

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

1'2022

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 "ХПИ"

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

О. П. Арсеньєва, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПИ".

В. С. Вєдь, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ІПА НТУ "ХПИ"

П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖПБ НТУ "ХПИ"

П. О. Качанов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. АУТС НТУ "ХПИ"

Г. Л. Хавін, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПИ"

А. М. Ганжа, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЕТ НТУ "ХПИ"

Ю. Б. Данилов, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПИ".

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, Будапешт, Угорщина

Шарифа Рафидан Ван Алви, PhD, professor, Малайзійський університет технологій

Девид Дж. Кукулька, PhD, професор, Державний університет Нью-Йоркського коледжу у Буффало, США

Й. Клемеш, PhD, DSc (Hon), ун-та «Паннонія» (м. Веспрем, Угорщина), та ун-та Манчестера (Великобританія)

Євген Кеніг, д-р техн. наук, професор, університет Падерборна, Німеччина

Маргін Пікон-Нуньєс, PhD, professor, Університет Гуанахуато, Мексика

Петар Варбанов, старший науковий співробітник NETME Center - SPIL, Технологічний університет Брно, Чеська республіка

Майкл Уолмслі, BE, PhD ChemEng, Університет Вайкато, Окленд, Нова Зеландія

П. Стехлік, PhD, проф., Директор Технологічного університету Брно (Чеська республіка)

Панос Сеферліс, PhD., проф., університет Арістотеля, Салоніки, Греція

Журнал включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref; 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"

P. O. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

P. O. Kachanov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

G. L. Khavin, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

A. M. Hanzha, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

Yu. B. Danilov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

O. B. Anipko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kozhedub Kharkiv Air Force University

V. A. Malyarenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova

P. O. Kapustenko, PhD, professor NTU "KhPI"

Ferenc Friedler, PhD, professor,

Pázmány Péter Catholic University, Budapest, Hungary

Sharifah Rafidah Wan Alwi, PhD, professor, Universiti Teknologi Malaysia,

David J. Kukulka, PhD., professor, State University of New York College at Buffalo, USA

Jiří Jaromír Klemes, PhD., professor, DSc (Hon) of the University of Pannonia (Veszprem, Hungary) and the University of Manchester (Great Britain)

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

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

Petar 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

| | |
|--|---|
| <i>Троценко О. В., Григоров А. Б.</i> Підвищення екологічності автомобільних бензинів | 3 |
|--|---|

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

| | |
|---|----|
| <i>Самойленко С. І., Белінська А. П., Белих І. А., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Мироненко Л. С., Варанкіна О. О.</i> Застосування методів аналітичної хімії та контролю у дослідженні окисних процесів в хімічних, харчових, біотехнологічних та фармацевтичних технологіях..... | 11 |
| <i>Дзевочко О. М., Подустов М. О., Дзевочко А. І.</i> Аналіз процесу теплообміну в трубчастому плівковому абсорбері при сульфатуванні сумішей органічних речовин..... | 20 |
| <i>Самойленко С. І., Белих І. А., Мироненко Л. С., Звягінцева О. В., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю.</i> Визначення вмісту основних компонентів топінambuру у процесі зберігання за допомогою аналітичних та фізико-хімічних методів аналізу..... | 31 |

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

| | |
|---|----|
| <i>Набіль Абдель Сатер, Григоров А. Б.</i> Метод прогнозування напрямку переробки вуглеводневої сировини..... | 44 |
| <i>Аніпко О. Б., Баулін Д. С., Бірюков І. Ю., Гунько О. О.</i> Прогнозування змін балістичних характеристик пострілів роздільно-гільзового заряджання із зарядами тривалих термінів експлуатації..... | 52 |
| <i>Кошельнік О. В., Гойсан С. Б., Пугачова Т. М., Круглякова О. В., Павлова В. Г.</i> Особливості застосування теплоакуючих елементів з фазовим переходом в регенеративних теплообмінниках скловарних печей..... | 63 |
| <i>Khavin G. L., Hou Zhiwen</i> Determination of the coefficient sliding friction value in the contact the cutting tool-composite..... | 71 |

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

| | |
|---|----|
| <i>Савінок О. М., Добринін Є. В., Сушинський Д. О.</i> Впровадження інноваційних технологічних рішень харчової промисловості для продовольчого забезпечення малочисельних груп в умовах розташування поза межами місць дислокації..... | 81 |
| <i>Сторінка редколегії.....</i> | 93 |

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 4 від 27.05.2022 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 1. – 96 с.

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

© Національний технічний університет «ХПІ», 2022

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

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНІВ

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

Ключові слова: бензин; екологічність; каталізатор; присадки; оксигенати; октанове число; випаровуваність; фізична стабільність.

Вступ. Автомобільні бензини відносяться до числа основних видів моторних палив, що виробляються з вуглеводневої сировини (нафтової або газоконденсатної). Так, за даними ОПЕК, світове споживання цього виду палива за 2021 рік склало біля 1150 млн. т. При цьому, вихлопні гази, що утворюються при його використанні в автомобільному транспорті в межах великих міст, чинять значний негативний вплив як на здоров'я людини, так і навколишнє середовище в цілому.

Аналіз публікацій. В основі вирішення цієї гострої екологічної проблеми знаходяться заходи, що спрямовані на вдосконалення систем очищення вихлопних газів автомобілів (використання різних типів каталізаторів). Так, в роботі [1] описано використання елементів платинової групи PGE (платина Pt, паладій Pd і родій Rh) при виробництві автомобільних нейтралізаторів для каталізації та контролю шкідливих викидів від вихлопних газів. В роботі [2], для каталізації відновлення NO за допомогою адсорбції CO, запропоновано використовувати каталізатора AuPd/TiO₂ з розміром частинок AuPd 2,1–2,2 нм. з додаванням до нього оксиду лантану La₂O₃. Це, в свою чергу, підвищило активність каталізатора та сприяло зниженню температури при якій відбувається 100% перетворення NO, з 400 °C до 200 °C. Для очищення вихлопних газів автомобільного транспорту, пропонується використовувати каталізатори NSR (зберігання/зменшення NOx), які мають упорядковані наноструктури та представлені Pt/KNO₃/K-титанат (КТН), Pt-KNO₃/CeO₂ і Pt-KNO₃/ZrO, а також нанопористі Ni-фосфатні та Co-заміщені каталізатори [3]. При цьому, до ряду суттєвих недоліків наведених вище каталізаторів очищення вихлопних газів автомобільного транспорту, відносяться: застосування в їх складі рідкісних та дорогих матеріалів, складність їх виробництва та обмежений термін використання.

Найбільш простим та перспективним, на нашу думку, є підвищення екологічності власне автомобільних бензинів, що полягає в наступному: знизити вміст в бензинах розчинених вуглеводневих газів (C₄H₁₀ та ізо-C₄H₁₀); максимально знизити використання в складі бензину таких сполук як Pb, Fe, Mn; полегшити фракційний склад бензинів; зменшити в бензинах вмісту сірки; максимально знизити в складі бензинів ароматичних вуглеводнів та олефінів.

Використання ізо-C₄H₁₀, Pb, Fe, Mn, ароматичних та олефінових вуглеводнів, які є небажаними компонентами з екологічної точки зору, продиктовано їх позитивним впливом на стійкість до детонації бензинів, виражених в одиницях октанового числа (ОЧ, пунктів) [4, 5].

Сьогодні, враховуючи вимоги стандарту Євро-5, в складі автомобільних бензинів А-92, А-95 та А-98 для підвищення їх стійкості до детонації широко використовую-

ють метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ), а також метиловий і етиловий спирти, які відносяться до класу оксигенатів [6]. При цьому, слід зауважити, що згідно [7] в бензинах введено обмежено за вмістом об'ємної частки кисеньвмісних сполук, яка повинна не перевищувати 15 % для МТБЕ, 3 % для метанолу та 5–10 % для (біо)етанолу в залежності від виду бензину.

Використання МТБЕ в складі автомобільних бензинів, враховуючи його температуру кипіння (52–54 °С) зумовлює змінення випаровуваності бензину, що контролюється за показником тиску насичених парів ($P_{н.п.}$, кПа) та фракційного складу, зокрема об'ємної частки (V_{70} , %), що випаровується при температурі 70 °С [8].

Негативні моменти при використанні спиртів в складі автомобільних бензинів пов'язані як з їх токсичністю (при використанні метанолу), так і гігроскопічністю, яка призводить до розшарування палива [9], що в свою чергу, зумовлює використання стабілізуючих речовин [10].

Зважаючи на інформацію, що наведено вище, нами запропоновано для підвищення експлуатаційних властивостей автомобільних бензинів, в тому числі їх екологічності, використовувати 1,3-діфенілтриазен, який можна розглядати в якості поліфункціональної присадки до моторних палив. Використання даної речовини буде позбавлено всіх тих недоліків, які виникають при застосуванні в автомобільних бензинах оксигенатів.

Експериментальні дослідження. На початковому етапі досліджень, нами було встановлено вплив концентрації (X , %) запропонованої присадки 1,3-діфенілтриазен, а також МТБЕ і етанолу на показник ОЧ прямогонної бензинової фракції (п.к.-180 °С), отриманої з газового конденсату (див. рис. 1).

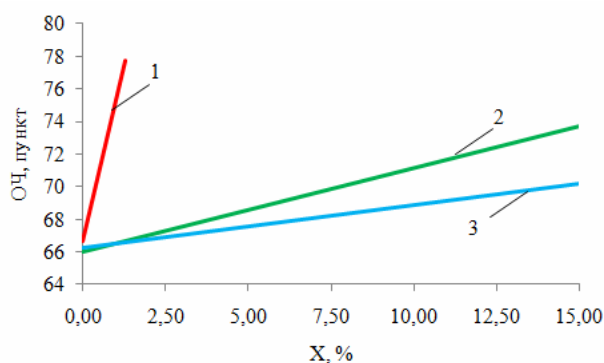


Рисунок 1 – Залежність параметру ОЧ від X: 1 – 1,3-діфенілтриазен; 2 – МТБЕ; 3 – Етанол

Згідно інформації, що представлено на рис. 1, присадка 1,3-діфенілтриазен при концентрації на рівні 1,27 % об. збільшує величину ОЧ бензинової фракції на 12 пунктів. При цьому, МТБЕ при своїй максимально-допустимій концентрації на рівні 15 % об. збільшує ОЧ бензинової фракції, лише на 7 пунктів. А при вмісті 10% етанолу в бензиновій фракції, спостерігається збільшення її ОЧ, лише на 4 пункти. Отже, присадку 1,3-діфенілтриазен можна вважати більш ефективним антидетонатором, в порівнянні з досліджуваними оксигенатами.

Далі, нами досліджувався вплив концентрації 1,3-діфенілтриазену і МТБЕ на показник тиску насичених пар, який характеризує випаровуваність автомобільного бензину (див. рис. 2). Показник тиску насиченої пари, як основний показник, що характеризує відмінності в рецептурах приготування літніх та зимових сортів автомобільних бензинів. Зважаючи на це, нами, в дослідженні використовувалися товарні бензини А-95

двох груп: група №1 – бензини, що використовуються на території України в літній період (з 16 квітня по 15 жовтня); група №2 – бензини, що використовуються на території України в зимовий період (з 16 листопада по 15 березня) [11].

