання. Наприклад [17], композитний корпус судна – це система поверхонь, що утворюють об'ємно-міцну конструкцію. З'єднання корпусу і палуби в єдине ціле, розташування в контурі поздовжніх і поперечних перегородок, сприяє тому, що конструкція набуває заданих характеристик. При цьому, кожна з поверхонь корпусу і палуби має власний набір механічних властивостей. Ці властивості можуть змінюватися, як за товщею поверхні, так і за її площею.

Використання ПКМ дозволяє моделювати величину тиску втрати несучої здатності (міцності або стійкості) корпусу, навантаженого зовнішнім рівномірним тиском, більшим у порівнянні з його металевим аналогом. На величину втрати несучої здатності (монолітності) композитного корпусу впливають його геометрія, армуючий матеріал – нитка, стрічка або тканина, спосіб його укладання (в разі армуючого тканинного матеріалу – його розкрій), просторова спрямованість наповнювача – схема армування, технологія виробництва оболонкової конструкції та ін.[18, 19].

Як приклад, властивості органопластиків можуть змінюватися в широких межах, залежно від складу, структури і технології отримання матеріалів – міцність при розтягуванні a_B від 300 до 3000 МПа, модуль пружності E від 13 до 100 ГПа [20–21]. За пи-

томою міцністю при розтягуванні (200 км) органопластики займають провідне місце серед конструкційних матеріалів. Завдяки зниженій щільності, низькій димоутворюючій здатності, високим естетичним якостям, органопластики використовують при обшивці салонів літаків, суден, автомобілів та в інших галузях народного господарства. Органопластики використовуються при виготовленні захисних екранів в корпусах вентиляторів турбореактивних двигунів, оскільки можуть витримувати механічний удар, який може мати місце при зіткненні літака із птахом.

Матеріалами нового покоління є металоорганопластики-алори, які складаються з шарів, що чергуються, алюмінієвого сплаву і органопластика, який знижує навантаженість металу і збільшує довговічність матеріалу в цілому. У порівнянні з традиційними матеріалами, вони мають високу стійкість до утворення тріщин, що дозволяє виготовляти з них конструкції на повітряному, водному та автомобільному транспорті. Застосування алора замість традиційних алюмінієвих сплавів забезпечує зниження маси конструкції на 10–20 % при використанні тканинного арамідного наповнювача і в 2 рази – односпрямованого. Завдяки високим демпфуючим характеристикам, алор використовується в конструкціях, що піддаються високочастотним коливанням, це дозволяє збільшити ресурс їх роботи в кілька разів. Він технологічний, добре піддається всім видам механічної обробки, пластичній деформації [20,21].

Вуглепластики – композити на основі високоміцних вуглецевих волокон, і є найбільш перспективними композиційними матеріалами. Вони володіють високими міцністю і жорсткістю, термостійкістю до 570 °К, низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення, стійкістю до агресивних середовищ. Як армуючі елементи, в них застосовуються безперервні волокна у вигляді ниток, джгутів, тканин або нетканних матеріалів. Матриці виготовляють з епоксидних, поліамідних, поліефірних або інших смол. Вуглепластики використовуються в конструкціях сучасних літаків, наприклад таких, як «Руслан», космічних кораблів багаторазового використання «Буран», що доводить їх високу технічну ефективність і експлуатаційну надійність. Вуглепластики КМУ-ЛР, КМУ-ЛТК і КМУ-Т працюють в інтервалі температур від мінус 60 до плюс 100 °С, в тому числі в агресивних середовищах, мають високі фізико-механічні характеристики [22].

Окрім основних конструкційних матеріалів використовують і зв'язуючі полімери. Для зв'язування ПКМ в підводному суднобудівництві використовують реактопласти-поліефірні (наприклад, ПК КК5) чи епоксидні смоли. В якості зв'язуючих матеріалів, для виготовлення модулів із ПКМ глибинних апаратів, J.J. Kelly та іншими авторами були апробовані термопласти – поліефірефіркетон та поліфеніленсульфід [23], які підтвердили можливість їх використання в цьому напрямку.

Типовим прикладом впровадження інноваційних розробок в кораблебудуванні може бути корвет ВМС Швеції “Visby”. При проектуванні та будівництві цих корветів була впроваджена технологія “стелс”, яку забезпечили полікомполімерні матеріали та особливості конструкції. Використання трьохшарового композиційного матеріалу при будівництві корпусу, дозволило знизити сигнатуру корвету в магнітному, інфрачервоному та акустичному діапазонах (дальність радіолокаційного виявлення зменшується вдвічі), зменшити масу, покращити маневреність. Композитний матеріал корпусу виконано із вуглеволокна – в якості армуючого матеріалу та вінілефіру – зв'язуючого. Поєднання цих полімерів забезпечило часткове поглинання радіохвиль і зниження рівня помітності вторинного радіолокаційного поля, зменшення сумарної маси конструкції. Корпус корвету конструкційно – моноблок з надбудовою в центральній частині [24].

Особливі технології виготовлення конструкцій із композитних матеріалів дозволяють надавати кораблям, катерам різних форм. Використовуючи технологію формування конструкцій із ПКМ, німецької компанії Howaldtswerke-Deutsche Werft GmbH (HDW), суднобудівна компанія CMN Group спустила на воду патрульний тримаран Ocean Eagle 43, корпус якого також виконано із ПКМ [25].

Широке використання склопластику, особливо при створенні елементів надбудов підводних човнів і обтічників висувних пристроїв, має багато переваг. Корозійна стійкість склопластикових конструкцій значно вище, ніж у сталевих. Вони не вимагають захисту від корозії, що істотно знижує вартість життєвого циклу перспективних ПЧ. Наприклад, за даними компанії HDW, вартість технічного обслуговування конструкцій зі склопластику в 6-10 разів нижче вартості обслуговування таких же конструкцій зі сталі. Композитні конструкції також мають більший термін служби (понад 40 років). Маса склопластикових конструкцій помітно менше, ніж сталевих, що позитивно впливає на збільшення маси корисного навантаження корабля. Склопластик не створює магнітного поля, що позитивно впливає на прихованість підводних човнів за магнітним полем. Склопластикові конструкції мають великий коефіцієнт внутрішніх втрат і менше підлягають активізації під впливом набігаючого потоку (склопластик менше випромінює енергії в низькочастотному діапазоні). Багатошарові склопластикові конструкції при відповідному підборі наповнювача можуть ефективно поглинати випромінювання гідролокатором, що, в принципі, дозволяє відмовитися від нанесення протилокаційного покриття на надбудову і на обтічник. КМ дозволяють порівняно легко і технологічно створювати конструкції з плавними обводами, що покращує обтікання і сприяє, як зниженню шумності, так і зниженню опору руху.

Застосовуються ПКМ в підводних човнах різного класу і призначення – наприклад, в проектах типу «Огайо», «Вірджинія», «Лос-Анджелес» та інших. Обсяги застосування ПКМ в даній сфері є незначними. Передбачається, що подальший розвиток і виробництво підводних човнів вже нового п'ятого покоління буде пов'язано з використанням композитних матеріалів [26], що дозволить знижувати шумову помітність човнів, зниження відображення гідролокаційних сигналів від корпусу човна, розповсюдження вібрації від працюючих механізмів та ін. В галузі суднобудування спостерігається повільний, але вірний перехід від відкритого формування (контактне, напилення) конструкцій з композиційних матеріалів до закритих, таким як RTM. VaRTM (RTM з вакуумною підтримкою), RTM-Light, вакуумного інфузійного формування та ін. Light RTM – різновид методу RTM з використанням зниженого тиску подачі зв'язуючого середовища і додатковим використанням вакууму. Зниження тиску подачі полімеру, дозволяє знизити вимоги до жорсткості оснащення і її вартість. Вакуум сприяє більш ефективному просоченню армуючої основи, видаленню летких речовин і повітря. Перераховані закриті процеси мають ряд переваг в питаннях зниження пористості в композитах, швидкості затвердіння (виготовлення) композитів, розміру і складності конструкційного композиту [27].

Поширення набули склопластики при проектуванні складових підводних човнів. Із КМ, окрім елементів надбудов та обтічників акустичних антен, виготовляють керма, стабілізатори, гребні гвинти, фрагменти ліній валів, ракетні шахти, обтічники підйомно-щоглових пристроїв, ємності для зберігання стисненого повітря, конструкції окремих корабельних бойових і технічних засобів та ін. [28].

Композити використовує і РФ, корвети проектів 20380, 20385, 22350 побудовані із композитних матеріалів. Полімерна надбудова виконана із багатошарових композиційних склопластиків і конструкційних матеріалів на основі вуглецевого волокна, за-

безпечує малу радіолокаційну та оптичну помітність (та ж сама технологія “стелс”). Окрім надбудов із ПКМ в цих корветах виконані віброізольовані муфти, які забезпечують з’єднання редукторних передач із системою валопроводу турбін, радіопрозорі панелі на баштово-щогловій конструкції [29].

Іншим прикладом бойового корабля, корпус якого повністю виконаний із ПКМ (монолітного склопластика) – є тральщик “Олександр Обухов” з водотонажністю 890 тон, прийнятий до ВМФ РФ в 2016 році. Застосування ПКМ матеріалів для даного проекту, дозволило підвищити міцність корпусу, швидкість пересування на 10–20 % без будь-якої модернізації двигунів, збільшити масу корисного вантажу у вигляді додаткових одиниць бойової техніки та комплектів для систем озброєння. Для корветів проектів 20380, 20385 розроблені радіопоглинаючі ПКМ [30].

Висновки. Полікомполімерні матеріали знайшли широке застосування в різних галузях народного господарства, в тому числі і в військовій. Отримати ПКМ із заданими техніко-технологічними характеристиками можна за рахунок поєднання різних полімерних матриць і армуючих їх елементів. Розміри армуючих елементів визначають напрям використання композиту – для формування корпусу корвету чи для нанесення в якості захисних покриттів на сталеві поверхні, які контактують з агресивними середовищами, в тому числі, з морською водою. Впровадження інноваційних технологій формування виробів із композитних матеріалів дозволило спростити виробничий процес та отримувати габаритні монолітні конструкції. Значна частка переваг при використанні ПКМ сприяла їх впровадженню в галузі кораблебудування, зокрема, при будівництві та модернізації підводних човнів, кораблів, катерів. Сподіваємось, що при будівництві українського корвету проекту 58250 “Володимир великий”, який планують ввести в дію в 2023 році, в повній мірі будуть використані інноваційні матеріали, в тому числі, і полікомполімерні.

Література

1. Композитные материалы: что это такое, свойства, производство и применение. URL: <https://fb.ru/article/264869/kompozitnyie-materialyi-chto-etotakoe-svoystva-proizvodstvo-i-primenenie> (дата звернення 22.01.2020)
2. Левченко А.В., Мороков А.А., Шаповалов К.П. Применение композитных материалов в производстве. Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2017, Том 8, № 3, С. 237-239 URL: http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU_8_235.pdf.
3. Баженов С.Л. Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технологии. Москва: Интеллект, 2009. 352 с.
4. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. под ред. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта, Б.Э. Геллера. Москва: Машиностроение, 1988. 448 с.
5. Кочуров Д.В. Высокопрочные полимерные композиционные материалы. Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19200>.
6. Петроченков Р.Г. Композиты на минеральных заполнителях: в 2 т. Москва: Изд-во МГГУ, 2005. Т. 2. 351 с.
7. Вержбовский Г.Б. Прогнозирование характеристик композитных материалов на основе свойств составляющих их частей. Научное обозрение. 2014. № 7. С. 909–913.