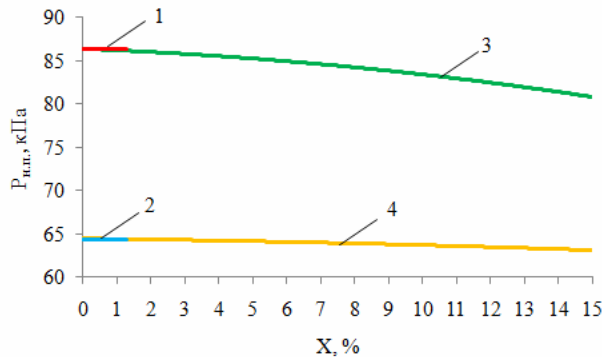


Рисунок 2 – Залежність параметру $P_{н.п.}$ від X :

1 – 1,3-діфенілтриазен (група №1); 2 – 1,3-діфенілтриазен (група №2); 3 – МТБЕ (група №1); 4 – МТБЕ (група №2)

Встановлено, що в розглянутому діапазоні концентрацій (див. рис. 2) 1,3-діфенілтриазен на відміну від МТБЕ, ніяк не впливає на показник тиску насиченої пари автомобільних бензинів А-95, не залежно від їх групи. В той самий час, збільшення концентрації МТБЕ призводить до зменшення на 5,6 кПа бензину, що використовується в літній період (група №1) та на 1,2 кПа бензину, що використовується в зимовий період (група №2).

Зміна фракційного складу, що виражена величиною показника (V_{70} , %) в залежності від концентрації (X , %) присадок 1,3-діфенілтриазен і МТБЕ, представлено на рис. 3.

Присадка 1,3-діфенілтриазен не чинить ніякого впливу на показник випаровуваності V_{70} бензину А-95. І, навпаки випаровуваність V_{70} бензину А-95, незалежно від його групи, зростає зі збільшенням вмісту МТБЕ (див. рис. 3). Це просто пояснюється різними температурами кипіння присадок – 150 °С і 54 °С. Введення МТБЕ, який має низьку температуру кипіння (55 °С), призводить до збільшення випаровуваності бензинів при 70 °С.

Схильність бензину до утворення парових пробок в системі подачі палива, на практиці прийнято визначати за величиною індексу парової пробки (ІПП), який розраховується за формулою наступного вигляду [12]:

$$\text{ІПП} = 10 \times P_{н.п.} + 7 \times V_{70} \quad (1)$$

Так, проведені розрахунки за формулою (1) показали, що при 15 % МТБЕ в складі літнього бензину (група №1) спостерігалось зростання індексу парової пробки (з 787,4 до 835,1), для зимового класу – це збільшення є менш суттєвим (з 1054 до 1060,7).

Далі нами були проведені дослідження по визначенню впливу води на фізичну стабільність (ФС, %) товарного бензину А-95 з вмістом 10% етанолу (див. рис. 4). Для дослідження було використано зневоднений 100 % етанол.

Етанол, вільний від води, змішується з бензином А-95 у будь-яких співвідношеннях, але через різну густини бензину і спирту, а також через високу розчинність етанолу в воді ці суміші втрачають фізичну стабільність – розшаровуються з утворен-

ням осаду. Як показано на рис. 4, зі зниженням температури суміші та підвищенням концентрації води відбувається погіршення фізичної стабільності суміші. Так, при вмісті води в суміші 0,20 % втрата фізичної стабільності спостерігається при 0° С, при вмісті води в суміші 0,38 % – при 20° С, при вмісті води в суміші 0,75 % – при 40° С . Отримані залежності можна пояснити з огляду на незначне підвищення розчинності води в бензині при підвищенні температури суміші. Фізична стабільність сумішей бензин А-95 + 1,3-діфенілтриазен, від вмісту води не залежить.

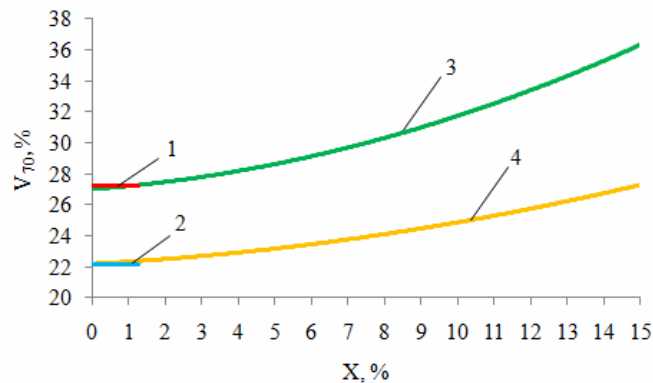


Рисунок 3 – Залежність параметру V_{70} від X:
 1 – 1,3-діфенілтриазен (група №1); 2 – 1,3-діфенілтриазен (група №2); 3 – МТБЕ (група №1);
 4 – МТБЕ (група №2)

Завершальний етап досліджень включав в себе визначення впливу присадки 1,3-діфенілтриазену на поліпшення умов згоряння паливної суміші, з метою зниження токсичності вихлопних газів, що контролювалося за вмістом в їх складі CO та CH (див. рис. 5). Стендові дослідження проводили на стандартному двигуні 1,8 TSI (індекс CJSА) автомобіля Skoda Octavia A7.

Наявність в складі бензину 1 % мас. 1,3-діфенілтриазену завдяки реакції його розкладання при 160 °С з виділенням азоту та утворенням реакційноздатних радикалів [13], забезпечує рівномірність та глибину процесу згоряння автомобільного бензину. Це, в свою чергу, підтверджується проведеними дослідженнями (див. рис. 5), які ілюструють зниження CO (на 24 %) та CH (17 %) в складі вихлопних газів, отриманих при застосуванні 1% 1,3-діфенілтриазену, відносно вихідного бензину.

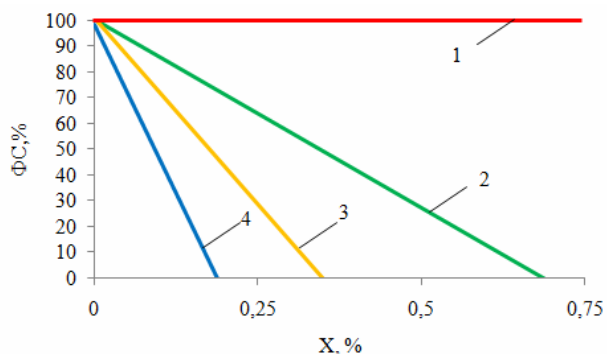


Рисунок 4 – Залежність параметру ОЧ від X:
 1 – бензин А-95 + 1,3-діфенілтриазен; 2 – бензин А-95 + 10% етанолу при 0 °С;
 3 – бензин А-95 + 10% етанолу при 20 °С;
 4 – бензин А-95 + 10% етанолу при 40 °С

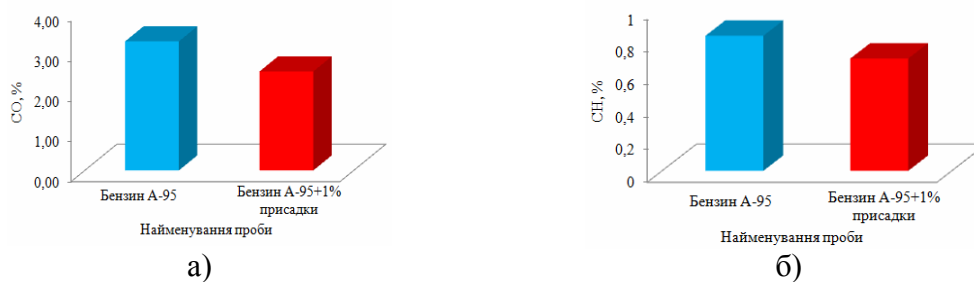


Рисунок 5 – Залежність параметру CO (а) та CH (б) бензинової суміші від вмісту 1,3-діфенілтриазен

Висновки. Підвищення екологічності автомобільних бензинів є найбільш простим та перспективним підходом щодо зниження токсичності вихлопних газів. Він з одного боку, дозволяє виробляти бензини, які відповідають сучасним вимогам Євро-5, з іншого – значно подовжити термін експлуатації спеціальних каталізаторів, що встановлюються на автомобільний транспорт з метою очищення вихлопних газів.

Проведені дослідження показали, що використання 1 % мас. 1,3-діфенілтриазену, в складі прямого бензину дозволяє підвищити його ОЧ на 12 пунктів, знизити токсичність вихлопних газів на 24 % за вмістом CO та 17 % за вмістом CH. Окрім цього, при додаванні 1,3-діфенілтриазену до товарних бензинів А-95 не змінюються показники, що характеризують випаровуваність отриманої суміші. Сама суміш бензин А-95 + 1,3-діфенілтриазен, незалежно від вмісту води, характеризується високою фізичною стабільністю.

Спираючись на проведені дослідження слід зазначити, що використання 1,3-діфенілтриазен в бензинових фракціях і товарних автомобільних бензинах, в якості поліфункціональної присадки є більш ефективним, в порівнянні з використанням оксигенатів. В подальшому, представлена поліфункціональна присадка, на нашу думку, дозволить оптимізувати використання інших присадок, зокрема оксигенатів, які сьогодні широко застосовуються в технології виробництва товарних автомобільних бензинів.

Література

1. Mehrazin Omrani. Platinum group elements study in automobile catalysts and exhaust gas samples / Mehrazin Omrani, Mathieu Goriaux, Yao Liu, Simon Martineta, Liliane Jean-Soroab, Véronique Rubanab // *Environmental Pollution*. – 2020. – Vol. 257. – 113477.
2. Xianwei Wang. Synergistic Effects of Bimetallic AuPd and La₂O₃ in the Catalytic Reduction of NO with CO / Xianwei Wang, Nobutaka Maeda, Daniel M. Meier // *Catalysts*. – 2021. – № 11(8). – 916; <https://doi.org/10.3390/catal11080916>.
3. Shuichi Naito. Ordered Nanostructure Catalysts Efficient for NO_x Storage/Reduction (NSR) Processes / Shuichi Naito, Young-Kwon Park // *Catalysts*. – 2021. – 11(11). – 1348; <https://doi.org/10.3390/catal11111348>.
4. D. Seyferth. The rise and fall of tetraethyllead / D. Seyferth // *Organometallics*. – 2003. – № 22. – pp. 5154–5178.
5. Bruno T.J. Analysis of organometallic gasoline additives with the composition-explicit distillation curve method / T.J. Bruno, E. Baibourine // *Energy Fuels*. – 2010. – № 24 (10). – pp. 5508–5513.
6. Ioana G. Petrisor. Use of Oxygenates to Date a Gasoline Release / Ioana G. Petrisor // *Environmental Forensics*. 2006. – №7(2). – pp. 103–104.
7. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови. – К.: Київ, ДП «Укр НДНЦ», 2015. – 15 с.

8. Бабкин К.Д. Влияние метил-трет-бутилового (МТБЭ) и метил-третамилового (МТАЭ) эфиров на свойства реформулированных бензинов / Бабкин Кирилл Дмитриевич ... Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 05.17.07 / Москва, 2021. – 23 с.

9. Priya Priyadarshini. Understanding partial fuel stratification for low temperature gasoline combustion using large eddy simulations / Priya Priyadarshini, Aimilios Sofianopoulos, Sotirios Mamalis, Benjamin Lawler, Dario Lopez-Pintor, John E. Dec // International Journal of Engine Research. – 2021. – №22(6). – p.p. 1872–1887.

10. Богданов С.Н. Обеспечение фазовой стабильности этанольных топлив для автомобильных двигателей / С.Н. Богданов, А.Н. Лаврик, А.С. Теребов // Вестник ЮУрГУ. – 2007. – № 25. – С. 102–106.