8. Никитин В.С., Половинкин В.Н. Применение композитных материалов в зарубежном подводном кораблестроении URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7479> (дата звернення 15.05.2019).
9. Шитова И.Ю. Самошина Е.Н., Кислицына С.Н., Болтышев С.А. Современные композиционные строительные материалы: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2015. 136 с.
10. Глухих В.Н. Петров В.М., Сойту Н.Ю. Определение постоянных упругости с учетом анизотропии свойств композиционных материалов, используемых для намотки ответственных оболочек и стержневых конструкций в судостроении и портовой инфраструктуре. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 137–142. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-137-142.
11. Ашкенази Е.К. Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: справочник. Ленинград: Машиностроение. 1980. 247 с.
12. Нелюб В.А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: <file:///I:/БИБЛИОТЕКА ОПЗ Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек.pdf>. (дата звернення 11.08.2020).
13. Kuznetsov Yu.I. New possibilities of metal corrosion inhibition by organic heterocyclic compounds International journal of corrosion and scale inhibition Int. J. Corros. Scale Inhib. 2012, 1, No.1, P. 3–15 <http://dx.doi.org/10.17675/2305-6894-2012-1-1-003-015>.
14. Qi B, Zhang QX, Bannister M, Mai YW Investigation of the mechanical properties of DGEBA-based epoxy resin with nanoclay additives. Composite Structures. 75(1–4). 2006. P. 514–519. doi:10.1016/.
15. Kim, B. C., Park, S. W., & Lee, D. G. (2008). Fracture toughness of the nanoparticle reinforced epoxy composite. Composite Structures. 86(1-3), P. 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.>
16. Ayman M. Atta, El-Saeed Ashraf M., Al-Shafey H. I. and El-Mahdy Gamal A. Self-healing Passivation of Antimicrobial Iron oxide Nanoparticles for Epoxy Nanocomposite Coatings on Carbon Steel. Int. J. Electrochem. Sci., 2016. No.11. P. 5735–5752 doi: 10.20964/2016.07.82.
17. Францев М.Э. Проектная оценка эксплуатационных нагрузок и характеристик долговечности корпусов судов из композиционных материалов. Морской вестник. 2008. № 4(28). С. 93–98.
18. Белецкий Е.Н. Специфика расчета элементов валопроводов, выполненных из композиционных материалов, с учетом направления армирования и физико-механических характеристик модификаторов матрицы. Вестник Гос-го ун-та морского и речного флота им. Адм. С.О. Макарова, 2018. Выпуск 8 (40). С. 113–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-113-120 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-rascheta-elementov-valoprovodov-vypolnennyh-iz-kompozitsionnyh-materialov-s-uchetom-napravleniya-armirovaniya-i-fiziko>.
19. Белецкий Е.Н. Петров В.М., Безпальчук С.Н. Учет физико-механических характеристик композиционных углепластиков, влияющих на процессы разрушения при реализации технологического процесса механической обработки и экстремальных условий эксплуатации. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2014. № 2 (24). С. 66–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-fiziko-mehnicheskikh-harakteristik-kompozitsionnyh-ugleplastikov-vliyayuschih-na-protsessy-razrusheniya-pri-realizatsii>.

20. В.А. Рогов, М.И. Шкарупа, А.К. Велис Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении. Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2012. № 2. С.41–49.

21. Белецкий Е. Н. Различные уровни моделирования сложных конструкций судовых энергетических установок, отдельные элементы которых выполнены из композиционных полимерных материалов. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2016. № 1 (35). С. 138–144. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-138-144. URL: [https://cyberleninka.ru/article /n/razlichnye-urovni-modelirovaniya-slozhnyh-konstruktsiy-sudovyh-energeticheskikh-ustanovok-otdelnye-elementy-kotoryh-vypolnenny-iz/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/razlichnye-urovni-modelirovaniya-slozhnyh-konstruktsiy-sudovyh-energeticheskikh-ustanovok-otdelnye-elementy-kotoryh-vypolnenny-iz/viewer).

22. В.А. Рогов, М.И. Шкарупа, А.К. Велис Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении. Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2012. № 2. С.41–49.

23. Kelly J. J., Leon G. F., Hall J. C., Woodall C. Reliable Design and Fabrication of Composite High Performance Marine Structures. Proceedings of the Tenth International Conference on Composite Materials: Microstructure, degradation, and design. – Canada: Whistler B. C. 1995.

24. Корветы типа Visby URL: [https://wiki.wargaming.net/ru/Navy: Корветы_типа_Visby](https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:Корветы_типа_Visby) (дата звертання 23.09.2020).

25. Ocean Eagle 43 URL: <https://cmn-group.com/products-and-services/military-vessels/tsm/ocean-eagle-43/> (дата звертання 23.09.2020).

26. Ларин С.Н., Ноакк Н.В., Соколов Н.А. Конкурентные преимущества российского оборонно-промышленного комплекса и их реализация в стратегиях импортозамещения. Economy and Business Journal of Economy and Business, vol. 7 С. 97–103 DOI:10.24411/2411-0450-2019-11084 URL: <https://cyberleninka.ru /article/n/konkurentnye-preimuschestva-rossiyskogo-oboronno-promyshlennogo-kompleksa-i-ih-realizatsiya-v-strategiyah-importozamesheniya>.

27. Мишкин С.И., Дориомедов М.С., Кучеровский А.И. Полимерные композиционные материалы в судостроении. Новости материаловедения. Наука и техника. № 1 (25). 2017. С. 60–70. URL: <https://readera.org/polimernye-kompozicionnye-materialy-v-sudostroenii-14340689> (дата звертання 30.09.2020).

28. Кравцов В.И. Оценка эффективности полимерных композиционных материалов для оконечностей корпусов подводной техники. Збірник наукових праць НУК. сер. Кораблебудування, 2013, №4. С. 18–26.

29. Корветы_проекта_20380 URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата звертання 30.09.2020).

30. Зазимко В. Применение композитных материалов как драйвер-отраслей ОПК. Новый оборонный заказ: стратегии. 2017. № 2 (44). URL: [https:// dfnc.ru/yandeks-novosti/primenenie-kompozitnyh-materialov-kak-drajver-otraslej-opk/](https://dfnc.ru/yandeks-novosti/primenenie-kompozitnyh-materialov-kak-drajver-otraslej-opk/).

Bibliography (transliterated)

1. Kompozitnye materialy: chto eto takoe, svoystva, proizvodstvo i primeneniye. URL: <https://fb.ru/article/264869/ kompozitnyie-materialyi-chno-etotakoe-svoystva-proizvodstvo-i-primeneniye> (data zvernennya 22.01.2020)

2. Levchenko A.V., Morokov A.A., SHapovalov K.P. Primeneniye kompozitnyh materialov v proizvodstve. Elektronnoye nauchnoye izdaniye «Uchenye zametki TOGU» 2017, Tom 8, № 3, P. 237–239 URL: http://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2017/TGU_8_235.pdf.

3. Bazhenov S.L., Berlin A.A., Kul'kov A.A., Oshmyan V.G. Polimernye kompozitsionnye materialy. Prochnost' i tekhnologii. Moskva: Intellekt, 2009. 352 p.
4. Spravochnik po kompozitsionnym materialam / pod red. Dzh. Lyubina; per. s angl. pod red. A.B. Gellera, M.M. Gel'monta, B.E. Gellera. Moskva: Mashinostroenie, 1988. 448 p.
5. Kochurov D.V. Vysokoprochnye polimernye kompozitsionnye materialy. Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2018. № 5.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19200>.
6. Petrochenkov R.G. Kompozity na mineral'nyh zapolnitelyah: v 2 t. Moskva: Izd-vo MGGU, 2005. T. 2. 351 p.
7. Verzhbovskij G.B. Prognozirovanie harakteristik kompozitnyh materialov na osnove svoystv sostavlyayushchih ih chastej. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 7. P. 909–913.
8. Nikitin V.S., Polovinkin V.N. Primenenie kompozitnyh materialov v zarubezhnom podvodnom korablestroenii URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7479> (data zvernennya 15.05.2019).
9. Shitova I.Y., Samoshina E.N., Kislicyna S.N., Boltyshev S.A. Sovremennye kompozitsionnye stroitel'nye materialy: ucheb. posobie. Penza: PGUAS, 2015. 136 p.
10. Gluhih V.N., Petrov V.M., Sojtu N.Y. Opredelenie postoyannyh uprugosti s uchetom anizotropii svoystv kompozitsionnyh materialov, ispol'zuemyh dlya namotki otvetstvennyh oboloček i sterzhnevyyh konstrukcij v sudostroenii i portovoj infrastrukture. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2016. № 2 (36). P. 137–142. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-137-142.
11. Ashkenazi E.K., Ganov E.V. Anizotropiya konstrukcionnyh materialov: spravochnik. Leningrad: Mashinostroenie. 1980. 247 p.
12. Nelyub V.A. Primenenie polimernyyh kompozitsionnyh materialov v sudostroenii dlya remonta korabel'nyh nadstroek. Moskva: MGTU im. N.E. Bauman. URL: <file:///I:/BIBLIOTEKA OPZ Primenenie polimernyyh kompozitsionnyh materialov v sudostroenii dlya remonta korabel'nyh nadstroek.pdf>. (data zvernennya 11.08.2020).
13. Kuznetsov Yu.I. New possibilities of metal corrosion inhibition by organic heterocyclic compounds International journal of corrosion and scale inhibition Int. J. Corros. Scale Inhib. 2012, 1, No.1, R. 3–15 <http://dx.doi.org/10.17675/2305-6894-2012-1-1-003-015>.
14. Qi B, Zhang QX, Bannister M, Mai YW Investigation of the mechanical properties of DGEBA-based epoxy resin with nanoclay additives. Composite Structures. 75(1–4). 2006. R. 514–519. doi:10.1016/.
15. Kim, B. C., Park, S. W., & Lee, D. G. (2008). Fracture toughness of the nanoparticle reinforced epoxy composite. Composite Structures. 86(1-3), P. 69–77. <https://doi.org/10.1016/j>.
16. Ayman M. Atta, El-Saeed Ashraf M., Al-Shafey H. I. and El-Mahdy Gamal A. Self-healing Passivation of Antimicrobial Iron oxide Nanoparticles for Epoxy Nanocomposite Coatings on Carbon Steel. Int. J. Electrochem. Sci., 2016. No.11. P. 5735–5752 doi: 10.20964/2016.07.82.
17. Francev M.E. Proektnaya ocenka ekspluatacionnyh nagruzok i harakteristik dolgovechnosti korpusov sudov iz kompozitsionnyh materialov. Morskoj vestnik. 2008. № 4(28). P. 93–98.
18. Beleckij E.N. Specifika rascheta elementov valoprovodov, vypolnennyh iz kompozitsionnyh materialov, s uchetom napravleniya armirovaniya i fiziko-mekhanicheskikh harakteristik modifikatorov matricy. Vestnik Gos-go un-ta morskogo i rechnogo flota im. Adm. S.O. Makarova, 2018. Vypusk 8 (40). P. 113–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-113-120 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifika-rascheta-elementov->

valoprovodov-vypolnennyh-iz-kompozitsionnyh-materialov-s-uchetom-napravleniya-armirovaniya-i-fiziko.

19. Beleckij E.N. Petrov V.M., Bezpал'chuk S.N. Uchet fiziko-mekhanicheskikh harakteristik kompozicionnyh ugleplastikov, vliyayushchih na processy razrusheniya pri realizacii tekhnologicheskogo processa mekhanicheskoy obrabotki i ekstremal'nyh uslovij ekspluatacii. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2014. № 2 (24). P. 66–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-fiziko-mekhanicheskikh-harakteristik-kompozitsionnyh-ugleplastikov-vliyayushchih-na-protsessy-razrusheniya-pri-realizatsii>.

20. V.A. Rogov, M.I. SHkarupa, A.K. Velis Klassifikaciya kompozicionnyh materialov i ih rol' v sovremennom mashinostroenii. Vestnik RUDN, seriya Inzhenernye issledovaniya. 2012. № 2. P.41–49.

21. Beleckij E.N. Razlichnye urovni modelirovaniya slozhnyh konstrukcij su-dovyh energeticheskikh ustanovok, otdel'nye elementy kotoryh vypolneny iz kompozicionnyh polimernykh materialov. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2016. № 1 (35). P. 138–144. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-138-144. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razlichnye-urovni-modelirovaniya-slozhnyh-konstruktsiy-sudovyh-energeticheskikh-ustanovok-otdelnye-elementy-kotoryh-vypolnenny-iz/viewer>.

22. V.A. Rogov, M.I. SHkarupa, A.K. Velis Klassifikaciya kompozicionnyh materialov i ih rol' v sovremennom mashinostroenii. Vestnik RUDN, seriya Inzhenernye issledovaniya. 2012. № 2. P. 41–49.

23. Kelly J. J., Leon G. F., Hall J. C., Woodall C. Reliable Design and Fabrication of Composite High Performance Marine Structures. Proceedings of the Tenth International Conference on Composite Materials: Microstructure, degradation, and design. – Canada: Whistler B. C. 1995.

24. Korvety tipa Visby URL: https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:Korvety_tipa_Visby (data zvertannya 23.09.2020).

25. Ocean Eagle 43 URL: <https://cmn-group.com/products-and-services/military-vessels/tsm/ocean-eagle-43/> (data zvertannya 23.09.2020).

26. Larin S.N., Noakk N.V., Sokolov N.A. Konkurentnye preimushchestva rossijskogo oboronno-promyshlennogo kompleksa i ih realizaciya v strategiyah importozamesheniya. Economy and Business Journal of Economy and Business, vol. 7 P. 97–103 DOI:10.24411/2411-0450-2019-11084 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentnye-preimushchestva-rossijskogo-oboronno-promyshlennogo-kompleksa-i-ih-realizatsiya-v-strategiyah-importozamesheniya>.

27. Mishkin S.I., Doriomedov M.S., Kucherovskij A.I. Polimernye kompozicionnye materialy v sudostroenii. Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika. № 1 (25). 2017. P. 60–70. URL: <https://readera.org/polimernye-kompozicionnye-materialy-v-sudostroenii-14340689> (data zvertannya 30.09.2020).

28. Kravcov V.I. Ocenka effektivnosti polimernykh kompozicionnykh materialov dlya okonechnostej korpusov podvodnoj tekhniki. Zbirnik naukovih prac' NUK. ser. Korablebuduvannya, 2013, №4. P. 18–26.

29. Korvety_proekta_20380 URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (data zvertannya 30.09.2020).

30. Zazimko V. Primenenie kompozitnykh materialov kak drajver-otraslej OPK. Novyj oboronnyj zakaz: strategii. 2017. № 2 (44). URL: <https://dfnc.ru/yandeks-novosti/primenenie-kompozitnykh-materialov-kak-drajver-otraslej-opk/>.

УДК 519.85

Савінок О.М., Кобзар Т.А., Марінічева К.В.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РОЗРОБОК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В статті розглянуті характеристики розповсюджених композитних матеріалів. Промислового використання набули: вуглепластики – композити на основі високоміцних вуглецевих волокон, металоорганопластики – алори, термопласти – полієфірефіркетон та поліфеніленсульфід, склотекстоліти. За структурою, композити діляться на декілька класів: волокнисті, шаруваті, дисперсноущільнені, ущільнені та нанокompозити. Основною перевагою будь-якого композиційного матеріалу є те, що йому можна надати задані техніко-технологічні характеристики. За рахунок зміни складу, структури, розмірів армуючих елементів та технології отримання матеріалів, властивості композитів можуть змінюватися в широких межах, від м'яких, пластичних, до твердих, крихких. Міцність матеріалу залежить від геометричних характеристик волокон, чим більше відношення довжини до діаметру, тим він міцніший. Саме розміри армуючих елементів визначають напрям використання композиту, вони впливають на реологічні та структурно-механічні властивості матеріалу. Запроектовані властивості визначають надійність роботи конструкції, що важливо при використанні цих матеріалів в розробці військової, аерокосмічної техніки, озброєнь.

Впровадження інноваційних технологій формування виробів із композитних матеріалів дозволило спростити виробничий процес та отримувати габаритні монолітні конструкції. Це сприяло їх впровадженню в галузі кораблебудування, зокрема, при будівництві та модернізації підводних човнів, кораблів, катерів. Із композитних матеріалів, окрім елементів надбудов та обтічників акустичних антен, виготовляють керма, стабілізатори, гребні гвинти, фрагменти ліній валів, ракетні шахти, обтічники підйомно-щоглових пристроїв, ємності для зберігання стисненого повітря, конструкції окремих корабельних бойових і технічних засобів та ін.

Ключові слова: полікомпозитні матеріали, склопластики, вуглепластики, армуючий матеріал

Савінок О.Н., Кобзарь Т.А., Мариничева Е.В.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РАЗРАБОТОК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В статье рассмотрены характеристики распространенных композитных материалов. Промышленное использование получили: углепластики – композиты на основе высокопрочных углеродных волокон, металлоорганопластики – алор, термопласты – полиэфирэфиркетон и полифениленсульфид, склотекстолиты. По структуре, композиты делятся на несколько классов: волокнистые, слоистые, дисперсноуплотненные, уплотненные и нанокompозиты. Основным преимуществом любого композитного материала является то, что ему можно придать заданные технико-технологические характеристики. За счет изменения состава, структуры, размеров армирующих элементов и технологии получения материалов, свойства композитов могут изменяться в широких пределах, от мягких, пластичных, до твердых, хрупких. Прочность материала зависит

от геометрических характеристик волокон, чем больше отношение длины к диаметру, тем он прочнее. Именно размеры армирующих элементов определяют направление использования композита, они влияют на реологические и структурно-механические свойства материала. Запроектированные свойства определяют надежность работы конструкции, что немаловажно при использовании этих материалов в разработке военной, аэрокосмической техники, вооружений.

Использование инновационных технологий формования изделий из композитных материалов позволило упростить производственный процесс и получать габаритные монолитные конструкции. Это способствовало их внедрению в области кораблестроения, в частности, при строительстве и модернизации подводных лодок, кораблей, катеров. Из композитных материалов, кроме элементов надстроек и обтекателей акустических антенн, изготавливают рули, стабилизаторы, гребные винты, фрагменты линий валов, ракетные шахты, обтекатели подъемно-мачтовых устройств, емкости для хранения сжатого воздуха, конструкции отдельных корабельных боевых и технических средств и др.

Ключевые слова: поликомпозитные материалы, стеклопластики, углепластики, армирующий материал.

Savinok O., Kobzar T., Marinicheva K.

ANALYSIS OF MODERN DEVELOPMENTS OF POLYMERIC MATERIALS WITH THE SPECIFIC TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS

The article considers the characteristics of common composite materials. The following have been used for industrial use: carbon plastics – composites based on high-strength carbon fibers, organometallic plastics – allora, thermoplastics – polyester ether ketone and polyphenylene sulfide, fiberglass. By structure, composites are divided into several classes: fibrous, layered, dispersed, compacted and nanocomposites. The main advantage of any composite material is that it can be given the specific technical and technological characteristics. Due to changes in the composition, structure, size of reinforcing elements and technology of materials, the properties of composites can vary widely, from soft, plastic to hard, brittle. The strength of the material depends on the geometric characteristics of the fibers, the greater the ratio of length to diameter, the stronger it is. It is the size of the reinforcing elements that determines the direction of use of the composite, they affect the rheological and structural and mechanical properties of the material. The designed properties determine the reliability of the structure, which is important when using these materials in the development of military, aerospace equipment, weapons.

The introduction of innovative technologies for the formation of products from composite materials has simplified the production process and obtained dimensional monolithic structures. This contributed to their introduction in the field of shipbuilding, in particular, in the construction and modernization of submarines, ships and boats. Composite materials, in addition to elements of superstructures and fairings of acoustic antennae, are used to make rudders, stabilizers, propellers, fragments of shaft lines, rocket shafts, fairings for lifting mast devices, compressed air storage tanks, constructions of separate ship warfare and technical means, etc.

Keywords: polycomposite materials, fiberglass, carbon plastics, reinforcing material.

Миць М.Г., Білошенко К.С., к.фіз.-мат.н., доцент, Божков А.І., д.біол.н., професор

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ АЕРАЦІЇ ПІД ЧАС БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків

Ключові слова: очистка, стічні води, пристрій, коефіцієнт використання кисню (КВК).

Вступ. Мета цієї роботи – експериментальна перевірка та встановлення найбільш ефективного способу аерації, вдосконалення конструкції аераторів, розробка методики яка дозволить знизити енергоємність процесу аерації стічних вод. Наша держава на сьогодні має одну з найенергозатратніших економік в Європі [1]. В доповіді ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України» за 2013 рік, «Проблеми та перспективи створення сприятливого клімату для підвищення енергоефективності та енергозбереження в Україні» [2], вказується що, – «Неефективне споживання ПЕР призводить до необхідності додатково імпортувати більше 50 % загального обсягу енергоносіїв, що споживаються секторами національної економіки».

Оскільки на станціях біологічної очистки стічних вод майже 75 % загальних витрат енергоносіїв використовується на аерацію[3], тому, зменшення енерговитрат та вдосконалення процесу аерації, на часі, актуальне питання.

Аналіз наукових публікацій на цю тему [4–7] показує, що системи крупнопухіркової аерації, що використовуються сьогодні на більшості очисних споруд, не дивлячись на їх простоту виготовлення та відносну надійність експлуатації, не забезпечують високого ступеню використання кисню повітря, який подається на аерацію, а це, в свою чергу, призводить до зайвих витрат електроенергії.

Проаналізував роботи [5,6], в яких були обґрунтовані переваги поєднання дрібнопухіркової аерації та спрямованої циркуляції рідини, яка аерується, у вертикальному напрямку. В зазначених роботах відзначається, що для дрібнопухіркових аераторів підвищення глибини занурення практично не відбивається на ефективності аерації. Це також підтверджується теоретичними викладками в роботі [8].

Матеріали та методи дослідження. Вплив глибини занурення аераторів на коефіцієнт використання кисню (КВК) було перевірено на лабораторному обладнанні. Це прямокутна ємність висотою 5 м та підставою 0,2x0,2 метри, яка виготовлена з органічного скла. В придонну зону були вмонтовані аератори, дрібнопухіркової аерації, (який виготовлений з пористої керамічної труби), та крупнопухіркової аерації, виготовлений з пластикової перфорованої труби з отворами діаметром 5 мм. Аерацію проводили в розчині сульфату натрія, тому на протязі всього часу, коли проводився експеримент, в системі спостерігався дефіцит кисню. З цього робимо висновок, що всі результати отримані в зіставних умовах і відповідають максимальному значенню КВК для конкретного аератора. Відбір повітря після аерації відбувався на різних глибинах рідини, що аерується, в тому числі безпосередньо у поверхні аератора, тобто одразу після створення пухиря повітря, та його відриву від поверхні аератора.

Вміст кисню в повітрі, що надходило на аерацію та в відпрацьованому повітрі, яке виходило після аерації визначали за допомогою датчика розчиненого кисню AR8010. Для відбору проб використовували звичайні скляні газові воронки. Відбір проби газу, що відходить, робився за допомогою колоколоподібного відбірника, газової воронки спрямованої вниз раструбом. Її занурювали на необхідну глибину та зону рідини, що аерується за умовами експерименту. Воронка заповнюється під напором повітря за рахунок різниці між атмосферним та гідростатичним тиском. Істотно, що перед забором проби треба саму воронку та з'єднуючі шланги продути повітрям, що відбирається, щоб не сталося змішення атмосферного повітря з газом, що беруть для аналізу. КВК визначають як відсоткове або часткове відношення концентрацій кисню в газі що відходить після аерації та в повітрі яке поступає на аерацію.

Результати експерименту. В таблицю 1 зведені результати вимірюного КВК, які отримані для дрібно- та крупнопухирцевих аераторів в залежності від глибини їх занурення, при цьому витрати повітря, були однакові.

Таблиця 1 – Глибина занурення (метри)/ КВК (%)

Тип аератора, діаметр пухирців (мм)	0,1 м	2,5 м	5,0 м
1. Дрібнопухирцевий 0,5–1,0	9,8	9,9	10,0
2. Дрібнопухирцевий 1,0–3,0	7,6	7,8	8,0
3. Крупнопухирцева 5,0–8,0	1,5	2,5	2,9
4. Крупнопухирцева 9,0–11,0	1,0	2,0	2,6
5. Крупнопухирцева з накладеною сіткою 9,0–11,0	1,0	2,5	3,0
6. Крупнопухирцева з накладеною сіткою, з утворенням суцільної повітряної фази	1,0	2,8	3,3

Результати вимірювань, відображені на рис. 1, наочно показують, що вплив глибини занурення аераторів з дрібнопухирцевою аерацією на значення КВК практично не впливає.

В той же час КВК для крупнопухирцевої аерації значно зростає якщо глибину занурення збільшувати. Проте, абсолютне значення КВК у всякому випадку більше для дрібнопухирцевої аерації, тобто для пухирців меншого діаметру. Сітки, які встановлювали на глибині 2,5 та 5 метрів, суттєво підвищували КВК. Але було встановлено, що коли пропускна здатність сітки не дозволяла всьому повітрю проходити крізь неї і під сіткою утворювалась суцільна повітряна фаза (тобто під сіткою проходила масова коалесценція пухирців), – КВК значно зростає.

У зв'язку з цим була проведена ще серія експериментів в лабораторному аеротенку (розміром 0.7 м x 0.7 м x 1,2 м, ємністю 500 літрів) щоб визначити окислювальну здатність аераційної системи з багаторазовим усередненням повітряної фази по глибині аеротенка (рис. 1). Окислювальна здатність визначалася за стандартною методикою [6] аеруванням рідини з якої максимально видалили кисень. Витрата повітря змінювалася в межах 0,5–3 м³/годину. В таблиці 2 наведені результати однієї з числених серій експериментів, з яких випливає, що наявність в аераційній системі кожної наступної «полки-

сітки» під якою стається масова коалесценція пухирців і коли утворюється суцільна газова фаза, то це на кожному етапі призводить до підвищення окислювальної здатності.

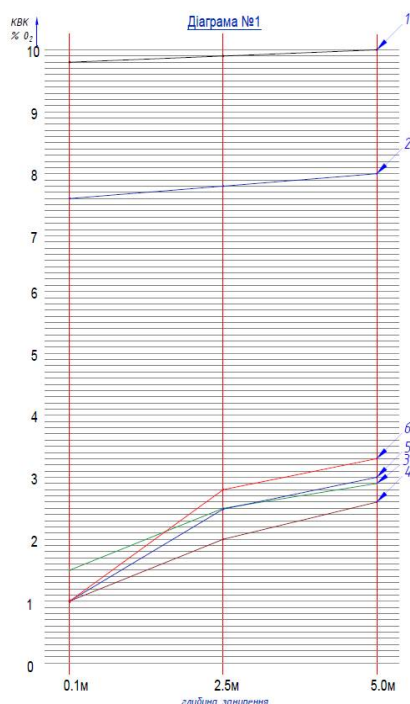


Рисунок 1 – Вплив глибини занурення аераторів

Таблиця 2 – Результати визначення окислювальної здатності аераційної системи з багаторазовим усередненням та диспергацією повітря. (глибина 1 метр, витрата повітря 0,8 м³/годину)

№ п/п	Система аерації (чередування етапів диспергації)	Окислювальна здатність кг O ₂ / м ³ за годину
1	Дрибнопухирцева аерація (ДПА)	4,7
2	ДПА + ковпак з крупно пористою сіткою (КПС)	5,5
3	ДПА + ковпак КПС + ковпак ДПА	7,0
4	ДПА+ковпакКПС+ковпакДПА+ковпак КПС	7,9
5	ДПА+ три ковпака КПС	7,1

Обговорення результатів. Основна гіпотеза, яка була висловлена на початку статті, полягала в тому, що використання сіток на різних рівнях аеротенка призводить до збільшення розчиненого кисню в рідині. Справа в тому, повітря містить тільки 21 % O₂, а це значить, що парціальний тиск [9] може бути оцінений наступним чином:

$$P_{O_2} = X_{O_2} P_{atm} = (0.21)(1atm) = 0.21atm ,$$

де P_{O_2} – парціальний тиск кисню; X_{O_2} – молярна концентрація кисню; P_{atm} – атмосферний тиск.