11. Постанова Кабінету Міністрів України від 1 серпня 2013 р. № 927, редакція від 16.11.21 року. Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив. – Київ, 2013. – 18 с.

12. ГОСТ 32513-2013. Межгосударственный стандарт. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014.–15 с.

13. Шабаров Ю.С. Органическая химия: Часть 2. Циклические соединения / Ю.С. Шабаров – М.: Химия, 1994. – 848 с.

Bibliography (transliterated)

1. Mehrazin Omrani. Platinum group elements study in automobile catalysts and exhaust gas samples / Mehrazin Omrani, Mathieu Goriaux, Yao Liu, Simon Martineta, Liliane Jean-Soroab, Véronique Rubanab // Environmental Pollution. – 2020. – Vol. 257. – 113477.

2. Xianwei Wang. Synergistic Effects of Bimetallic AuPd and La₂O₃ in the Catalytic Reduction of NO with CO / Xianwei Wang, Nobutaka Maeda, Daniel M. Meier // Catalysts. – 2021. – № 11(8). – 916; <https://doi.org/10.3390/catal11080916>.

3. Shuichi Naito. Ordered Nanostructure Catalysts Efficient for NO_x Storage/Reduction (NSR) Processes / Shuichi Naito, Young-Kwon Park // Catalysts. – 2021. – 11(11). – 1348; <https://doi.org/10.3390/catal11111348>.

4. D. Seyferth. The rise and fall of tetraethyllead / D. Seyferth // Organometallics. – 2003. – № 22. – pp. 5154–5178.

5. Bruno T.J. Analysis of organometallic gasoline additives with the composition-explicit distillation curve method / T.J. Bruno, E. Baibourine // Energy Fuels. – 2010. – № 24 (10). – pp. 5508–5513.

6. Ioana G. Petrisor. Use of Oxygenates to Date a Gasoline Release / Ioana G. Petrisor // Environmental Forensics. 2006. – №7(2). – pp. 103–104.

7. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови. – К.: Київ, ДП «Укр НДНЦ», 2015. – 15 п.

8. Babkin K.D. Vliyaniye metil-tret-butilovogo (MTBE) i metil-tretamilovogo (MTAE) efirov na svoystva reformulirovannykh benzinov / Babkin Kirill Dmitriyevich ... Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, spetsial'nost' 05.17.07 / Moskva, 2021. – 23 p.

9. Priya Priyadarshini. Understanding partial fuel stratification for low temperature gasoline combustion using large eddy simulations / Priya Priyadarshini, Aimilios Sofianopoulos, Sotirios Mamalis, Benjamin Lawler, Dario Lopez-Pintor, John E. Dec // International Journal of Engine Research. – 2021. – №22(6). – p.p. 1872–1887.

10. Bogdanov S.N. Obespecheniye fazovoy stabil'nosti etanol'nykh toplivdlya avtomobil'nykh dvigateley / S.N. Bogdanov, A.N. Lavrik, A.S. Terebov // Vestnik YUUr-GU. – 2007. – № 25. – P. 102–106.

11. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 1 serpnya 2013 r. № 927, redaktsiya vid 16.11.21 roku. Pro zatverdzhennya Tekhnichnoho rehlamentu shchodo vymoh do avtomobil'nykh benzyniv, dyzel'noho, sudnovykh ta kotel'nykh palyv. – Kyiv, 2013. – 18 p.

12. GOST 32513-2013. Mezhhgosudarstvennyy standart. Topliva motornyye. Benzin neetilirovannyu. Tekhnicheskyye usloviya. M.: Standartinform, 2014. – 15 p.

13. Shabarov YU.S. Organicheskaya khimiya: Chast' 2. Tsiklicheskiye soyedineniya / YU.S. Shabarov – M.: Khimiya, 1994. – 848 p.

УДК 661:665.7

Троценко О.В., Григоров А.Б.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНІВ

В статті розглянуто заходи, спрямовані на поліпшення екологічної ситуації великих міст, за рахунок зниження шкідливої дії вихлопних газів, що утворюються при експлуатації автомобільного транспорту. Обґрунтовано, що безпосереднє підвищення екологічності автомобільних бензинів є найбільш перспективним підходом щодо зниження токсичності вихлопних газів. Досягти цього підвищення можливо за рахунок зниження в складі бензинів розчинених вуглеводневих газів (C_4H_{10} та ізо- C_4H_{10}) і металів (Pb, Fe, Mn); полегшення фракційного складу бензинів (зниження температури кінця кипіння); зменшення в бензинах вмісту сірки, ароматичних вуглеводнів та олефінів. Зниження цих небажаних, з екологічної точки зору, компонентів, дозволить підвищити якість автомобільних бензинів до прийнятих в Україні, вимог Євро-5, а також значно подовжити термін експлуатації спеціальних каталізаторів, що встановлюються на автомобільний транспорт з метою очищення вихлопних газів.

Досліджено вплив на бензинову фракцію (п.к. – 180 °С) та товарні автомобільні бензини А-95, оксигенатів (метил-трет-бутилового ефіру та етилового спирту) і 1,3-діфенілтріазену. Встановлено, що використання 1 % мас. 1,3-діфенілтріазену, в складі прямогоного бензину дозволяє підвищити його стійкість до детонації на 12 пунктів, знизити токсичність вихлопних газів на 24 % за вмістом СО та 17 % за вмістом СН. Визначено, що додавання до товарних бензинів А-95 1,3-діфенілтріазену в кількості 1 % мас., на відміну від оксигенатів, не призводить до змінення випаровуваності бензинів та їх фізичної стабільності.

Використання в складі товарних автомобільних бензинів 1,3-діфенілтріазен, завдяки його позитивним властивостям, в майбутньому, дозволить оптимізувати використання інших присадок, зокрема оксигенатів, які сьогодні широко застосовуються в технології виробництва товарних автомобільних бензинів.

Ключові слова: бензин; екологічність; каталізатор; присадки; оксигенати; октанове число; випаровуваність; фізична стабільність.

Троценко О.В., Григоров А.Б.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

В статье рассмотрены мероприятия, направленные на улучшение экологической ситуации крупных городов, за счет снижения вредного действия выхлопных газов, образующихся при эксплуатации автомобильного транспорта. Обосновано, что непосредственное повышение экологичности автомобильных бензинов является наиболее перспективным подходом к снижению токсичности выхлопных газов. Достичь этого повышения возможно за счет снижения в составе бензинов растворенных углеводородных газов (C_4H_{10} и изо- C_4H_{10}) и металлов (Pb, Fe, Mn); облегчения фракционного состава.

ва бензинов (снижение температуры конца кипения); уменьшения в бензинах содержания серы, ароматических углеводородов и олефинов. Снижение этих нежелательных, с экологической точки зрения, компонентов позволит повысить качество автомобильных бензинов до принятых в Украине требований Евро-5, а также значительно продлить срок эксплуатации специальных катализаторов, устанавливаемых на автомобильный транспорт с целью очистки выхлопных газов.

Исследованы влияние на бензиновую фракцию (п.к. – 180 °С) и товарные автомобильные бензины А-95, оксигенатов (метил-трет-бутилового эфира и этилового спирта) и 1,3-дифенилтриазена. Установлено, что использование 1 % масс. 1,3-дифенилтриазена, в составе прямого бензина позволяет повысить его устойчивость к детонации на 12 пунктов, снизить токсичность выхлопных газов на 24 % по содержанию СО и 17 % по содержанию СН. Определено, что добавление к товарным бензинам А-95 1,3-дифенилтриазена в количестве 1 % масс., в отличие от оксигенатов, не приводит к изменению испаряемости бензинов и их физической стабильности.

Использование в составе товарных автомобильных бензинов 1,3-дифенилтриазен, благодаря его положительным свойствам, в будущем, позволит оптимизировать использование других присадок, в частности оксигенатов, которые сегодня широко применяются в технологии производства товарных автомобильных бензинов.

Ключевые слова: бензин; экологичность; катализатор; присадки; оксигенаты; октановое число; испаряемость; физическая стабильность.

Trotsenko O.V., Grigorov A.B.

IMPROVING THE ENVIRONMENTALITY OF MOTOR GASOLINE

The article considers measures aimed at improving the environmental situation of large cities by reducing the harmful effects of exhaust gases generated during the operation of road transport. It is substantiated that a direct increase in the environmental friendliness of motor gasoline is the most promising approach to reducing the toxicity of exhaust gases. This increase can be achieved by reducing dissolved hydrocarbon gases (C₄H₁₀ and iso-C₄H₁₀) and metals (Pb, Fe, Mn) in gasoline; facilitation of the fractional composition of gasoline (including the end-boiling temperature); reduction in gasoline content of sulfur, aromatic hydrocarbons and olefins. Reducing these undesirable, from an environmental point of view, components will improve the quality of gasoline to the Euro-5 requirements adopted in Ukraine, as well as significantly extend the service life of special catalysts installed on motor vehicles to clean exhaust gases.

The effect on the gasoline fraction (PK – 180 °C) and commercial gasoline A-95, oxygenates (methyl tert-butyl ether and ethyl alcohol) and 1,3-diphenyltriazene was studied. It is established that the use of 1% of the mass. 1,3-diphenyltriazene, in the composition of straight-run gasoline allows to increase its resistance to detonation by 12 points, reduce the toxicity of exhaust gases by 24% in terms of CO and 17% in terms of CH. It was determined that the addition of 1,3-diphenyltriazene to commercial gasoline A-95 in the amount of 1% by weight, in contrast to oxygenates, does not lead to a deterioration in the evaporation of gasoline and their physical stability.

The use of 1,3-diphenyltriazene in commercial gasoline, due to its positive properties, in the future will optimize the use of other additives, including oxygenates, which are widely used today in the technology of commercial gasoline.

Keywords: gasoline; environmental friendliness; catalyst; additives; oxygenates; octane number; evaporation; physical stability.

Самойленко С.І., к.техн.н., доцент; Белінська А.П., к.техн.н., доцент;
Белих І.А., к.біол.н., доцент; Близнюк О.М., д.техн.н., професор,
Масалітіна Н.Ю., к.техн.н., доцент, Мироненко Л.С., к.техн.н., асистент,
Варанкіна О.О., к.техн.н., доцент

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ ТА КОНТРОЛЮ У ДОСЛІДЖЕННІ ОКИСНИХ ПРОЦЕСІВ В ХІМІЧНИХ, ХАРЧОВИХ, БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: аналітична хімія, окисні процеси, гідропероксиди, титрування методом замісника, контроль технологічних процесів, вуглеводні, тригліцериди, β -каротин.

Вступ

Без надійної системи проведення хімічних аналізів та контролю хімічного складу сировини, напівпродуктів та готової продукції розвиток науки та виробництва є неможливим. Це, звісно, стосується й хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії. Проте загальне розуміння необхідності аналітичної хімії в лабораторній практиці означених виробництв не завжди є повним та адекватним. Поширеною є думка, що за умови придбання сучасного обладнання вирішуються всі проблеми аналітичного контролю та аналізу виробництв [1]. Але, крім подібного оснащення, актуальним у лабораторній практиці є використання аналітичних методів, зокрема титриметричних, через їх відповідність положенням загальнозживаної нормативної документації, універсальність та більш низьку вартість у порівнянні з інструментальними методами аналізу. Тому завданнями інженера-хіміка та хіміка-дослідника є теоретичне обґрунтування, створення та удосконалення аналітичних методів аналізу для контролю якості сировини, напівпродуктів та готової продукції.

Методи візуальної та інструментальної титриметрії залишаються популярними методами контролю та діагностики різних матеріалів. За образним висловом Ешворта [2], у контролі хімічних, харчових, фармацевтичних виробництв титриметричний аналіз не менш потрібен, ніж колесо в машинобудуванні. У світі створено безліч оригінальних методів та методик інструментального титрування на основі методів потенціометрії, кондуктометрії, амперометрії, фотометрії тощо. Багато з них представлені у різних модифікаціях. Одним з методів титрування є метод титрування замісника з метою визначення вмісту пероксидів і гідропероксидів під час контролю якості сировини, напівпродуктів та готової продукції в хімічних, харчових, фармацевтичних технологіях та біоінженерії. Вказаний спосіб базується на тому, що, сильні окисники (пероксиди та гідропероксиди вуглеводнів/ліпідів) виділяють вільний йод з калій йодиду, який потім титрують стандартним розчином натрій тіосульфату [3, 4].

Дослідження існуючих рішень проблеми

Ліпідна сировина, зокрема рослинні олії, тваринні жири, ліпідорозчинні біологічно активні речовини є не тільки важливими продуктами харчування і сировиною для харчової промисловості, а ще й сировинною базою для хімічної, косметичної, біотехнологічної та фармацевтичної галузей промисловості [5–8]. Наприклад, рослинні олії

привертають все більшу увагу як відновлювана сировина у таких основних напрямках використання, як паливо, мастило, а також як вихідний матеріал для синтезу в хімічній промисловості.

В свою чергу, оцінка ступеню окиснення жирів та олій за допомогою доступних хімічних методів зберігає своє актуальне значення. При цьому питання способу визначення пероксидного числа (показника, який відображає накопичення первинних продуктів окиснення – пероксидів та гідрпероксидів, що перетікає на всіх стадіях технологічного циклу продукції) залишається широко обговорюваним, оскільки різні методи, які є навіть стандартизованими, дають непорівнянні через відхилення у відтворюваності результати як між собою, так і в різних лабораторіях [9, 10]. Проведений аналіз джерел інформації, що описують існуючі методики визначення пероксидного числа (як стандартизовані, так і ті, що носять експериментальний характер) показав різноманітність методів, що застосовуються [5, 10–12].

Значна частина проаналізованих методик з титриметричного аналізу вмісту пероксидів та гідрпероксидів, що поширюються на різноманітні матриці [13], включаючи різні вуглеводні, а також олії та тваринні жири харчового та медичного призначення [3, 5], передбачає варіації, що відрізняються одним або декількома елементами, зокрема способом пробопідготовки; наважкою субстанції, що досліджується, використанням екстракту ліпідної фракції, виділеної з продукції; об'ємом та/або співвідношенням частин бінарного розчинника – хлороформу та крижаної оцтової кислоти; концентрацією та об'ємом розчину калій йодиду; застосуванням та тривалістю витримання реакційної суміші у темному місці; об'ємом дистильованої води, що додається; об'ємом та/або концентрацією та способом приготування розчину крохмалю, що застосовують як індикатор; концентрацією титранту – розчину натрій тіосульфату.

Таким чином, результати аналізу існуючих наукових розробок свідчать про актуальність застосування методу титрування замісника з метою визначення вмісту пероксидів і гідрпероксидів під час контролю їх вмісту в широкому діапазоні виробництва. Особливості технічного рішення для кожного окремого об'єкта дослідження можуть базуватися на результатах, які отримані в модельних системах під час досліджень.

Мета та основні задачі дослідження

Метою роботи є дослідження окисних процесів, які мають місце у продукті хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії – ліпідному розчині β -каротину з біомаси гетероталічного гриба *Blakeslea trispora*, збагаченого поліненасиченими жирними кислотами і природними антиоксидантами за допомогою титрування методом замісника для контролювання технологічних властивостей сировини та готової продукції. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– дослідити вміст первинних продуктів окиснення (пероксидів, гідрпероксидів) в сировині для продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії: ліпідного розчину β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, рослинних олій різного жирнокислотного складу і з різним вмістом природних антиоксидантів;

– визначити динаміку окиснення продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії – ліпідного розчину β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, збагаченого поліненасиченими жирними кислотами і природними антиоксидантами.

Матеріали та методи досліджень

В експериментах використано зразки ліпідного екстракту β -каротину з біомаси гетероталічного гриба *Blakeslea trispora* IMBF-100019 (вміст β -каротину $0,19 \pm 0,01$ %), що депонований в музеї промислових культур Інституту мікробіології і вірусології

НАН України. Крім того, досліджено зразки кунжутної (згідно з ГОСТ 8990-59 «Олія кунжутна (сезамова). Технічні умови»), соєвої (ДСТУ 4534 «Олія соєва. Технічні умови»), соняшникової олії (згідно з ДСТУ 4492 «Олія соняшникова. Технічні умови»).

Дослідження окиснювальної стабільності олій та ліпідних розчинів β -каротину проведено прискореним методом «активного кисню» за [5]. Метод засновано на продуванні повітря з постійною швидкістю через шар олії за постійної температури 85 °С та визначенні через певні проміжки часу показника «пероксидне число». Вимірюючи час у хвиликах і вміст пероксидів і гідропероксидів (яке відповідає аналітичному числу «пероксидне число») в ммоль $\frac{1}{2}$ O /кг, будують залежність зміни пероксидного числа ліпідної складової від часу експозиції, за якою графічно визначають період індукції (τ , хв.). Окиснення олій припиняють, коли пероксидне число досягало значення більше 10 ммоль $\frac{1}{2}$ O /кг. Для встановлення стабільності до окиснення ліпідних продуктів розраховано період індукції окиснення зразків – час, після якого відбувається значне підвищення концентрації продуктів окиснення.

Визначення вмісту пероксидів і гідропероксидів, тобто показника «пероксидне число» в ліпідних екстрактах β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, рослинних оліях, розробленому продукті проведено згідно з ДСТУ ISO 3960 «Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення пероксидного числа». Метод заснований на реакції взаємодії продуктів окиснення ліпідів (пероксидів і гідропероксидів) з калій йодидом в розчині оцтової кислоти і хлороформу і подальшому кількісному визначенні йоду, що виділився, розчином натрій тіосульфату титриметричним методом.

Експерименти по окисненню зразків ліпідної сировини, продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії, а також контрольного зразку порівняння проведено у трьох паралелях. Перед розрахунком похибки досліду S_0^2 розраховано построчні дисперсії s_u^2 та перевірено їх однорідність.

Результати дослідження

Досліджено вихідний вміст первинних продуктів окиснення (пероксидів, гідропероксидів) в сировині для продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії, дані наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Величина пероксидного числа ліпідної складової сировини для продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії

| № з/п | Найменування ліпідної сировини | Пероксидне число, ммоль $\frac{1}{2}$ O /кг |
|-------|---|---|
| 1 | Ліпідний розчин β -каротину з біомаси <i>Blakeslea trispora</i> | 1,6 \pm 0,08 |
| 2 | Олія соєва рафінована | 0,45 \pm 0,02 |
| 3 | Олія кунжутна рафінована | 0,80 \pm 0,05 |
| 4 | Олія соняшникова рафінована | 0,65 \pm 0,05 |

Як видно з результатів дослідження (табл. 1), одержані дані пероксидних чисел сировини задовольняють вимогам відповідної нормативної документації.

Склад ліпідного розчину β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, збагаченого поліненасиченими жирними кислотами і природними антиоксидантами, який виготовлено з використанням сировини, вказаної в табл. 1, наведено в табл. 2.

Розроблений продукт хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії є вітамінізованим β -каротином, збалансованим за складом поліненасичених

жирних кислот ω -3 та ω -6 груп, а також стабілізований від окиснення антиокислювачами кунжутної олії – сезамолом і сезамінолом. Продукт доцільно вживати як харчовий (салатна олія), як біологічно активну добавку, а також використовувати як основу для олійно-жирових продуктів підвищеної біологічної цінності. Вміст ненасичених жирних кислот в купажованій олії наступний: ліноленова кислота – $4,6 \pm 0,5$ %; олеїнова кислота – $12,5 \pm 0,5$ %; ліолева кислота – $51,2 \pm 1,0$ %, відповідно сумарний вміст ненасичених жирних кислот – $64,3 \pm 1,0$ %, з них поліненасичених – $54,8 \pm 1,0$ % при співвідношенні ω -6 : ω -3 = 10 : 1.

Таблиця 2 – Склад ліпідного розчину β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*

| № з/п | Найменування ліпідної сировини | Вміст, % |
|-------|---|----------------------------|
| 1 | Олія соєва рафінована | $70 \pm 3,5$ |
| 2 | Олія кунжутна рафінована | $20 \pm 0,8$ |
| 3 | Олія соняшникова рафінована | $10 \pm 0,6$ |
| 4 | ліпідний розчин β -каротину з біомаси <i>Blakeslea trispora</i> | $0,01 \pm 5 \cdot 10^{-4}$ |

Визначено динаміку накопичення первинних продуктів окиснення (пероксидів, гідрпероксидів) в ліпідному розчині β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora* розробленого складу і контрольного зразку порівняння, що представляє собою ліпідний розчин β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora* (0,01 %), збагачений поліненасиченими жирними кислотами (ліпідна основа: рафіновані соєва ($70 \pm 3,5$ %) та соняшникова ($30 \pm 1,5$ %) олії) (рис. 1).



Рисунок 1 – Динаміка накопичення гідрпероксидів прискореним методом: 1 – ліпідний розчин β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora* (0,01 %), збагачений поліненасиченими жирними кислотами і природними антиоксидантами; 2 – контрольний зразок – ліпідний розчин β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora* (0,01 %), збагачений поліненасиченими жирними кислотами

У той час, як величина пероксидного числа контрольного зразку порівняння досягла 10 ммоль $\frac{1}{2}$ O /кг вже на 107 ± 4 хвилині прискореного окиснення, пероксидне число розробленого продукту досягло 10 ммоль $\frac{1}{2}$ O /кг на 300 ± 12 хвилині. Причому в перші 100 ± 4 хвилин прискореного окиснення підвищення пероксидного числа розробленого продукту майже не спостерігається. Періоди індукції окиснення за $85 \pm 1^\circ\text{C}$ зразків розробленого продукту та контрольного зразку наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Параметри окиснення при 85 ± 1 °C досліджуваних зразків продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії та контрольного зразку

| Олія | Період індукції окиснення, хв. | Термін, за який пероксидне число досягає $10 \text{ ммоль}^{1/2}\text{O}/\text{кг}$, хв. |
|---|--------------------------------|---|
| Ліпідний розчин β -каротину з біомаси <i>Blakeslea trispora</i> (0,01 %), збагачений поліненасиченими жирними кислотами і рослинними антиокиснювачами | 230 ± 10 | 300 ± 12 |
| Контрольний зразок – ліпідний розчин β -каротину з біомаси <i>Blakeslea trispora</i> (0,01 %), збагачений поліненасиченими жирними кислотами | 75 ± 3 | 107 ± 4 |

Результати експериментальних даних, одержаних за допомогою титрування методом замісника, які наведені на рис. 1 і табл. 3, свідчать, що період індукції виробленого продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії за 85 ± 1 °C складає 230 ± 10 хвилин, це у 3,1 рази вище, ніж період індукції зразку порівняння, який складає 75 ± 3 хвилини. Вищезазначене свідчить про доцільність використання запропонованої сировинної бази для означеного продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії порівняно з контрольним зразком, а також про адекватність обраного методу аналітичної хімії для контролювання технологічних властивостей сировини та готової продукції.