Застосовуючи закон Генрі [10] ми можемо розрахувати концентрацію газу (O_2), який може бути розчинений в рідкій фазі при даній температурі:

$$C_{eq}^{O_2} = \frac{P_{O_2}}{H_{O_2}} = \frac{0.21atm}{\left(1.08 \frac{atmL}{mmol}\right)} = 0.19 \frac{mmol}{L_{H_2O}},$$

де C_{eq} – градієнт концентрацій O_2 .

Таким чином, якщо:

1. $C_{eq} > C$ – кисень «прямує» в рідку фазу;
2. $C_{eq} < C$ – умова, за якою створюються пухирці;
3. $C_{eq} = C$ – умова рівноваги.

Для досягнення умови рівноваги ми і використовували сітку, яка призводить до того, що градієнт концентрації кисню стає рівним нулю, а отже, максимальна кількість кисню розчиняється по всій глибині рідини, що аерується.

Таким чином, гранична розчинність кисню в 1 л. води складає 0.19 ммоль. Весь інший кисень буде формуватися в бульбашки і спливати на поверхню. При цьому, нижні шари води будуть збагачені киснем більше ніж верхні. Для рівномірного розподілу кисню по всій рідині можна використовувати механічне перемішування, або ж створити зонування по вертикалі, яке призведе до створення нульового градієнта концентрації кисню і відповідно до рівномірного розподілу O_2 . Застосовуючи принцип Ле Шательє [11,12] ми можемо передбачити даний градієнт використовуючи співвідношення:

$$OTR = K_L \cdot a \cdot (C_{eq} - C),$$

де OTR – швидкість переносу кисню; K_L – коефіцієнт спротиву рідини до переносу газу в рідку фазу; a – відношення площини поверхні газової фази до об'єму рідкої фази; C_{eq} – градієнт концентрацій O_2 .

Висновки

1. Гіпотеза, яка була висловлена, про створення рівноважних умов розчинення кисню в аеротенках за рахунок сітчастих диспергаторів була підтверджена експериментально і отримала теоретичне обґрунтування.

2. Була запропонована методика, яка дозволяє оптимізувати енергоспоживання при використанні диспергатора на різних рівнях аеротенків.

3. Розроблено принципову схему диспергатора, яка може бути використана для вертикальних аераторів.

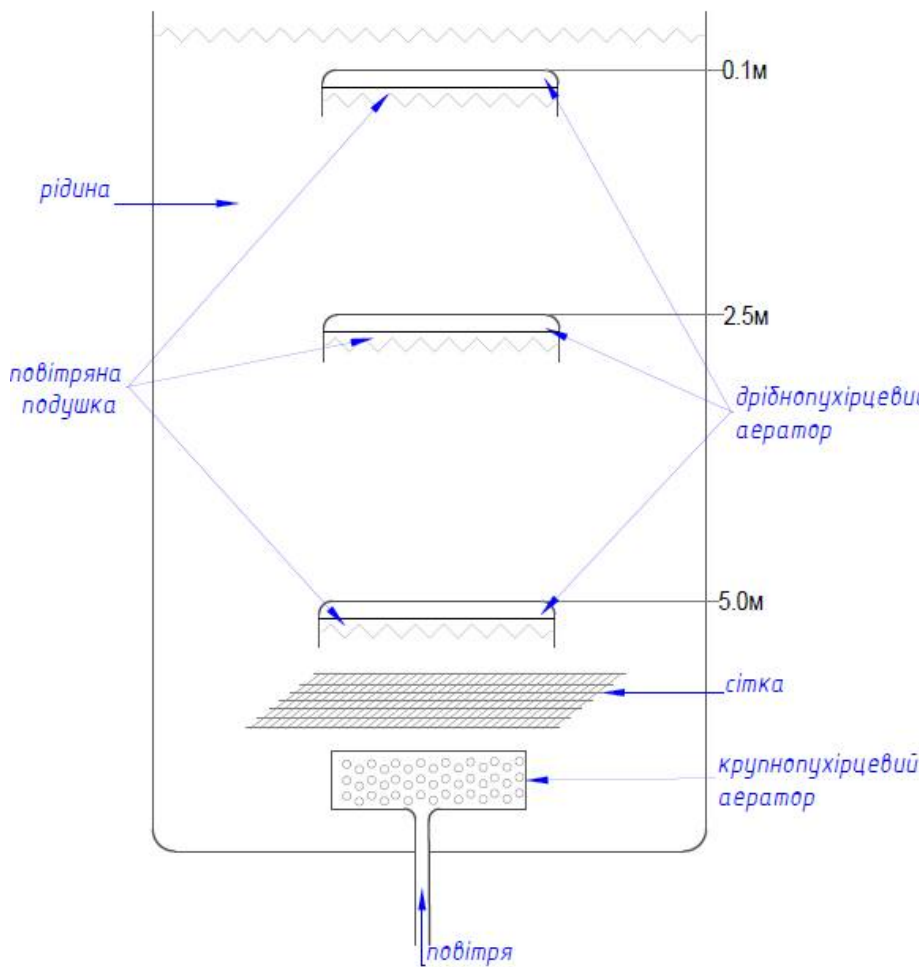


Рисунок 2 – Схема експерименту по визначенню інтенсивності пневматичної аерації від глибини занурення та типу аератора

Література

1. В.О. Бойко «Державне регулювання запровадження програм енергоефективності в Україні.» (2020).
2. Р.З. Подолець Доповідь ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України " за 2013 рік, "Проблеми та перспективи створення сприятливого клімату для підвищення енергоефективності та енергозбереження в Україні".
3. А.Н. Григорьева Оценка интенсивности массообмена и затрат энергии при пневмомеханической аэрации сточных вод // Передовые технологии в системах водоотведения населенных мест. – 2020. – С. 56–60.
4. T. Höhne, T. Mamedov CFD Simulation of Aeration and Mixing Processes in a Full-Scale Oxidation Ditch // Energies. – 2020. – Т. 13. – №. 7. – С. 1633.
5. Q. Zhang et al. (2014). Bioreactor consisting of pressurized aeration and dissolved air flotation for domestic wastewater treatment. Separation and Purification Technology, 138, 186–190.
6. F. Lefevre et al. Method for regulating aeration during waste water biological treatment : пат. 6527956США. – 2003.

7. S.V. Panno et al. Chemical and Bacterial Quality of Aeration-Type Waste Water Treatment System Discharge // *Groundwater Monitoring & Remediation*. – 2007. – Т. 27. – №. 2. – С. 71–76.
8. П.Д. Викулин, А.О. Фролова. "Факторы, влияющие на эффективность окислительных процессов в аэротенке." *Вестник МГСУ* 8 (2011).
9. L. Pauling, R.E. Wood, J.H. Sturdivant An Instrument for Determining the Partial Pressure of Oxygen in a Gas1 // *Journal of the American Chemical Society*. – 1946. – Т. 68. – №. 5. – С. 795–798.
10. R. Sander Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent // *Atmos. Chem. Phys.* – 2015. – Т. 15. – №. 8. – С. 4399–4981.
11. A. Maul "Rethinking traditional methods of survey validation." *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives* 15.2 (2017): 51–69.
12. Rhemtulla, et al. "Worse than measurement error: Consequences of inappropriate latent variable measurement models." *Psychological Methods* 25.1 (2020): 30.

Bibliography (transliterated)

1. V.O. Bojko «Derzhavne reguluvannya zaprovadzhennya programm energoefektivnosti v Ukraini.» (2020).
2. R.Z. Podolec' Dopovid' DU "Institut ekonomiki ta prognozuvannya NAN Ukraini" za 2013 rik, "Problemi ta perspektivi stvorennya spriyatlivogo klimatu dlya pidvishchennya energoefektivnosti ta energozberezhennya v Ukraini".
3. A.N. Grigor'eva Ocenka intensivnosti massoobmena i zatrat energii pri pnevmomekhanicheskoy aeracii stochnyh vod // *Peredovye tekhnologii v sistemah vodootvedeniya naseleennyh mest.* – 2020. – P. 56–60.
4. T. Höhne, T. Mamedov CFD Simulation of Aeration and Mixing Processes in a Full-Scale Oxidation Ditch // *Energies.* – 2020. – Т. 13. – №. 7. – P. 1633.
5. Q. Zhang et al. (2014). Bioreactor consisting of pressurized aeration and dissolved air flotation for domestic wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 138, 186–190.
6. F. Lefevre et al. Method for regulating aeration during waste water biological treatment : pat. 6527956SSHA. – 2003.
7. S.V. Panno et al. Chemical and Bacterial Quality of Aeration - Type Waste Water Treatment System Discharge // *Groundwater Monitoring & Remediation*. – 2007. – Т. 27. – №. 2. – P. 71–76.
8. P.D. Vikulin, A.O. Frolova. "Faktory, vliyayushchie na effektivnost' okislitel'nyh processov v aerotenke." *Vestnik MGSU* 8 (2011).
9. L. Pauling, R.E. Wood, J.H. Sturdivant An Instrument for Determining the Partial Pressure of Oxygen in a Gas1 // *Journal of the American Chemical Society*. – 1946. – Т. 68. – №. 5. – P. 795–798.
10. R. Sander Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent // *Atmos. Chem. Phys.* – 2015. – Т. 15. – №. 8. – P. 4399–4981.
11. A. Maul "Rethinking traditional methods of survey validation." *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives* 15.2 (2017): 51–69.
12. Rhemtulla, et al. "Worse than measurement error: Consequences of inappropriate latent variable measurement models." *Psychological Methods* 25.1 (2020): 30.

УДК: 602

Миць М.Г., Білошенко К.С., Божков А.І.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ АЕРАЦІЇ ПІД ЧАС БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Розглянуто принцип дрібнопухирцевої аерації. Експериментально доведено переваги дрібнопухирцевих аераторів перед крупнопухирцевими незалежно від глибини занурення. Вказано, що удосконалення аераційного устаткування може бути зроблено завдяки використанню мілкодисперсної сітки, що встановлюється на різній глибині аеротенку. Вказані гіпотези знайшли підтвердження у експериментах на модельному устаткуванні аеротенка. Теоретичне обґрунтування експериментальних даних надано з урахуванням закону Генрі і принципу Ле Шательє. Вказана методика надає можливість в більш економічному використанні енергоресурсу та інтенсифікує аераційний процес. Метою даної роботи є експериментальна апробація та встановлення найбільш ефективного методу аерації, вдосконалення конструкції аераторів, розробка техніки, яка зменшить енерговитрати процесу аерації стічних вод. Це актуально, тому що сьогодні наша країна має одну з найбільш енергоємних економік Європи. Висловлена гіпотеза про створення рівноважних умов для розчинення кисню в аераційних резервуарах за допомогою сігчастих диспергаторів, була підтверджена експериментально і отримала теоретичне обґрунтування. Запропоновано методику, яка дозволяє оптимізувати споживання енергії при використанні диспергатора на різних рівнях в аеротенках. Розроблена принципова схема диспергатора, який можна використовувати для вертикальних аераторів. Оскільки вертикальне розташування аераторів має значні експлуатаційні та технологічні переваги перед аераційними системами, які зараз експлуатуються на більшості очисних споруд, бо вони вмонтовані в донну частину аеротенків, і щоб виконувати ремонтні або профілактичні роботи, обслуговуючий персонал повинен повністю виводити з експлуатації та зневоднити аеротенк. Також, це дає додаткову можливість, щоб заощадити кошти, при проектуванні та будівництві нових аеротенків, тому що капітальні затрати на вертикальну установку аераторів значно менше ніж донне розташування.

Ключові слова: очистка, стічні води, пристрій, коефіцієнт використання кисню (КВК).