Висновки

За результатами аналітичного огляду наукової літератури та проведених досліджень зроблено висновки щодо актуальності застосування методів аналітичної хімії та контролю, зокрема титрування методом замісника у дослідженні окисних процесів хімічних, харчових та фармацевтичних технологій та біоінженерії:

– досліджено вміст первинних продуктів окиснення (пероксидів, гідропероксидів) в сировині для продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії: ліпідного розчину β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*; рослинних олій різного жирнокислотного складу і з різним вмістом природних антиоксидантів. Одержані дані пероксидних чисел сировини задовольняють вимогам відповідної нормативної документації;

– базуючись на проведених дослідженнях, визначено динаміку окиснення продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії – ліпідного розчину β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, збагаченого поліненасиченими жирними кислотами і природними антиоксидантами. Доведено, що період індукції виробленого продукту хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії за 85 ± 1 °C у 3,1 рази вище за період індукції контрольного зразку. Проведені дослідження свідчать про доцільність використання титрування методом замісника для контролю технологічних властивостей сировини та готової продукції в хімічних, харчових, біотехнологічних та фармацевтичних технологіях.

Література

1. Debusa, B., Parastarb, H., Harringtonc, P., Kirsanov D. Deep learning in analytical chemistry // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2021. Vol. 145. P. 116459.

2. Эшворт, М. Р. Ф. Титриметрические методы анализа органических соединений / Пер. с англ. под. ред. А. П. Крешкова. Химия. 1968. 553 с.
3. Gharby, S., Hajib, A., Ibourki, M., Sakar, El. H., Nounah, Is., Elibrahimi, M., Harhar H. Induced changes in olive oil subjected to various chemical refining steps: A comparative study of quality indices, fatty acids, bioactive minor components, and oxidation stability kinetic parameters // *Chemical Data Collections*. 2021. Vol. 33. P. 100702.
4. Белінська, А. П. Технологія купажованої олії підвищеної біологічної цінності: Дис... канд. техн. наук, Харків, 2011, 230 с.
5. Белінська, А. П., Кричківська, Л. В., Зекунова, Т. І. Розробка технологічних режимів рафінації олійних розчинів β-каротину // *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2010. Вип. 38 (2). С. 157–160.
6. Barroso, L., Viegas, C., Vieira, J., Ferreira-Pêgo, C., Costa, J., Fonte, P. Lipid-based carriers for food ingredients delivery // *Journal of Food Engineering*. 2021. Vol. 295, P. 110451.
7. Fagionato Masiero, J., Barbosa, E. J., Oliveira Macedo, L., Souza, A., Nishitani Yukuyama, M., Arantes, G. J., Bou-Chacra, N. A. Vegetable oils in pharmaceutical and cosmetic lipid-based nanocarriers preparations // *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 170, P. 113838.
8. Vivek, N., Sindhu, R., Madhavan, A., Anju, A. J., Castro, E., Faraco, V., Pandey, A., Binod P. Recent advances in the production of value added chemicals and lipids utilizing biodiesel industry generated crude glycerol as a substrate – Metabolic aspects, challenges and possibilities: An overview // *Bioresource Technology*. 2017. Vol. 239, P. 507–517.
9. Zhang, N., Li, Y., Wen, Sh., Sun, Yi., Chen, J., Gao, Yu., Sagymbek, A., Yu, X. Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 358. P. 129834.
10. Choudhari, Sh., Singhal, R. Media optimization for the production of β-carotene by *Blakeslea trispora*: A statistical approach // *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99, Is. 4, P. 722–730.
11. Santas, J., Guzmán, Ye. J., Guardiola, F., Rafecas, M., Bou, R. High-throughput analysis of lipid hydroperoxides in edible oils and fats using the fluorescent reagent diphenyl-1-pyrenylphosphine // *Food Chemistry*. 2014. Vol. 162, P. 235–241.
12. Farhoosh, R. New insights into the kinetic and thermodynamic evaluations of lipid peroxidation // *Food Chemistry*. 2022. Vol. 375, P. 131659.
13. Chen, J., Zhang, L., Li, Yo., Zhang, N., Gao, Yu., Yu, X. The formation, determination and health implications of polar compounds in edible oils: Current status, challenges and perspectives // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 364. P. 130451.

Bibliography (transliterated)

1. Debusa, B., Parastarb, H., Harringtonc, P., Kirsanov, D. Deep learning in analytical chemistry // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 145. P. 116459.
2. Эшворт, М. Р. Ф. Тытрыметрыческие методы анализа орhаныческых соедыненыи / Пер. с англ. под. ред. А. П. Крешкова. Химия. 1968. 553 с.
3. Gharby, S., Hajib, A., Ibourki, M., Sakar, El. H., Nounah, Is., Elibrahimi, M., Harhar H. Induced changes in olive oil subjected to various chemical refining steps: A comparative study of quality indices, fatty acids, bioactive minor components, and oxidation stability kinetic parameters // *Chemical Data Collections*. 2021. Vol. 33. P. 100702.

4. Bielinska, A. P. Tekhnolohiia kupazhovanoi olii pidvyshchenoi biolohichnoi tsinnosti: Dys... kand. tekhn. nauk, Kharkiv, 2011, 230 p.

5. Bielinska, A. P., Krychkovska, L. V., Zekunova, T. I. Rozrobka tekhnolohichnykh re-zhymiv rafinatsii oliinykh rozchyniv β -karotyну // Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. 2010. Vyp. 38 (2). P. 157–160.

6. Barroso, L., Viegas, C., Vieira, J., Ferreira-Pêgo, C., Costa, J., Fonte P. Lipid-based carriers for food ingredients delivery // Journal of Food Engineering. 2021. Vol. 295, P. 110451.

7. Fagionato Masiero, J., Barbosa, E. J., Oliveira Macedo, L., Souza, A., Nishitani Yukuyama, M., Arantes, G. J., Bou-Chacra, N. A. Vegetable oils in pharmaceutical and cosmetic lipid-based nanocarriers preparations // Industrial Crops and Products. 2021. Vol. 170, P. 113838.

8. Vivek, N., Sindhu, R., Madhavan, A., Anju, A. J., Castro, E., Faraco, V., Pandey, A., Binod, P. Recent advances in the production of value added chemicals and lipids utilizing biodiesel industry generated crude glycerol as a substrate – Metabolic aspects, challenges and possibilities: An overview // Bioresource Technology. 2017. Vol. 239, P. 507–517.

9. Zhang, N., Li, Y., Wen, Sh., Sun, Yi., Chen, J., Gao, Yu., Sagymbek, A., Yu, X. Analytical methods for determining the peroxide value of edible oils: A mini-review // Food Chemistry. 2021. Vol. 358. P. 129834.

10. Choudhari, Sh., Singhal, R. Media optimization for the production of β -carotene by *Blakeslea trispora*: A statistical approach // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99, Is. 4, P. 722–730.

11. Santas, J., Guzmán, Ye. J., Guardiola, F., Rafecas, M., Bou, R. High-throughput analysis of lipid hydroperoxides in edible oils and fats using the fluorescent reagent diphenyl-1-pyrenylphosphine // Food Chemistry. 2014. Vol. 162, P. 235–241.

12. Farhoosh, R. New insights into the kinetic and thermodynamic evaluations of lipid peroxidation // Food Chemistry. 2022. Vol. 375, P. 131659.

13. Chen, J., Zhang, L., Li, Yo., Zhang, N., Gao, Yu., Yu, X. The formation, determination and health implications of polar compounds in edible oils: Current status, challenges and perspectives // Food Chemistry. 2021. Vol. 364. P. 130451.

УДК 543.061; 665.3

Самойленко С.І., к.техн.н., доцент, Белінська А.П., к.техн.н., доцент;
Белих І.А., к.біол.н., доцент; Близнюк О.М., д.техн.н, професор,
Масалітіна Н.Ю., к.техн.н, доцент, Мироненко Л.С., к.техн.н., асистент,
Варанкіна О.О., к.техн.н., доцент

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ ТА КОНТРОЛЮ У ДОСЛІДЖЕННІ ОКИСНИХ ПРОЦЕСІВ В ХІМІЧНИХ, ХАРЧОВИХ, БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Досліджено окисні процеси, які мають місце у продукті хімічних, харчових, фармацевтичних технологій та біоінженерії – ліпідному розчині β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, збагаченого поліненасиченими жирними кислотами і рослинними антиоксидантами за допомогою титрування методом замісника для контролювання технологічних властивостей сировини та готової продукції. Аналітичний метод визначення вмісту пероксидів і гідрпероксидів в сировинних компонентах і в розробленому

продукті заснований на реакції взаємодії продуктів окиснення ліпідних компонентів (пероксидів і гідропероксидів) з калій йодидом в розчині оцтової кислоти і хлороформу і подальшому кількісному визначенні йоду, що виділився, розчином натрій тиосульфату титриметричним методом.

Досліджено вміст первинних продуктів окиснення (пероксидів, гідропероксидів) в сировині для розробленого продукту: ліпідного розчину β -каротину з біомаси гетероталічного гриба *Blakeslea trispora*; рослинних олій різного жирнокислотного складу і з різним вмістом природних антиоксидантів. Одержані дані пероксидних чисел сировини задовольняють вимогам відповідної нормативної документації. Виготовлено ліпідний розчин β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, збагаченого поліненасиченими жирними кислотами і природними антиоксидантами, наступного складу: олія соєва рафінована ($70 \pm 3,5$ %); олія кунжутна рафінована ($20 \pm 0,8$ %); олія соняшникова рафінована ($10 \pm 0,6$ %); ліпідний розчин β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora* ($0,01 \pm 5 \cdot 10^{-4}$ %).

Базуючись на проведених дослідженнях, визначено динаміку окиснення розробленого продукту – ліпідного розчину β -каротину з біомаси *Blakeslea trispora*, збагаченого поліненасиченими жирними кислотами і природними антиоксидантами. Доведено, що період індукції окиснення виробленого продукту за 85 ± 1 °C у 3,1 рази вище за період індукції контрольного зразку. Проведені дослідження свідчать про доцільність використання титрування методом замісника для контролю технологічних властивостей сировини та готової продукції в означених вище галузях промисловості.

Ключові слова: аналітична хімія, окисні процеси, титрування методом замісника, контроль технологічних процесів, вуглеводні, тригліцериди, β -каротин.

Самойленко С.И., к.техн.н., доцент; Белинская А.П., к.техн.н., доцент; доцент;
Белых И.А., к.биол.н., доцент; Близнюк О.Н., д.техн.н., профессор,
Масалитина Н.Ю., к.техн.н., доцент, Мироненко Л.С., к.техн.н., асистент,
Варанкина О.А., к.техн.н., доцент

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ И КОНТРОЛЯ В ИССЛЕДОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКИХ, ПИЩЕВЫХ, БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Исследованы окислительные процессы, которые протекают в продукте химических, пищевых, фармацевтических технологий и биоинженерии – липидном растворе β -каротина из биомассы *Blakeslea trispora*, обогащенного полиненасыщенными жирными кислотами и растительными антиоксидантами с помощью титрования методом заместителя для контроля технологических свойств сырья и готового продукта. Аналитический метод определения содержания пероксидов и гидропероксидов в сырьевых компонентах и в разработанном продукте основан на реакции взаимодействия продуктов окисления липидных компонентов (пероксидов и гидропероксидов) с калием йодистым в растворе уксусной кислоты и хлороформа и последующем количественном определении йода, который выделился, раствором натрия тиосульфата титриметрическим способом.

Исследовано содержание первичных продуктов окисления (пероксидов, гидропероксидов) в сырье для разработанного продукта: липидного раствора β -каротина из биомассы гетероталлического гриба *Blakeslea trispora*; растительных масел различного жирнокислотного состава и с различным содержанием природных антиоксидантов. Полученные данные пероксидных чисел сырья удовлетворяют требованиям соответствующей нормативной документации. Изготовлен липидный раствор β -каротина из биомас-

сы *Blakeslea trispora*, обогатенный полиненасыщенными жирными кислотами и растительными антиоксидантами, следующего состава: соевое масло рафинированное ($70 \pm 3,5$ %); масло кунжутное рафинированное ($20 \pm 0,8$ %); масло подсолнечное рафинированное ($10 \pm 0,6$ %); липидный раствор β -каротина из биомассы *Blakeslea trispora* ($0,01 \pm 5 \cdot 10^{-4}$ %).

Основываясь на проведенных исследованиях, определена динамика окисления продукта химических, пищевых, фармацевтических технологий и биоинженерии – липидного раствора β -каротина из биомассы *Blakeslea trispora*, обогатенного полиненасыщенными жирными кислотами и растительными антиоксидантами. Доказано, что период индукции окисления разработанного биофармацевтического продукта при 85 ± 1 °C в 3,1 раза превышает период индукции контрольного образца. Проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности использования титрования методом заместителя для контроля технологических свойств сырья и готовой продукции в указанных выше отраслях промышленности.

Ключевые слова: аналитическая химия, окислительные процессы, гидропероксиды, титрование методом заместителя, контроль технологических процессов, углеводы, триглицериды, β -каротин.

Samoylenko S.I., Belinska A.P., Belykh I.A., Blyzniuk O.M., Masalitina N.Yu.,
Myronenko L.S., Varankina O.O.

APPLICATION OF ANALYTICAL CHEMISTRY AND CONTROL METHODS IN OXIDATION PROCESSES STUDIES OF CHEMICAL, FOOD BIOTECHNOLOGICAL AND PHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

Technological parameters, namely temperature and duration of β -carotene extraction process from filamentous fungus *Blakeslea trispora* biomass via vegetable oils with various fatty acid compositions and various contents of natural antioxidants (refined deodorized sunflower, high-oleic sunflower, corn and sesame) have been investigated. Statistical models of β -carotene dependences, as well as analytical numbers, characterizing content of free fatty acids (acid number) and primary products of lipid oxidation (peroxide number) content, in oil extracts of the specified refined deodorized oils, from temperature and extraction duration have been built.

Rational parameters of β -carotene extraction from *Blakeslea trispora* biomass with selected extractants (refined deodorized sunflower, high-oleic sunflower, corn and sesame oils) have been determined to control extract's technological properties. It has been proven that usage of these refined deodorized oils as extractants practically does not affect on the target product content in oil extracts of biomass, but it does affect on analytical numbers of extracts, characterizing content of free fatty acids, peroxides and hydroperoxides. The highest content of free fatty acids in β -carotene, containing biomass extraction with sunflower oil, has been observed. The minimum content of free fatty acids in extracts with corn and sesame oils has been achieved. The highest content of primary products of β -carotene lipid oxidation (peroxides and hydroperoxides), containing biomass extraction by sunflower oil, has been observed. The minimum content of free fatty acids in extracts with usage of sesame oil has been achieved.

It is possible to predict β -carotene content, as well as acid and peroxide numbers of oil extracts from biomass in specified refined deodorized oils, depending on temperature and extraction process duration, using obtained approximation dependences.

Keywords: analytical chemistry, oxidation processes, hydroperoxides, substituent titration, in-process inspection, carbohydrates, triglycerides, β -carotene.

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

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБЧАСТОМУ ПЛІВКОВОМУ АБСОРБЕРІ ПРИ СУЛЬФАТУВАННІ СУМІШЕЙ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: теплообмін, плівковий абсорбер, сульфатування.

Вступ. Виробництво поверхнево-активних речовин складається з таких стадій: каталітичного окислення двооксиду сірки, сульфатування, нейтралізація та очищення газоподібних викидів. Стадія сульфатування є основною, на якій можливо отримати високоякісні проміжні продукти.

В даний час у світовій практиці процес сульфатування органічних речовин проводиться у трубчастих плівкових абсорберах з низпадним потоком фаз [1]. Як сульфатуючий агент використовується низько концентрований триоксид сірки (3–6 % об.).

В трубчастому плівковому абсорбері створюються м'які умови проходження екзотермічної реакції за рахунок ефективного відводу тепла.

Це дає можливість отримати високоякісні ПАР, як з точки зору ступеня сульфатування, так і з точки зору світлих продуктів.

Аналіз літературних даних. Трубчастий плівковий абсорбер з низпадним потоком фаз представляє собою вертикальну конструкцію з двома потоками: плівка рідинної фази та газоповітряний потік, тобто двофазну систему. Двофазні потоки представляють собою неоднорідні системи з поверхнею розділу фаз газ-рідина [2]. Наявність двох фаз змінює не тільки форми руху таких систем, але й їх природу, так як вирішальний вплив має взаємодія між фазами. На відміну від однофазних потоків на границі розділу двофазних потоків проявляються нові сили – сили міжфазного поверхневого натягу, які впливають і на процес масопередачі і на процес теплообміну.

Аналіз останніх літературних даних [3–9] показав значну кількість експериментальних даних та результатів математичного моделювання таких процесів. Однак в періодичних публікаціях мало даних про вплив на процес теплообміну температур та витрат вихідних реагентів. Такі дослідження дадуть можливість створити більш сучасну конструкцію промислового трубчастого плівкового абсорбера.

Мета роботи. Провести аналіз процесу теплообміну в трубчастому плівковому абсорбері при сульфатуванні суміші органічних речовин газоподібним триоксидом сірки.

Основна частина. Спочатку проведемо аналіз з вибору вихідних температур та витрат застосовуваних реагентів. Вихідна рідинна фаза це суміш вищих спиртів фр. C₁₂ – C₁₄ та моноетаноламідів вищих жирних кислот кокосової олії. Згідно [10] температура плавлення цих спиртів складає 288 К, моноетаноламідів – 342 К. Згідно експериментальних даних температура плавлення суміші складає 300 К. За даними [11] тем-

пература вихідної суміші повинна бути на 10–15 К вище температури їх плавління. Тому вихідну температуру рідинної фази будемо підтримувати на рівні 313 К.

Що стосується витрати рідинної фази, то вона пов'язана з лінійною щільністю зрошування. За даними [12] мінімальна щільність зрошування складає $(0,35-0,45) \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$. Тобто нижній рівень витрати рідинної фази можливо підтримувати на рівні $0,45 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$. При необхідності підвищення продуктивності абсорбера витрату рідинної фази необхідно збільшити, але це пов'язано з можливістю зняття значної кількості тепла реакції і потребує додаткової перевірки.

Вихідна температура газоповітряного потоку пов'язана з попередньою стадією, тобто каталітичного окислення двооксиду сірки до триоксиду сірки. Як правило температуру підтримують на рівні 303–308 К. Що стосується витрати газоповітряного потоку та за даними [12] в плівкових абсорберах швидкість газоповітряного потоку можливо підтримувати в межах 15–30 м/с. При менших швидкостях зменшується продуктивність плівкового абсорбера, а при швидкостях більш як 30 м/с починається бризковіднесення. Представляє значний інтерес дані розрахунку абсорбера при $V_{\Gamma}=16, 20, 24 \text{ м/с}$.

Температура охолоджувальної води пов'язана з кліматичними змінами навколишнього середовища, тобто з літніми та зимовими місяцями. Як правило літом температура охолоджувальної води складає 298 К, а зимою 288 К. Тому для загальних розрахунків можливо використовувати температуру 293 К. Витрата охолоджувальної води буде пов'язана з кількістю виділеного тепла реакції, тобто в залежності від витрати рідинної фази.

У випадку використання в якості вихідної речовини вищих спиртів або моноетаноламідів вищих жирних кислот проявляється специфічна особливість – схильність утворюючих сульфопохідних до термічного розкладу. Так, наприклад, продукти сульфатування вищих спиртів при температурі 333–353 К можуть розкладатися з втратою декількох відсотків ступеня сульфатування, що веде до зниження ефективності процесу. Крім того, термічне розкладання веде ще к підвищенню швидкості основної реакції [13] і різкому збільшенню кількості тепла, що виділяється. Навіть при ефективному тепловідводі термічний розклад та побічні реакції є причиною зниження виходу цільових продуктів і зниження їх якості. Тому треба підтримувати і максимальну температуру рідинної фази на рівні 333–338 К. Є необхідність підтримувати і температуру в кінці абсорбера, яка пов'язана з температурою плавління отриманих продуктів, тобто на рівні 305 К.

Наступний аналіз проводився за допомогою математичного моделювання трубчастого плівкового абсорбера.

За основу математичної моделі була взята спрощена математична модель, яка наведена в [14]. Однак її мета була інша і тому є необхідність привести її в цьому дослідженні.

Математична модель представлялась наступними рівняннями:

$$V_z \frac{dC_A}{dz} = -r; \quad (1)$$

$$W_{\Gamma} \frac{dP_B}{P dz} = -K_{\Gamma} \cdot P_B \cdot A_{\Gamma}; \quad (2)$$

$$V_z \cdot F \cdot c_p \cdot \rho_p \frac{dT_p}{dz} = H_p \cdot F \cdot r - K_{\text{ТХ}} \cdot F (T_p - T_x) - K_{\text{ТГ}} \cdot F (T_p - T_{\Gamma}); \quad (3)$$

$$Q_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \frac{dT_{\Gamma}}{dz} = K_{\Gamma\Gamma} \cdot F \cdot (T_p - T_{\Gamma}); \quad (4)$$

$$Q_X \cdot c_X \cdot \rho_X \frac{dT_X}{dz} = K_{\Gamma X} \cdot F (T_p - T_X); \quad (5)$$

$$V_Z = \frac{\tau_{\Gamma P} \cdot \delta}{\mu_p}; \quad (6)$$

$$\tau_{\Gamma P} = f \cdot \rho_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma}^2; \quad (7)$$

$$\delta = \left(\frac{3 \cdot \Gamma \cdot \mu_p}{\rho_p \cdot g} \right)^{1/3}; \quad (8)$$

$$f = \frac{86}{Re_{\Gamma}}; \quad (9)$$

$$\rho_p = 852 + 2,0 \cdot \eta - 0,68 \cdot (T_p - 273); \quad (10)$$

$$\mu_p = 0,158 \cdot \exp \left\{ -0,5 \cdot \left[0,00013 \cdot (T_p - 273)^2 + 0,00078 \cdot (78 - \eta)^2 \right] \right\}; \quad 0 < \eta < 73; \quad (11)$$

$$\mu_p = 0,0012 \cdot \left[595,6 - 11,34 \cdot \eta + 0,07 \cdot \eta^2 + 0,1 \cdot (T_p - 273) - 0,01 \cdot (T_p - 273)^2 \right]; \quad \eta \geq 73; \quad (12)$$

$$K_{\Gamma} = B \cdot Pr_D^{-0,704} \cdot \left(\frac{\tau_{\Gamma P}}{\rho_{\Gamma}} \right)^{0,5}; \quad (13)$$

$$K_{\Gamma\Gamma} = K_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot \left(\frac{Pr_D}{Pr_{\Gamma}} \right)^{0,67}; \quad (14)$$

$$K_{\Gamma X} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (15)$$

$$\alpha_1 = 0,34 \cdot \frac{\lambda_p}{d} \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_{\Gamma}} \right)^{0,28} \cdot \left(\frac{d \cdot G_{\Gamma P}}{\mu_p} \right)^{0,87} \cdot Pr_{\Gamma}^{0,4}; \quad (16)$$

$$\alpha_2 = 0,021 \cdot \frac{\lambda_X}{d_{екв}} \cdot \left(\frac{V_X \cdot d_{екв} \cdot \rho_X}{\mu_X} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{c_X \cdot \mu_X}{\lambda_X} \right)^{0,4}, \quad (17)$$