Миц Н.Г., Белошенко К.С., Божков А.И.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ АЭРАЦИИ ВО ВРЕМЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Рассмотрен принцип мелкопузырчатой аэрации. Экспериментально доказано преимущество мелкопузырчатых аэраторов перед крупнопузырьчатыми независимо от глубины погружения. Указано, что усовершенствование аэрационного оборудования может быть сделано благодаря использованию мелкодисперсной сетки, которая устанавливается на разной глубине аеротенка. Указанные гипотезы нашли подтверждение в экспериментах на модельном оборудовании аеротенка. Теоретическое обоснование экспериментальных данных предоставлено с учетом закона Генри и принципа Ле Шателье. Указанная методика позволяет более экономично использовать энергоресурс и интенсифицирует аэрационный процесс. Целью данной работы является экспериментальная апробация и установление наиболее эффективного метода аэрации, совершенство-

вание конструкции аэраторов, разработка техники, которая уменьшит энергозатраты процесса аэрации сточных вод. Это актуально, поскольку сегодня наша страна имеет одну из самых энергоемких экономик Европы. Высказанная гипотеза о создании равновесных условий для растворения кислорода в аэрационных резервуарах с помощью сетчатых диспергаторов, была подтверждена экспериментально и получила теоретическое обоснование. Предложена методика, которая позволяет оптимизировать потребление энергии при использовании диспергатора на разных уровнях в аэротенках. Разработана принципиальная схема диспергатора, который можно использовать для вертикальных аэраторов. Поскольку вертикальное расположение аэраторов имеет значительные эксплуатационные и технологические преимущества перед аэрационными системами, которые сейчас эксплуатируются на большинстве очистных сооружений, т.к. что они встроены в донную часть аэротенков и, чтобы выполнять ремонтные или профилактические работы, обслуживающий персонал должен полностью выводить из эксплуатации и обезводить аэротенк. Также, это дает дополнительную возможность, чтобы сэкономить средства, при проектировании и строительстве новых аэротенков, так как капитальные затраты на вертикальную установку аэраторов значительно меньше, чем донное расположение.

Ключевые слова: очистка, сточные воды, устройство, коэффициент использования кислорода (КИК)

Mits N., Beloshenko K., Bozhkov A.

INTENSIFICATION OF AERATION DURING BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

The principle of fine bubble aeration is considered. The advantage of small-bubble aerators over large-bubble aerators has been experimentally proven, regardless of the immersion depth. It is indicated that the improvement of the aeration equipment can be done through the use of a fine mesh, which is installed at different depths of the aerotank. These hypotheses were confirmed in experiments on the model equipment of the aerotank. The theoretical substantiation of the experimental data is provided taking into account Henry's law and Le Chatelier's principle. This technique allows for more economical use of energy resources and intensifies the aeration process. The purpose of this work is to experimentally test and establish the most effective aeration method, improve the design of aerators, and develop technology that will reduce the energy consumption of the wastewater aeration process. This is relevant because today our country has one of the most energy-intensive economies in Europe. The stated hypothesis about the creation of equilibrium conditions for the dissolution of oxygen in aeration tanks using mesh dispersers was experimentally confirmed and received theoretical justification. A technique is proposed that allows you to optimize energy consumption when using a dispersant at different levels in aeration tanks. A schematic diagram of a disperser has been developed, which can be used for vertical aerators. Since the vertical arrangement of aerators has significant operational and technological advantages over aeration systems that are now used at most treatment facilities, because that they are built into the bottom of the aeration tanks and, in order to carry out repair or maintenance work, the maintenance personnel must completely decommission and dehydrate the aeration tank. Also, this provides an additional opportunity to save money when designing and building new aeration tanks, since the capital costs for vertical installation of the aerators are much less than the bottom location.

Keywords: purification, waste water, device, oxygen utilization factor (KIK)

Шевченко К.В., Григоров А.Б., к. техн. н., доцент

ОТРИМАННЯ КОМПОНЕНТУ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ВТОРИННОГО ПОЛІПРОПІЛЕНУ

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

Ключові слова: компонент, термічна деструкція, поліпропілен, показник якості, інформативність, фракціонування, компаундування, сірка.

Вступ. Підвищення ефективності використання та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище відноситься до числа ключових питань при використанні котельного палива – мазуту. В останні роки споживання мазуту в Україні істотно знизилося при суттєвому зростанні (до 35 тис. т/рік) його експорту у Грецію, Туреччину тощо. Слід зауважити, що до мазуту, який експортується, висуваються більш жорсткі обмеження ніж для мазуту, який виробляється у відповідності до [1] і поставляється на внутрішній ринок України. Ці обмеження стосуються, насамперед, мінімізації вмісту сірки у паливі [2, 3].

Сучасні тенденції, які намітилися за останнє десятиріччя у вітчизняній нафтопереробній промисловості такі, що в Україні практично відсутня якісна нафтова сировина для виробництва мазуту, що, у свою чергу, зумовлює низьку, а у деяких випадках не відповідну до вимог [1] його якість. Отже, найперспективнішим шляхом у підвищенні рівня якості, зокрема поліпшення низькотемпературних властивостей та зменшення вмісту сірки мазуту як того, що експортується за кордон, так і того, що споживається в Україні, є додавання до нього певних компонентів, які можна отримати з наявної, дешевої сировини з високим потенціалом властивостей. У якості цієї сировини запропонуємо використовувати тверді побутові відходи (ТПВ), зокрема з поліпропілену (ПП).

Аналіз публікацій

В закордонній технічній літературі на сьогоднішній день представлено ряд робіт, присвячених термо-каталітичній деструктивній переробці ПП у моторні палива, зокрема газоподібні [4], бензин та дизель [5–9]. В роботі [10] з ПП шляхом термохімічної конверсії запропоновано отримувати водень та синтез газ. Відомий метод виробництва мазуту з муніципальних відходів пластмаси шляхом послідовного процесу піролізу та каталітичного риформінгу з використанням комерційних Y-цеоліт та природні цеолітові каталізatori. Результати показують, що типи сировини сильно впливають на вихід продукту та якість рідких та твердих продуктів. Наявність каталізатора знижує рідку фракцію і збільшує газоподібну фракцію. А тверда фракція мала вищу теплотворну здатність ніж біомаса та низькосортне вугілля [11].

Експериментальні дослідження.

Весь процес отримання компонентів котельних палив у лабораторних умовах можна представити у вигляді структурної схеми, що наведена на рис. 1.

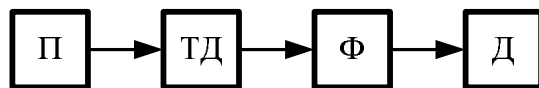


Рисунок 1 – Схема процесу отримання компонентів котельних палив: П – підготовка; ТД – термічна деструкція; Ф – фракціювання; Д – дослідження

За цією схемою першою стадією є підготовка сировини (П), яка включала у себе: подрібнення виробів з ПП, їх промивку та просушку. Далі підготовлена сировина загрузалась у апарат реакторного типу періодичної дії де, власне, при кінцевій температурі нагріву, рівній 395 °С та тиску 0,11 МПа, здійснювалася її термічна деструкція (ТД). На наступній стадії відбувалося фракціювання (Ф) продуктів термічної деструкції з отриманням компоненту з температурами википання від 160–240 °С до 360 °С. Завершальною стадією (Д) процесу отримання компонентів котельних палив було визначення фізико-хімічних показників якості та на базі отриманої інформації – прогнозування напрямку використання отриманого продукту.

Залежності температури початку кипіння компоненту ($t_{пк}$, °С) від густини при 20 °С (ρ^{20} , кг/м³), температури спалаху ($t_{сп}$, °С), температури застигання (t_3 , °С) та кінематичної в'язкості при 20 °С (ν^{20} , мм²/с) представлено на рис. 2, а рівняння регресії для цих залежностей наведено у табл. 1.

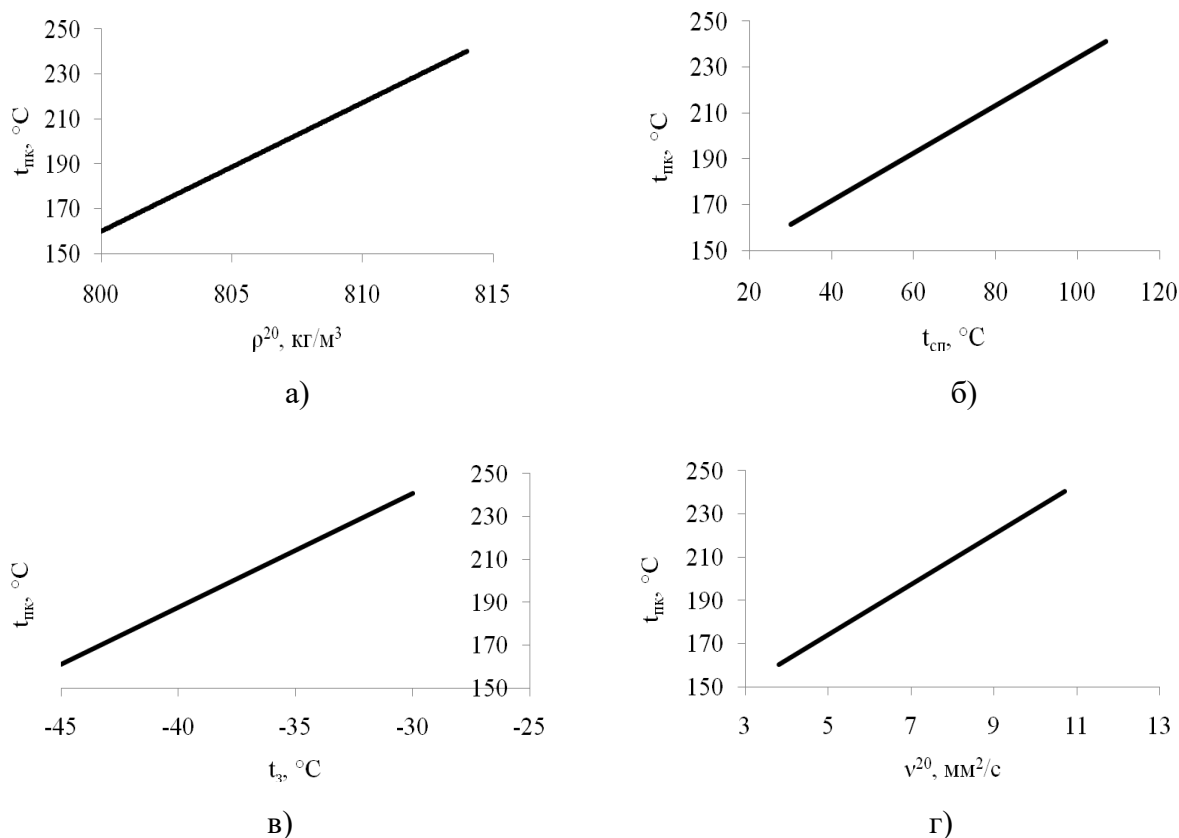


Рисунок 2 – Залежність $t_{пк}$ від показників якості компоненту котельного палива
 а) $t_{пк} = f(\rho^{20})$; б) $t_{пк} = f(t_{сп})$; в) $t_{пк} = f(t_3)$; г) $t_{пк} = f(\nu^{20})$

Представлені залежності свідчать про те, що зі збільшенням $t_{пк}$ компоненту на $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбувається збільшення його $t_{сп}$ на $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ та v^{20} на $6,91\text{ мм}^2/\text{с}$ з одночасним збільшенням величини t_3 на $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, що пов'язано з втратою компонентом легкокиплячих фракцій. При цьому також відбувається і зменшення масового виходу компоненту, що є досить негативним фактором при його промисловому виробництві, бо впливає на підвищення собівартості кінцевого продукту.

Таблиця 1 – Рівняння регресії для отриманих залежностей

№, п/п	Рівняння регресії	R ²
1.	$t_{пк} = 5,7143 \times \rho^{20} - 4411,4$	0,9834
2.	$t_{пк} = 1,0361 \times t_{сп} + 130,24$	0,9973
3.	$t_{пк} = 5,3254 \times t_3 + 400,59$	0,9985
4.	$t_{пк} = 11,575 \times v^{20} + 116,35$	0,9998

За отриманими результатами досліджень для кожного з наведених вище показників якості, розрахуємо коефіцієнт інформативності ($K_{інф}$), який дозволяє вибрати з усіх показників ті, що адекватно відображають зміну властивостей компоненту в залежності від величини $t_{пк}$, $^{\circ}\text{C}$ [12]:

$$K_{інф} = 1 - \frac{X_{\min}}{X_{\max}}, \quad (1)$$

де X_{\max} , X_{\min} – максимальне і мінімальне значення показника якості.

Результати розрахунку величини $K_{інф}$ (див. рис. 3) свідчать про високу інформативність таких показників як $t_{сп}$, v^{20} , t_3 та досить низьку для показника ρ^{20} .