де C_A – молярна концентрація вихідної органічної речовини в рідинній фазі, моль/м³; V_Z – швидкість рідинної фази, м/с; r – швидкість реакції, моль/(м²·с); z – осьова координата, м; P – загальний тиск газоповітряного потоку, Па; P_B – поточний парціальний тиск триоксиду сірки в газоповітряному потоці, Па; W_{Γ} – відношення молярної витрати триоксиду сірки на одиницю довжини периметру, моль/(м·с); A_{Γ} – поправний коефіцієнт; K_{Γ} – коефіцієнт масопередачі, м/с; F – площа теплообміну, м²; c_p – питома теплоємність рідинної фази, Дж/(кг·К); ρ_p – густина рідинної фази, кг/м³; T_p – температура рідинної фази, К; H_p – тепловий ефект реакції, Дж/моль; $K_{\Gamma X}$ – коефіцієнт теплопередачі від рідинної фази до потоку охолоджувальної води, Вт/(м²·К); T_X – температура

охолоджувальної води, K ; K_{TG} – коефіцієнт теплопередачі від рідинної фази до газоповітряного потоку, $Вт/(м^2 \cdot K)$; T_T – температура газоповітряного потоку, K ; c_T – питома теплоємність газоповітряного потоку, $Дж/(кг \cdot K)$; ρ_T – густина газоповітряного потоку, $кг/м^3$; Q_T – об’ємна витрата газоповітряного потоку, $м^3/с$; Q_X – об’ємна витрата охолоджувальної води, $м^3/с$; c_X – питома теплоємність охолоджувальної води, $Дж/(кг \cdot K)$; ρ_X – густина охолоджувальної води, $кг/м^3$; τ_{TP} – дотичне напруження на поверхні розділу газ-рідина, $Па$; δ – товщина плівки рідини, $м$; μ_p – динамічна в’язкість рідинної фази, $Па \cdot с$; f – коефіцієнт тертя; V_T – швидкість газоповітряного потоку, $м/с$; Γ – лінійна щільність зрошування, $м^2/с$; g – прискорення вільного падіння, $м/с^2$; Re_T – критерій Рейнольдса для газоповітряного потоку; η – ступінь сульфатування, $\%$; B – поправний коефіцієнт; Pr_D – дифузійний критерій Прандтля; Pr_T – тепловий критерій Прандтля для рідинної фази; α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від рідинної фази до стінки реакційної труби, $Вт/(м^2 \cdot K)$; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки реакційної труби до потоку охолоджувальної води, $Вт/(м^2 \cdot K)$; $\delta_{ст}$ – товщина стінки реакційної труби, $м$; $\lambda_{ст}$ – питома теплопровідність стінки, $Вт/(м \cdot K)$; λ_p – питома теплопровідність рідинної фази, $Вт/(м \cdot K)$; d – діаметр реакційної труби, $м$; G_{TP} – масова витрата газорідинного потоку, $кг/с$; λ_X – питома теплопровідність охолоджувальної води, $Вт/(м \cdot K)$; $d_{екв}$ – еквівалентний діаметр для потоку охолоджувальної води, $м$; V_X – швидкість потоку охолоджувальної води, $м/с$; μ_X – динамічна в’язкість охолоджувальної води, $Па \cdot с$.

Була розроблена програма розрахунку процесу сульфатування суміші органічних речовин в трубчастому плівковому абсорбері з використанням пакету прикладних програм *MatLab*. Результати математичного моделювання були зіставлені з експериментальними даними авторів [15] та результатами математичного моделювання авторів [4]. Похибка в розрахунках була на рівні 3–7 %, що дозволяє говорити про достовірність отриманих за розробленою моделлю результатів.

На рис. 1 наведено дані по зміні температури: рідинної фази, газоповітряного потоку, охолоджувальної води та ступеня сульфатування за довжиною абсорбера при $V_T=16$ м/с.

Плівковий абсорбер представляє собою реакційну трубу з внутрішнім діаметром 0,037 мм, довжиною 5,5 м, з охолодженням двома секціями: верхня – 1/3 довжини абсорбера, нижня – 2/3 довжини абсорбера [9].

Вихідні дані наступні: температура рідинної фази 313 К, температура газоповітряного потоку 303 К, температура охолоджувальної води – 293 К, лінійна щільність зрошування рідини $0,66 \cdot 10^{-4} м^2/с$, швидкість газоповітряного потоку 16 м/с, мольне співвідношення SO_3 : органічна речовина складає 1,08:1,0. Витрата охолоджувальної води у верхню секцію складає 0,14 кг/с, в нижню секцію – 0,04 кг/с. Концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці – 3,7 %об.

Як видно з рис. 1 температура рідинної фази на 1/12 довжини абсорбера підіймається до 335 К а потім знижується до кінця довжини абсорбера: кінцева температура 305 К, що задовольняє наші вимоги з наведеного аналізу.

Температура газоповітряного потоку максимальна на 1/4 довжини абсорбера, тобто 323 К і потім також знижується до кінця абсорбера до 307 К.

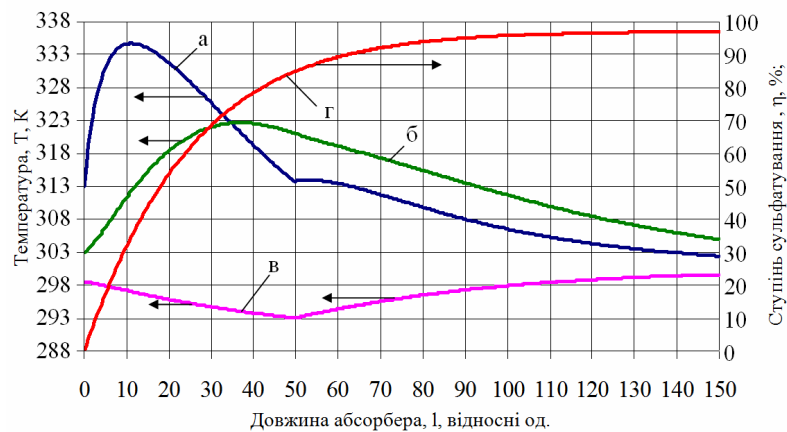


Рисунок 1 – Залежність температури рідинної фази (а), температури газоповітряного потоку (б), температури охолоджувальної води (в) та ступеня сульфатування (г) за довжиною абсорбера ($V_{\Gamma}=16$ м/с)

Температура охолоджувальної води у верхній частині абсорбера змінюється з 293 К до 300 К, а в нижній частині – з 293 К до 301 К.

Ступінь сульфатування на такій довжині абсорбера досягає 97,5 %.

Представляє значний інтерес розподіл виділеного тепла реакції. Воно витрачається на збільшення температури рідинної фази, збільшення температури газоповітряного потоку та передачі тепла до охолоджувальної води. Були проведені розрахунки для трьох точок довжини абсорбера: в точці максимальної температури рідинної фази, в точці максимальної температури газоповітряного потоку та наприкінці абсорбера.

Дослідження показали такі результати : в точці максимальної температури рідинної фази: 2,6 % тепла витрачається на підігрів рідинної фази; 19,5 % тепла передається газоповітряному потоку та 77,9 % тепла передається охолоджувальній воді; в точці максимальної температури газоповітряного потоку : температура рідинної фази зменшується і тому 1,7 % тепла реакції витрачається на підігрів газоповітряного потоку і 98,3 % тепла передається охолоджувальній воді; наприкінці абсорбера : температура рідинної фази і температура газоповітряного потоку зменшуються і тому 100 % тепла реакції передається охолоджувальній воді.

На рис. 2 наведено дані по зміні температури: рідинної фази, газоповітряного потоку, охолоджувальної води та ступеня сульфатування за довжиною абсорбера при $V_{\Gamma}=20$ м/с. Вихідні дані такі : температура рідинної фази 313 К, температура газоповітряного потоку 303 К, температура охолоджувальної води 293 К; лінійна щільність зрошування рідини $0,82 \cdot 10^{-4}$ м²/с, швидкість газоповітряного потоку 20 м/с, мольне співвідношення SO₃ : органічна речовина 1,08 : 1,0. Витрата охолоджувальної води у верхню секцію складала 0,14 кг/с, в нижню – 0,05 кг/с. Концентрація триоксиду сірки в газоповітряному потоці – 3,7 %об.

Як видно з рис. 2 температура рідинної фази на 1/12 довжини абсорбера піднімається до 336 К та потім знижується до кінця довжини абсорбера до 305 К.

Температура газоповітряного потоку максимальна на 1/4 довжини абсорбера і дорівнює 323 К, а потім знижується до кінця довжини абсорбера до 307 К.

Температура охолоджувальної води у верхній частині абсорбера змінюється з 293 К до 300 К, а в нижній частині з 293 К до 300 К. Ступінь сульфатування досягає 97,9 %.

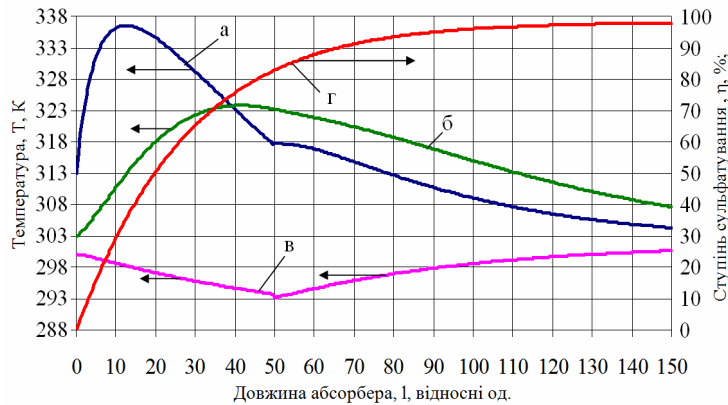


Рисунок 2 – Залежність температури рідинної фази (а), температура газоповітряного потоку (б), температури охолоджувальної води (в) та ступеня сульфатування (г) за довжиною абсорбера ($V_{\Gamma}=20$ м/с)

Дослідження про розподіл тепла реакції, що виділяється показали такі результати : в точці максимальної температури рідинної фази 0,9 % тепла витрачається на підігрів рідинної фази, 16,9 % передається газоповітряному потоку та 82,3 % тепла передається охолоджувальній воді; в точці максимальної температури газоповітряного потоку : температура рідинної фази зменшується і тому 0,3 % тепла реакції витрачається на підігрів газоповітряного потоку і 99,7 % тепла реакції передається охолоджувальній воді; наприкінці абсорбера : температура рідинної фази і температура газоповітряного потоку зменшується і тому 100 % тепла реакції передається охолоджувальній воді.