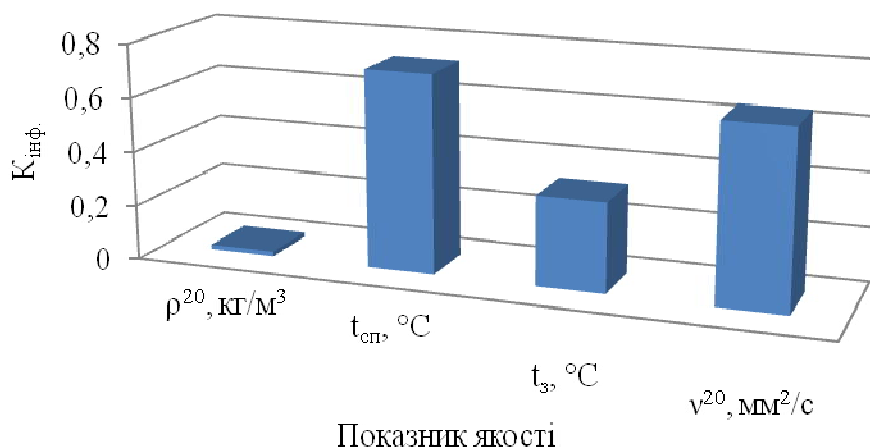


Рисунок 3 – Результати розрахунку величини $K_{інф}$

Зважаючи на це, для подальших досліджень властивостей як отриманого компоненту, так і його компаундів з товарним котельним паливом (мазутом), а також для встановлення раціональної концентрації компоненту у компаунді, слід використовувати показники з високою інформативністю, до яких відносяться $t_{сп}$, v^{20} , t_3 . Також, слід враховувати, що у отриманому компоненті відсутня сірка, що дає можливість отриман-

ня на його основі котельного палива з низьким вмістом сірки, яке сьогодні експортується за кордон.

Висновки. Проведені дослідження показали, що з вторинної полімерної поліпропіленової сировини, що має досить великі запаси на території України та є більш дешевою сировиною у порівнянні з нафтою, шляхом термічної деструкції можна отримати рідкий продукт/компонент, який за визначеними фізико-хімічними показниками можна використовувати для поліпшення властивостей товарного котельного палива, або у некондиційному паливі для його відповідності вимогам нормативно-технічної документації: ДСТУ, ТУ.

Варіюючи температуру початку кипіння цього компоненту, можна досягти певного співвідношення між кінематичною в'язкістю, температурами спалаху та застигання, що дозволить розробити раціональний склад високоякісного котельного палива.

Компаундування котельного палива з отриманим компонентом дозволить отримати продукт з поліпшеними низькотемпературними властивостями та більш низьким вмістом сірки, ніж у вихідного котельного палива, що дозволить підвищити його конкурентоспроможність, відповідати сучасним світовим тенденціям у сфері виробництва котельного палива та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, який пов'язаний з його використанням.

Література

1. ДСТУ 4058-2001 Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови. / Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА» (УкрНДІНП «МАСМА»). Дата початку дії 01.11.2015. – 10 с.
2. Global Sulfur Regulations and Heating Oil Availability, Allegro Energy Consulting, presented on August 23, 2004.
3. ISO/PAS 23263:2019 Petroleum products – Fuels (class F) – Considerations for fuel suppliers and users regarding marine fuel quality in view of the implementation of maximum 0,50 % sulfur in 2020. Reference number ISO/PAS 23263:2019(E). – 2019. – 14p.
4. Utilization of polymer wastes as transport fuel resources a recent development /M.A. Hazrat et al. // Energy Procedia 61 (2014) 1681 – 1685.
5. Al-Salem S.M. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review/ S.M. Al-Salem, P. Lettieri P, J. Baeyens // Waste Management. – 2009. – №29. – pp. 2625-43.
6. Gasoline and Diesel-like fuel production by continuous catalytic pyrolysis of waste polyethylene and polypropylene mixtures over USY zeolite / Chantal Kassargy et al. // Fuel – 2018. – № 224. – pp.764–773.
7. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – pp. 694–700.
8. Sarker M. Alternative diesel grade fuel transformed from polypropylene (pp) municipal waste plastic using thermal cracking with fractional column distillation / M. Sarker, M. M. Mamunor, M. Sadikur Rahman, M. Molla // Energy and power engineering. – 2012. – vol. 4. – pp. 165–172.
9. Brajendra K. Sharma. Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags / B.K. Sharma, B.R. Moserb, K.E.

Vermillionb, Kenneth M.Dollb, Nandakishore Rajagopalan.// Fuel Processing Technology. – 2014. – Volume 122. – pp. 79–90.

10. Sharmina Begum An investigation on thermo chemical conversions of solid waste for energy recovery / S. Begum, M.G. Rasul, D. Akbar // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2012. – №62. – pp. 624–30.

11. Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors /M. Syamsiro et al. // Energy Procedia. – 2014. – Volume 47. – pp. 180–188.

12. Сосновский Л.А. К унификации типовых распределений случайных величин / Л.А. Сосновский, Д.Н.Шевченко // Теория вероятностей, случайные процессы, математическая статистика и приложения: материалы международной научной конф., 15–19 сент. 2008 г., г. Минск, 2008. – С. 321–325.

Bibliography (transliterated)

1. DSTU 4058-2001 Palivo naftove. Mazut. Tekhnichni umovi. / Ukraïns'kij naukovо-doslidnij institut naftopererobnoï promislovosti «MASMA» (UkrNDINP «MASMA»). Data pochatku diï 01.11.2015. – 10 p.

2. Global Sulfur Regulations and Heating Oil Availability, Allegro Energy Consulting, presented on August 23, 2004.

3. ISO/PAS 23263:2019 Petroleum products – Fuels (class F) – Considerations for fuel suppliers and users regarding marine fuel quality in view of the implementation of maximum 0,50 % sulfur in 2020. Reference number ISO/PAS 23263:2019(E). – 2019. – 14 p.

4. Utilization of polymer wastes as transport fuel resources a recent development /M.A. Hazrat et al. // Energy Procedia 61 (2014) 1681 – 1685.

5. Al-Salem S.M. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review/ S.M. Al-Salem, P. Lettieri P, J. Baeyens // Waste Management. – 2009. – №29. – pp. 2625-43.

6. Gasoline and Diesel-like fuel production by continuous catalytic pyrolysis of waste polyethylene and polypropylene mixtures over USY zeolite / Chantal Kassargy et al. // Fuel – 2018. – № 224. – pp.764–773.

7. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – pp. 694–700.

8. Sarker M. Alternative diesel grade fuel transformed from polypropylene (pp) municipal waste plastic using thermal cracking with fractional column distillation / M. Sarker, M. M. Mamunor, M. Sadikur Rahman, M. Molla // Energy and power engineering. – 2012. – vol. 4. – pp. 165–172.

9. Brajendra K. Sharma. Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags / B.K. Sharma, B.R. Moserb, K.E. Vermillionb, Kenneth M.Dollb, Nandakishore Rajagopalan.// Fuel Processing Technology. – 2014. - Volume 122. – pp. 79–90.

10. Sharmina Begum An investigation on thermo chemical conversions of solid waste for energy recovery / S. Begum, M.G. Rasul, D. Akbar // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2012. – №62. – pp. 624–30.

11. Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors /M. Syamsiro et al. // Energy Procedia. – 2014. – Volume 47. – pp. 180–188.

12. Sosnovskij L.A. К унификации типовых распределений случайных величин / L.A. Sosnovskij, D.N.Shevchenko // Teoriya veroyatnostej, sluchajnye processy, matematicheskaya statistika i prilozheniya: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konf., 15–19 sent. 2008 g., g. Minsk, 2008. – P. 321–325.

УДК 662.7

Шевченко К.В., Григоров А.Б.

ОТРИМАННЯ КОМПОНЕНТУ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ВТОРИННОГО ПОЛІПРОПІЛЕНУ

В статті запропоновано підвищувати рівень властивостей котельного палива – мазуту шляхом його компаундування з продуктом, який отримано при термічній деструкції вторинних поліпропіленових матеріалів. Термічна деструкція поліпропіленової сировини здійснювалася у лабораторних умовах, у апараті реакторного типу при кінцевій температурі деструкції 395 °С та тиску 0,11 МПа, при цьому, був отриманий продукт/компонент з температурами википання від 160–240 °С до 360 °С. Дослідження фізико-хімічних показників цього продукту/компоненту показали, що він має поліпшенні низькотемпературні властивості, високу температуру спалаху та характеризується відсутністю сірки. Встановлено, що зі збільшенням температури кипіння продукту/компоненту спостерігається збільшення його в'язкості, температури спалаху та температури застигання, що пов'язано з видаленням з нього легкокиплячих фракцій. Збільшення температури початку кипіння компонента призводить до зменшення його масового виходу, що, у остаточному підсумку, також впливає і на підвищення його собівартості. Значення коефіцієнтів інформативності, розрахованих для показників якості, які використовувались при визначенні якості продукту/компоненту, показали, що найбільш інформативними показниками, використання яких є доцільним при подальших дослідженнях у цьому напрямку, є кінематична в'язкість, температура спалаху та застигання.

Отриманий продукт/компонент можна використовувати або для поліпшення властивостей (низькотемпературних властивостей, зниження сірки) товарного котельного палива, або для доведення некондиційного палива до вимог ДСТУ та ТУ.

Ключові слова: компонент, термічна деструкція, поліпропілен, показник якості, інформативність, фракціонування, компаундування, сірка.

Шевченко К.В., Григоров А.Б.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТА КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

В статье предложено повышать уровень свойств котельного топлива - мазута путем его компаундирования с продуктом, который получен при термической деструкции вторичных полипропиленовых материалов. Термическая деструкция полипропиленового сырья осуществлялась в лабораторных условиях, в аппарате реакторного типа

при конечной температуре деструкции 395 °С и давлении 0,11 МПа, при этом был получен продукт / компонент с температурами выкипания от 160-240 °С до 360 °С. Исследование физико-химических показателей этого продукта / компонента показали, что он характеризуется улучшенными низкотемпературными свойствами, высокой температурой вспышки и отсутствием серы. Установлено, что с увеличением температуры кипения продукта / компонента наблюдается увеличение его вязкости, температуры вспышки и температуры застывания, что связано с удалением из него легкокипящих фракций. Увеличение температуры начала кипения компонента приводит к уменьшению его массового выхода, что, в конечном итоге, также влияет и на повышение его себестоимости. Значение коэффициентов информативности, рассчитанные для показателей качества, которые использовались при определении качества продукта / компонента, показали, что наиболее информативными показателями, использование которых целесообразно при дальнейших исследованиях в этом направлении – это кинематическая вязкость, температура вспышки и застывания.

Полученный продукт / компонент можно использовать или для улучшения свойств (низкотемпературных свойств, снижение серы) товарного котельного топлива, или для доведения некондиционного топлива до требований ГОСТ и ТУ.

Ключевые слова: компонент, термическая деструкция, полипропилен, показатель качества, информативность, фракционирование, компаундирование, сера.

Chevchenko K.V., Grigorov A.B.

OBTAINING A BOILER FUEL COMPONENT FROM THE SECONDARY POLYPROPYLENE

The article proposes to increase the level of properties of boiler fuel - fuel oil, by its compounding with the product obtained by thermal destruction of secondary polypropylene materials. Thermal destruction of polypropylene raw materials was carried out in the laboratory, in a reactor-type apparatus at a final destruction temperature of 395 °C and a pressure of 0,11 MPa, thus obtaining a product / component with boiling points from 160–240 °C to 360 °C. Studies of the physicochemical parameters of this product / component have shown that it has improved low temperature properties, high flash point and characterized by the absence of sulfur. It has been found that as the boiling point of a product / component increases, its viscosity, flash point and pour point increases due to the removal of low-boiling fractions. Increasing the boiling point of the component leads to a decreasing in its mass yield, which, ultimately, also affects the increasing of its cost. The values of the informative factor calculated for the quality indicators used in determining the quality of the product / component showed that the most informative indicators, the use of which is appropriate in further research in this direction are kinematic viscosity, flash point and solidification.

The obtained product / component can be used either to improve the properties (low temperature properties, sulfur reduction) of commercial boiler fuel, or to bring substandard fuel to the requirements of DSTU and TU.

Key words: component, thermal destruction, polypropylene, quality indicator, informativeness, fractionation, compounding, sulfur.

Зінченко М.Г., к. техн. н., професор, Філенко О.М., к. техн. н., доцент

ЕКОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ ЯК ФАКТОР ДОСЯГНЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Ключові слова: екологічні інновації, «зелена» економіка, екологічна політика, найкращі існуючі технології, сталий розвиток.

Вступ. Сьогодні стає все більш очевидним, що якість життя людства багато в чому залежить від стану навколишнього середовища. За останні десятиліття відносини між суспільством і середовищем існування поступово загострювалися, перетворюючись в реальну загрозу глобальної екологічної катастрофи. Для запобігання глобальних і локальних екологічних криз необхідна зміна техногенного типу розвитку економіки на стійкий. Останнім часом в наукових і політичних колах активно просувається концепція розвитку «зеленої» економіки. Одним з ключових інструментів «зеленої» економіки є екологічні інновації [1].

Термін «екоінновації» в сучасній науковій літературі з'явився порівняно недавно, в 1996 р. Вперше американський вчений П. Джеймс позначив екоінновації як «нові продукти і процеси, які забезпечують бізнес-інтереси підприємств, але значно знижують вплив на навколишнє середовище» [2]. Пізніше з'явилося таке визначення: екоінновації – це інновації, які ведуть до екологічно ефективних технологій. У цьому визначенні під ефективними екотехнологіями розуміються всі технології, які прямо або побічно поліпшують стан навколишнього середовища. Більшість таких інновацій носять технологічний характер і спрямовані на створення нового покоління екологічно чистих, енергозберігаючих і безвідходних технологій, засобів моніторингу за станом навколишнього середовища. Інші носять економіко-правовий (прийняття екологічних законів і жорстких стандартів допустимого рівня викидів в навколишнє середовище, введення штрафних платежів за ці викиди), геополітичний (міжнародні угоди про заборону випробувань ядерної зброї, про скорочення під міжнародним контролем найбільш смертоносних видів ядерної, біологічної, хімічного зброї) характеру, а також до цієї групи належать інновації, які відносяться до екологізації освітньої галузі та суспільної моралі [3].

Викладення основного матеріалу. Основи сучасної екологічної політики країн Європейського союзу були закладені на саміті в березні 2007 року, коли глави 27 держав прийняли єдині зобов'язання в галузі енергетики та екології. З метою концентрації уваги урядів і суспільства на глобальні екологічні проблеми та впровадження екологічно безпечних технологій з ініціативи країн – світових лідерів були підписані найважливіші міжнародні договори, угоди, конвенції. На національному рівні багато країн світу прийняли рішення про довгострокове зниження викидів і розвитку нових екологічних технологій.

Аналіз ефективності державної екологічної політики країн світу проводиться Центром екологічної політики і права при Єльському університеті [4]. Рейтинг складається раз на два роки для 180 країн і розраховується на основі 22 показників, включаю-

чи стан навколишнього середовища, збереження біологічного різноманіття, оцінку здоров'я населення. Світовим лідером з екологічної ефективності в 2018 році була Фінляндія з індексом 90,68. У п'ятірку лідерів увійшли: Ісландія, Швеція, Данія, Словенія; замикає рейтинг Сомалі (27,66). Україна займає 44 позицію з індексом 79,69.

Практична мета даного рейтингу полягає у виявленні слабких і сильних сторін екологічної політики кожної країни. В Україні в період 2000–2019 рр. був проведений аналіз інноваційної діяльності промислових підприємств [5]. Встановлено, що кількість підприємств, що впроваджували інновації (продукцію та / або технологічні процеси), не перевищує 16,6 %; при цьому джерела фінансування інноваційної діяльності на 70–94 % – це власні кошти підприємств; кошти державного бюджету складають не більше 5 % (в середньому це 1,9), а обсяги витрат інвесторів складає менше 20 %. Як видно, великий бізнес в Україні є одним з найбільш незацікавлених учасників інноваційних процесів. За кордоном зворотна ситуація: частка витрат корпорацій на НДР (наукові дослідження і розробки) перевищує 65 %, а в середньому по країнах ЄС наближається до 70 %. Недолік інвестиційних ресурсів призводить до проблем у здійсненні заходів щодо охорони навколишнього середовища. Власники промислових підприємств сприймають екологічні інновації як економічно не вигідні технології, на які потрібні істотні фінансові вкладення [6].

Пасивність великого бізнесу в інноваційних процесах пояснюється також тим, що в Україні відсутні механізми стимулювання, які б підштовхували компанії до впровадження природоохоронних інноваційних технологій. В діючому екологічному законодавстві зазначена можливість «надання підприємствам, установам і організаціям податкових, кредитних та інших пільг при впровадженні ними маловідхідних, енерго- і ресурсозберігаючих технологій та нетрадиційних видів енергії, здійсненні інших ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища» [7]. Однак застосування подібних стимулюючих заходів вимагає від законодавців внесення змін до податкового, бюджетного, банківського, інвестиційного та інших законодавств, але активних дій в цьому напрямку практично немає.

Сучасний стан інноваційної діяльності є наслідком відсутності стратегічного бачення та послідовної державної політики щодо переведення України на інноваційний шлях розвитку, формування національної інноваційної екосистеми, яка забезпечувала б його реалізацію і підвищувала розвиток інноваційної культури в державі. Наявні в Україні структурні елементи національної інноваційної екосистеми та нормативно-правове поле їх функціонування не вибудовані в єдину конструкцію, тому результати діяльності цих елементів поодинокі та не мають синергетичного ефекту [8].

На сьогоднішній день першочерговим завданням в застосуванні екологічних інновацій є адаптація в Україні найкращих існуючих технологій (НСТ), які успішно себе зарекомендували на європейських виробництвах. НСТ – це технології, засновані на останніх досягненнях науки і техніки, спрямовані на зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Сенс застосування НСТ полягає в тому, що виробник орієнтується не на показники гранично допустимих викидів шкідливих речовин, а на показники, які досягаються із застосуванням найкращої існуючої технології. Якщо на підприємстві використовується технологія, при якій викиди більше, ніж при НСТ, то доведеться більше платити або міняти технологію [2].

Для отримання більш високих економічних і екологічних показників, підприємствам рекомендується застосовувати стратегію екологічно більш чистого виробництва (БЧВ). Вперше дана стратегія з'явилася в 1980-х рр. в США. Головним її завданням є створення комплексних заходів щодо зниження забруднення навколишнього середо-

вища конкретним підприємством. При цьому скорочення шкідливого впливу має відбуватися не у вигляді разових локальних заходів, а протягом усього життєвого циклу продукції, що виробляється [9]. Це можливо тільки в умовах постійного поетапного переоснащення всього виробництва з метою зниження шкідливих викидів, а також за умови більш ефективного використання природних ресурсів.

Важливе значення для впровадження на підприємстві екологічних інновацій має їх інвестування, оскільки на підприємствах часто не вистачає наявних коштів для їх впровадження. У зв'язку з цим рекомендується поетапне впровадження стратегії БЧВ. Рекомендовані етапи представлені в таблиці 1 [10].

Таблиця 1 – Етапи впровадження стратегії БЧВ

Етап 1	Екологічний моніторинг
Етап 2	Врахування екологічних операцій
Етап 3	Вибір найкращих існуючих технологій
Етап 4	Оцінка виробничих процесів і їх модифікація
Етап 5	Оцінка стану обладнання та його модернізація
Етап 6	Оцінка можливості вторинного використання сировини

Перший етап передбачає проведення екологічного моніторингу. Як відомо, будь-яка екологічна стратегія є частиною загальної стратегії розвитку підприємства. Тому при прийнятті рішення про вибір стратегії БЧВ на першому етапі необхідно оцінити загальний стан підприємства, як з позиції його економічного стану, так і з позиції його впливу на навколишнє середовище. Екологічний моніторинг дозволить виявити найбільш серйозні проблеми, оцінити можливість їх виправлення.

Другий етап дозволить провести облік матеріальних потоків, виявити наявність токсичних матеріалів, виявити місця і способи зберігання сировини і відходів і т.п. Цей етап включає в себе також оцінку потенційного впливу викидів (скидів) підприємства на стан навколишнього природного середовища з урахуванням зовнішніх факторів. Для цього розраховується концентрація шкідливих речовин на близько розташованій до джерела забруднення території з урахуванням рельєфу місцевості, наявності лісосмуги, близького місцезнаходження сусідніх підприємств, найбільш типовою рози вітрів і т.п.

На **третьому етапі** необхідно оцінити, наскільки вживані технології на підприємстві відповідають міжнародним стандартам і якщо для даного виробництва є більш сучасні і екологічні технології, то оцінити можливість їх використання. Рекомендується провести дослідження по застосовуваних технологій в даній галузі як всередині країни, так і за її межами.

На **четвертому етапі** пропонується проведення оцінки використовуваного сировини з позиції можливості його оптимізації, заміни на менш токсична і більш екологічне.

П'ятий етап передбачає на підставі раніше проведених досліджень оцінити стан використовуваного обладнання і по можливості зробити його модернізацію або заміну з метою переходу на найкращі існуючі технології, що дозволяють використовувати більш екологічну сировину з меншою кількістю відходів.

Шостий етап передбачає введення оборотних систем прямої рециркуляції, вторинна переробка сировини і т.д.

Введення запропонованої поетапної стратегії БЧВ дозволить знизити витрати підприємства, підвищити ефективність технологічних процесів, поліпшити екологічні показники і підвищити рейтинг підприємства.

Екологічні інновації розглядаються як важливий засіб у вирішенні екологічних проблем не тільки окремих підприємств, але і цілих країн. Екологічні проблеми перешкоджають глобальному економічному розвитку і нормальній життєдіяльності суспільства, що проявляється в погіршенні здоров'я людей (За даними ВООЗ, у формуванні здоров'я людей частка забруднення навколишнього середовища становить до 20 %; при цьому 10 % всіх смертей відбуваються через забруднення повітря і 2 % – через антисанітарію питної води) збільшенні витрат на охорону навколишнього середовища, в конкуренції, що загострюється в боротьбі за природні ресурси (в тому числі у вигляді збройних конфліктів) [11].

При цьому виділяється ряд країн, які зуміли піти по шляху сталого розвитку та успішно поєднувати та зберегти темпи економічного зростання і високий рівень життя населення з мінімальним навантаженням на навколишнє середовище. Лідерами по використанню екоінновацій і «зелених» технологій в усіх галузях економіки є Швеція, Південна Корея, Японія, Німеччина, Фінляндія.

До традиційних екоінновацій відносять природоохоронні технології, які включають утилізацію твердих відходів, вторинних ресурсів, рекультивацію земель, водочистку і збереження якості повітря. На їх частку припадає до 80 % всіх екологічних інновацій [12]. У той же час активно розвиваються нові сектори світового екологічного ринку, такі як екологічний туризм, органічне землеробство або екологічне домобудівництво, яке має на увазі використання екологічно чистих будівельних матеріалів та енергозберігаючих технологій.

Приклади основних галузей, які активно використовують екоінновації і відносяться до сектору чистих технологій, показані в таблиці 2 [13].

Як показує світовий досвід, екоінновації успішно впроваджуються в державах з привабливим інноваційним та інвестиційним кліматом, тому для того, щоб зелені технології «прижилися» в країні необхідна наявність розвиненої інноваційної інфраструктури (технопарків, бізнес-інкубаторів, венчурних компаній), системи захисту інтелектуальної власності, вільної конкуренції і відкритості ринку для інвестицій. Однак крім зусиль держави, важливу роль в інноваційному розвитку суспільства має відігравати приватний сектор і населення, які усвідомлюють значущість екоінновацій, свою відповідальність за захист навколишнього середовища, позитивно сприймають зелені технології і готові до їх активного впровадження.

В Україні виконано аналіз готовності різних груп споживачів (у соціальному і статевому розрізах) переходити до споживання екологічних інноваційних товарів, які можуть мати ціну покупки більшу ніж у звичайною продукції, проте нижчі експлуатаційні витрати, а також нижчі, пов'язані зі споживанням та утилізацією, побічні витрати. Наприклад, менші витрати на підтримання здоров'я при споживанні екологічних продуктів харчування чи використання екологічного одягу, який не спричиняє алергії, тощо.

Результати аналізу свідчать про те, що найбільш значимими для споживачів є екологічні характеристики продуктів харчування, далі – посуду і засобів його чищення, що є цілком природним, а найменш значимими – ці показники для транспортних послуг. Проведені дослідження показали, що ідеї стійкого еколого-соціо-економічного розвитку, нехай навіть на побутовому рівні, є зрозумілими і прийнятими більшістю

населення України. і ми, у цьому сенсі, не відрізняємося від інших цивілізованих країн Європи і світу. [6].

Таблиця 2 – Основні галузі, що використовують екоінновації

№ п/п	Галузі екоінновацій	Приклади екоінновацій
1	Управління природними ресурсами відходами	Інновації в області зниження споживання вихідних і природних ресурсів
2	Поновлювані енергетика, енергоефективні рішення і розумні мережі	Використання «розумних» ресурсозберігаючих технологій, що призводять до великої економічної ефективності («E-streets» – технологія, повністю висвітлює міста Європи) Альтернативні джерела енергозабезпечення, що відрізняються своєю ефективністю, мінімальним обслуговуванням і оптимальною ціною (HCPV-системи)
3	Промисловість	Трансформація одного продукту в інший (перетворення використаного пластика в новий будівельний матеріал, що відрізняється своєю міцністю – AXION)
4	Містобудування	Екологічне містобудування, технології зводять до мінімуму викид забруднюючих речовин в масштабах міста (наприклад повністю автономне місто Масдар, ОАЕ)
5	Зелене будівництво	Зелене будівництво (green building) – це підхід до проектування, будівництва і експлуатації будівель, що містить ряд рішень, заходів, матеріалів і устаткування, націлених на енерго- і ресурсоефективність («Гіперкуб» в НЦ «Сколково» (LEED), Бізнес-центр «Японський будинок»(BREEAM In-Use)).
6	Альтернативний транспорт і логістика	Альтернативний транспорт – це транспортні засоби, що працюють на екологічному і дешевому паливі, наприклад, на електриці (електроскутер, електровело-сипед) газохол (суміш спирту і бензину), біопаливі

Висновки. Підводячи підсумки, слід зазначити, що в Україні не вирішено цілий ряд питань, які гальмують просування країни до "зеленої" економіки: як і раніше мала частка поновлюваних джерел енергії, не розвинена система переробки твердих побутових відходів, досить високим залишається рівень забруднення повітря у великих містах, бізнес не виявляє належної зацікавленості в розвитку екоінновацій. Однак в цілому країна демонструє позитивну динаміку в галузі розвитку екологічних інновацій. Підтвердженням може служити досить високе місце України в рейтингу екологічної ефективності. Останнім часом в країні приділяється більше уваги вирішенню екологічних проблем, проводяться заходи, покликані повернути громадян і бізнес до охорони навколишнього середовища і слідуванню принципам сталого розвитку. Прикладом може служити щорічна міжнародна виставка-форум «Екологія підприємства», що представляє собою майданчик для презентації екологічних технологій та обміну передовим досвідом по впровадженню «зелених» інновацій у виробництво.

Реалізація екологічно-орієнтованої інноваційної діяльності промислових підприємств і бізнесу в Україні стане головною передумовою успішного руху в напрямку сталого розвитку суспільства.

Література

1. Прокопенков С.В. Экологизация промышленности: инновационный аспект // Наука и Экономика. 2011. № 2 (6). С. 45–48.
2. Fussler C., James P. Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability, Pitman Publishing: London. – 1996. – 364 p.
3. Яковец Ю.В. Эпохальные инновации XXI века. Междунар. ин-т П. Сорокина – Н. Кондратьева. – М.: ЗАО „Издательство „Экономика”, 2004. – 144 с.
4. Рейтинг стран мира по уровню экологической эффективности в 2016 г. // Центр гуманитарных технологий [сайт]. – URL: <http://gtmarket.ru/news/2016/01/29/7292>.
5. Статистична інформація https://ukrstat.org/uk/operativ/oper_new.html.
6. Маркетингові засади впровадження екологічних інновацій /монографія/ Ілляшенко С.М.; Сумський державний університет – Суми : ТОВ «Друкарський дім «Папірус», 2013. – 184 с.
7. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. № 1264-ХІІ у редакції від 01.02.2017.
8. Стратегія розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року, Урядовий кур'єр від 30.07.2019 – № 14.
9. James P. The Sustainability Circle: a new tool for product development and design', Journal of Sustainable Product Design 2; 52 – 57. 1997.
10. Косякова И.В., Капмар В.В. экологические инновации на промышленных предприятиях как фактор достижения сбалансированного развития общества // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 9-2. – С. 455–459.
11. Сергеев С. Загрязнение воздуха – одна из главных причин преждевременной смертности // MAXPARK [сайт]. – URL :<http://maxpark.com/community/5652/content/5301300>.
12. Усманова Т.Х., Хасанова А.И., Хайруллина Л.И. Инновационные технологии для решения экологических проблем в мировом сообществе // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2017. – № 1 (29). – Т. 8. – С. 115–121.
13. <https://viafuture.ru/katalog-idej/ekologicheskie-innovatsii>.

Bibliography (transliterated)

1. Prokopenkov S.V. Ekologizatsiya promyshlennosti: innovatsionnyy aspekt // Nauka i Ekonomika. 2011. № 2 (6). p. 45–48.
2. Fussler C., James P. Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability, Pitman Publishing: London. – 1996. – 364 p.
3. Yakovets Yu.V. Epokhalnyye innovatsii XXI veka. Mezhdunar. in-t P. Sorokina – N. Kondratyeva. – M.: ZAO „Izdatelstvo „Ekonomika”. 2004. – 144 p.
4. Reyting stran mira po urovnyu ekologicheskoy effektivnosti v 2016 g. // Tsentr gumanitarnykh tekhnologiy [sayt]. – URL: <http://gtmarket.ru/news/2016/01/29/7292>.

5. Statistichna informatsiya https://ukrstat.org/uk/operativ/oper_new.html.
6. Marketingovi zasady vprovadzhennya ekologichnikh innovatsiy /monografiya/ Ilyashenko S.M.; Sumskiy derzhavniy universitet – Sumi : TOV «Drukarskiy dim «Papyrus», 2013.– 184 p.
7. Zakon Ukraïni «Pro okhoronu navkolishnogo prirodnogo seredovishcha» vid 25.06.1991p № 1264–XII u redaktsii vid 01.02.2017.
8. Strategiya rozvitku sferi innovatsiynoï diyalnosti na period do 2030 roku. Uryadoviy kur'er vid 30.07.2019 – № 14.
9. James P. The Sustainability Circle: a new tool for product development and design', Journal of Sustainable Product Design 2; 52–57. 1997.
10. Kosyakova I.V.. Kapmar V.V. ekologicheskiye innovatsii na promyshlennykh predpriyatiyakh kak faktor dostizheniya sbalansirovannogo razvitiya obshchestva // Fundamentalnyye issledovaniya. – 2017. – № 9-2. – p. 455–459.
11. Sergeev S. Zagryazneniye vozdukha – odna iz glavnykh prichin prezhdevremennoy smertnosti // MAXPARK [сайт]. – URL: <http://maxpark.com/community/5652/content/5301300>.
12. Usmanova T.Kh.. Khasanova A.I.. Khayrullina L.I. Innovatsionnyye tekhnologii dlya resheniya ekologicheskikh problem v mirovom soobshchestve // MIR (Modernizatsiya. In- novatsii. Razvitiye) . – 2017. – № 1 (29). – Т. 8. – p. 115–121.
13. <https://viafuture.ru/katalog-idej/ekologicheskie-innovatsii>.

УДК 504.330.338

Зінченко М.Г., Філенко О.М.

ЕКОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ ЯК ФАКТОР ДОСЯГНЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

Інновації в екології – нагальна потреба перед обличчям потенційної екологічної катастрофи глобального масштабу. Розвиток економіки по техногенному типу, в тому числі в Україні, призвів до руйнування природних балансів і погіршення відносин між людиною і його середовищем проживання. Для запобігання глобальних і локальних екологічних криз необхідна зміна техногенного типу розвитку економіки на стійкий. Такий підхід немислимий без використання наукомістких інноваційних технологій екологічного характеру.

Стаття присвячена дослідженню екологічних інновацій, як передумови переходу до нової моделі сталого розвитку. З цією метою проведено аналіз сутності поняття «екологічні інновації»; визначено, що екоінновації – це інновації, які ведуть до екологічно ефективних технологій, що прямо або побічно поліпшують стан навколишнього середовища. Обґрунтовано необхідність впровадження екологічних інновацій для вирішення еколого-економічних проблем підприємств. Позначено галузі світової економіки які активно використовують екоінновації. Охарактеризована ситуація в сфері розробки та застосування екологічних інновацій в нашій країні. В Україні питання екологічного переорієнтування в розвитку економіки особливо актуальні через очевидну неефективність використання природних ресурсів і низького ступеня енергозбереження.

У зв'язку з цим першочерговим завданням є застосування об'єктами, які негативно впливають на екологію, системи регулювання із застосуванням найкращих існуючих технологій. Для переходу України на інноваційний шлях розвитку запропоновані етапи впровадження стратегії більш чистого виробництва. На підставі вищесказаного зроблено висновок про те, що екологічно орієнтована інноваційна діяльність промислових підприємств і бізнесу в Україні забезпечить формування збалансованого розвитку як окремих підприємств, так і суспільства в цілому.

Ключові слова: екологічні інновації, «зелена» економіка, екологічна політика, найкращі існуючі технології, сталий розвиток.

Зинченко М.Г., Филенко О.Н.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ КАК ФАКТОР ДОСТИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

Инновации в экологии – насущная необходимость перед лицом потенциальной экологической катастрофы глобального масштаба. Развитие экономики по техногенному типу, в том числе в Украине, привело к разрушению природных балансов и ухудшению отношений между человеком и его средой обитания. Для предотвращения глобальных и локальных экологических кризисов необходимо изменение техногенного типа развития экономики на устойчивый. Такой подход немыслим без использования наукоёмких инновационных технологий экологического характера.

Статья посвящена исследованию экологических инноваций, как предпосылки перехода к новой модели устойчивого развития. С этой целью проведен анализ сущности понятия «экологические инновации»; определено, что экоинновации – это инновации, которые ведут к экологически эффективным технологиям, прямо или косвенно улучшающим состояние окружающей среды. Обоснована необходимость внедрения экологических инноваций для решения эколого-экономических проблем предприятий. Обозначены отрасли мировой экономики, активно использующие экоинновации. Охарактеризована ситуация в сфере разработки и использования экологических инноваций в нашей стране. В Украине вопросы экологического переориентирования в развитии экономики особенно актуальны из-за очевидной неэффективности использования природных ресурсов и низкой степени энергосбережения. В этой связи первоочередной задачей является применение об'єктами, негативно воздействующими на екологію, системи регулювання с применением наилучших существующих технологий. Для перехода Украины на инновационный путь развития предложены этапы внедрения стратегии более чистого производства. На основании вышесказанного сделан вывод о том, что экологически ориентированная инновационная деятельность промышленных предприятий и бизнеса в Украине обеспечит формирование сбалансированного развития как отдельных предприятий, так и общества в целом.

Ключевые слова: экологические инновации, «зеленая» экономика, экологическая политика, наилучшие существующие технологии, устойчивое развитие

Zinchenko M., Filenko O.

**ENVIRONMENTAL INNOVATIONS AS A FACTOR OF ACHIEVING
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SOCIETY**

Environmental innovation is a must in the face of a potential global environmental disaster. The development of the technogenic economy, including in Ukraine, has led to the destruction of natural balances and deterioration of relations between man and his environment. To prevent global and local environmental crises, it is necessary to change the technogenic type of economic development to a sustainable one. Such an approach is inconceivable without the use of science-intensive innovative technologies of an ecological nature.

This article is devoted to the study of environmental innovations as a prerequisite for the transition to a new model of sustainable development. For this purpose, the analysis of the essence of the concept of "environmental innovation" is carried out; it is determined that eco-innovation is innovation that leads to environmentally efficient technologies that directly or indirectly improve the state of the environment. The necessity of introducing environmental innovations to solve environmental and economic problems of enterprises has been substantiated. Sectors of the world economy that actively use eco-innovation are indicated. The situation in the development and use of environmental innovations in our country is characterized. In Ukraine, the issues of environmental reorientation in economic development are especially relevant due to the obvious inefficiency in the use of natural resources and a low degree of energy conservation. In this regard, the first priority is the application of objects that have a negative impact on the environment, a regulation system using the best available technologies. For Ukraine's transition to an innovative path of development, the stages of implementing a cleaner production strategy are proposed. Based on the above, it was concluded that environmentally oriented innovation activities of industrial enterprises and businesses in Ukraine will ensure the formation of a balanced development of both individual enterprises and society as a whole.

Keywords: environmental innovation, green economy, environmental policy, best available technologies, sustainable development.

«ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

Щоквартальний науково-практичний журнал

Редколегією до опублікування приймаються статті за наступними науковими напрямками:

- ✓ *енергетика та енергозбереження; енерготехнологія енергоємних галузей промисловості; нетрадиційна енергетика; ресурсозбереження; енергетика та навколишнє середовище;*
 - ✓ *теплоиспользующие установки; моделирование процессов промышленного оборудования; процессы и аппараты различных отраслей промышленности (химической, пищевой, мед. оборудования и проч.);*
 - ✓ *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 паперу А4 (210x297 мм); ліве і праве поля – 25 мм, верхнє і нижнє – 30 мм; рекомендований шрифт Times New Roman Суг; розмір шрифту – 12; міжрядковий інтервал – 1.

ПОРЯДОК РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ:

- безпосередньо під верхньою межею зліва ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ друкується УДК статті;
- пропустивши один рядок, по центру друкуються прізвища та ініціали авторів із зазначенням наукових ступенів та посади;
- пропустивши один рядок, по центру напівжирним шрифтом ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ друкується назва статті;
- нижче, пропустив одну строку, друкується назва організації, де працюють автори статті;
- після розміщуються ключові слова;
- пропускається один рядок і з абзацу (1,25 см) друкується основний текст, відформатований по ширині сторінки;
- перед і після формул і рівнянь має бути відстань в один порожній рядок до тексту з інтервалом 1;
- 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;
- далі розміщується транслітерація списку літератури;
- у кінці статті на трьох мовах (українська, російська та англійська) повинні бути надруковані УДК, автори, назва і анотація.

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

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

Україна, 61002,
Харків-2, вул. Кирпичова, 2,
НТУ «ХПІ», редколегія журналу
«Інтегровані технології та енергозбереження»,
технічний редактор: к.техн.н.,
професор Горбунов К.О.

Тел. (057) 707-69-58.

Email: gor.kona2016@gmail.com

**СТАТТІ, ОФОРМЛЕНІ НЕ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ,
РЕДКОЛЕГІЯ НЕ РОЗГЛЯДАЄ**

**НА ЖУРНАЛ ВІДКРИТО ПЕРЕДПЛАТА
В ПОШТОВИХ ВІДДІЛЕННЯХ УКРАЇНИ**

Індекс видання: 22786

Індекс видання: 46738 – тільки для Донецька та Луганська

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

4'2020

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

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

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

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.