На рис. 3 наведено дані по зміні температури : рідинної фази, газоповітряного потоку, охолоджувальної води та ступеня сульфатування за довжиною абсорбера при $V_{\Gamma}=24$ м/с. Вихідні дані такі : температура рідинної фази 313 К, температура газоповітряного потоку 303 К, температура охолоджувальної води 293 К; лінійна щільність зрошування рідини $0,1 \cdot 10^{-3}$ м²/с, швидкість газоповітряного потоку 24 м/с, мольне співвідношення SO₃ : органічна речовина 1,08 : 1,0, витрата охолоджувальної води в верхню секцію складає 0,18 кг/с, в нижню – 0,06 кг/с. Концентрація триоксиду сірки у газоповітряному потоці – 3,8 %об.

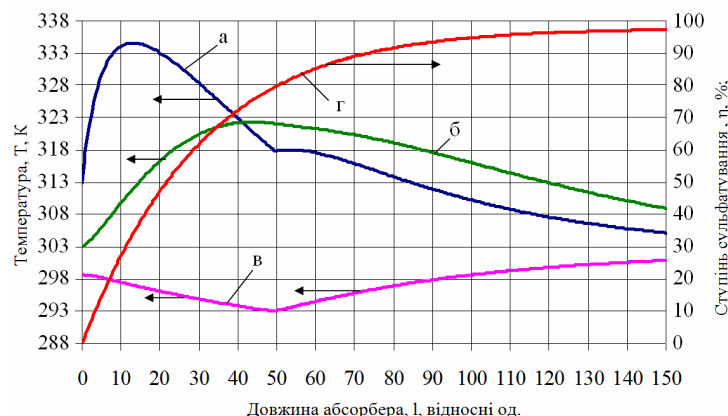


Рисунок 3 – Залежність температури рідинної фази (а), температура газоповітряного потоку (б), температура охолоджувальної води (в) та ступеня сульфатування (г) за довжиною абсорбера при $V_{\Gamma}=24$ м/с

Як видно з рис. 3 температура рідинної фази на 1/12 довжини абсорбера підіймається до 335 К та потім знижується до кінця довжини абсорбера до 305 К.

Температура газоповітряного потоку максимальна на 1/4 довжини абсорбера і дорівнює 322 К, а потім знижується до кінця довжини абсорбера до 308 К.

Температура охолоджувальної води у верхній частині абсорбера змінюється з 293 К до 300 К, а в нижній – з 293 К до 301 К. Ступінь сульфатування досягає 97,3 %.

Дослідження про розподіл тепла реакції, що виділяється показали наступні результати : в точці максимальної температури рідинної фази: 0,9 % тепла витрачається на підігрів рідинної фази; 22,9% тепла передається газоповітряному потоку та 77,8 % тепла передається охолоджувальній воді; в точці максимальної температури газоповітряного потоку : температура рідинної фази зменшується і тому 1,2 % тепла реакції витрачається на підігрів газоповітряного потоку і 98,8 % тепла реакції передається охолоджувальній воді, наприкінці абсорбера : температура рідинної фази і температура газоповітряного потоку зменшується і тому 100 % тепла реакції передається охолоджувальній воді.

Висновки

1. Наведено дані аналізу з вибору температур та витрат використаних реагентів.
2. Наведена математична модель процесу сульфатування сумішей органічних речовин, яка дозволяє провести аналіз процесу теплообміну за довжиною абсорбера.
3. Розроблена програма розрахунку процесу сульфатування з використанням пакету прикладних програм *MatLab*.
4. Наведено результати математичного моделювання для трьох швидкостей газоповітряного потоку : 16 м/с, 20 м/с, 24 м/с.
5. Показано, що основна кількість тепла реакції передається охолоджувальній воді по всій довжині абсорбера.
6. Для розрахунку промислового трубчастого плівкового абсорбера рекомендується використовувати результати математичного моделювання для $V_{\Gamma}=20$ м/с.

Література

1. Norman C. Foster PhD., P.E. Sulfonation and Sulfation. The Chemithon Corporation. 2009. 27 p.
2. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии. Москва : Химия, 1990. 384 с.
3. Dabir B. Riazzi M. R., Davoudirad H. R. Modelling of Falling Film Reactors. Chem. Engng. Sci. 1996. No. 51. P. 2553–2558.
4. Talens F.L. The modeling of falling film chemical reactor. Chem. Eng. Sci. 1999. Vol. 54, No. 12. PP. 1871–1881.
5. Akanksha P., Pant K.K., Srivastava V.K. Modelling of sulphanation of tridecylbenzene in a falling film reactor. Math. Comp. Model. 2007. Vol. 46, No. 9–10. P. 1332–1344.
6. Torres J.A., Díaz L., Sánchez F.J. Falling film reactor for methyl ester sulphonation with gaseous sulphur trioxide. Ing. Investig. 2009. Vol.29. No. 3. P. 48–53.
7. Ortega Y.T. Sulfonation/Sulfation processing technology for anionic surfactant manufacture. Advances in Chemical Engineering. 2011. Vol. 11. P. 269–294.
8. Torres J.A., Sulfonation/Sulfation Processing Technology for Anionic Surfactant Manufacture. Advances in Chemical Engineering. 2012. P. 269–294.

9. Подустов М. О., Дзевочко А.І., Лисаченко І.Г., Дзевочко О.М. Аналіз процесу сульфатування в трубчастому плівковому реакторі методом математичного моделювання. Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків : НТУ "ХПІ". 2017. № 49 (1270). С. 42–49.
10. Дзевочко О.М., Подустов М.О. Дослідження процесу сульфатування органічних речовин газоподібним триоксидом сірки. Інтегровані технології та енергозбереження. Харків : НТУ «ХПІ». 2018. № 2. С. 50–55.
11. Шевердяев О.Н., Белов П.С., Шкитов А.М. Основы технологии поверхностно-активных веществ и синтетических моющих средств. Москва : МГОУ, 2001. 201 с.
12. Рамм В.М. Абсорбция газов. Москва : Химия, 1976. 655 с.
13. Tsuto K., Imamura S., Takei K., Majima K. Overall Reaction Rate for Sulfonation of Sulfation Reaction in Rising-Film Tubular Reactor. KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU. 1985. Vol. 11, Iss. 3. P. 259–266.
14. Дзевочко О.М., Подустов М.О., Дзевочко А.І. Дослідження теплових і масообмінних процесів в газорідних плівкових абсорберах у технології поверхнево-активних речовин. Інтегровані технології та енергозбереження. Харків : НТУ «ХПІ». 2021. № 3. С. 3–16.
15. Gutierrez G.Y., Mans T.C. Improved mathematical model for a falling film sulfonation reactor. Ind. Eng. Chem. Res. 1988. Vol. 27, No. 9. P. 1701–1707.

Bibliography (transliterated)

1. Norman C. Foster PhD., P.E. Sulfonation and Sulfation. The Chemithon Corporation. 2009. 27 p.
2. Romankov P.G., Frolov V.F. Massoobmennye processy himicheskoy tekhnologii. Moskva : Himiya, 1990. 384 p.
3. Dabir B. Riazi M. R., Davoudirad H. R. Modelling of Falling Film Reactors. Chem. Engng. Sci. 1996. No. 51. P. 2553–2558.
4. Talens F.L. The modeling of falling film chemical reactor. Chem. Eng. Sci. 1999. Vol. 54, No. 12. PP. 1871–1881.
5. Akanksha P., Pant K.K., Srivastava V.K. Modelling of sulphanation of tridecylbenzene in a falling film reactor. Math. Comp. Model. 2007. Vol. 46, No. 9–10. P. 1332–1344.
6. Torres J.A., Díaz L., Sánchez F.J. Falling film reactor for methyl ester sulphonation with gaseous sulphur trioxide. Ing. Investig. 2009. Vol.29. No. 3. P. 48–53.
7. Ortega Y.T. Sulfonation/Sulfation processing technology for anionic surfactant manufacture. Advances in Chemical Engineering. 2011. Vol. 11. P. 269–294.
8. Torres J.A., Sulfonation/Sulfation Processing Technology for Anionic Surfactant Manufacture. Advances in Chemical Engineering. 2012. P. 269–294.
9. Podustov M. O., Dzevochko A.I., Lysachenko I.H., Dzevochko O.M. Analiz protsesu sulfatuvannia v trubchastomu plivkovomu reaktori metodom matematychnoho modeliuvannia. Visnyk NTU "KhPI". Seriia: Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia. Kharkiv : NTU KhPI. 2017. № 49 (1270). P. 42–49.
10. Dzevochko O.M., Podustov M.O. Doslidzhennia protsesu sulfatuvannia orhanichnykh rehovyn hazopodibnym tryoksydom sirky. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kharkiv : NTU KhPI. 2018. № 2. P. 50–55.
11. Heverdyayev O.N., Belov P.S., Shkitov A.M. Osnovy tekhnologii poverhnostnoaktivnykh veshchestv i sinteticheskikh moyushchih sredstv. Moskva : MGOU, 2001. 201 p.

12. Ramm VM Gas absorption. Moscow: Chemistry, 1976.655 p.
13. Tsuto K., Imamura S., Takei K., Majima K. Overall Reaction Rate for Sulfonation of Sulfation Reaction in Rising-Film Tubular Reactor. KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU. 1985. Vol. 11, Iss. 3. P. 259 – 266.
14. Dzevochko O.M., Podustov M.O., Dzevochko A.I. Doslidzhennia teplovykh i masoobminnykh protsesiv v hazoridynnykh plivkovykh absorberakh u tekhnolohii poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. Kharkiv : NTU KhPI. 2021. № 3. P. 3 – 16.
15. Gutierrez G.Y., Mans T.C. Improved mathematical model for a falling film sulfonation reactor. Ind. Eng. Chem. Res. 1988. Vol. 27, No. 9. P. 1701–1707.

УДК 661.185 : 66.02

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

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБЧАСТОМУ ПЛІВКОВОМУ АБСОРБЕРІ ПРИ СУЛЬФАТУВАННІ СУМІШЕЙ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

В статті наведено, що виробництво поверхнево-активних речовин (ПАР) складається з таких стадій: каталітичного окислення двооксиду сірки, сульфатування, нейтралізації та очищення газоподібних викидів. Стадія сульфатування є основною, на якій можливо отримати високоякісні проміжні продукти.

Показано, що для процесу сульфатування використовуються трубчасті плівкові абсорбери, в яких створюються м'які умови проходження екзотермічної реакції за рахунок ефективного відводу тепла. Це дає можливість отримати високоякісні ПАР як з точки зору ступеня сульфатування, так і з точки зору світлих продуктів.

Наведено, що трубчастий плівковий абсорбер з низпадним потоком фаз представляє собою вертикальну конструкцію з двома потоками : плівка рідинної фази та газоповітряний потік, тобто двофазну систему.

Наявність двох фаз змінює не тільки форми руху таких систем, але й їх природу, так як вирішальний вплив має взаємодія між фазами. На відміну від однофазних потоків на границі розділу двофазних потоків проявляються нові сили – сили міжфазного поверхневого натягу, які впливають і на процес масопередачі і на процес теплообміну.

Показано, що в періодичних публікаціях мало даних про вплив на процес теплообміну температур та витрат вихідних реагентів.

Такі дослідження дадуть можливість створити більш сучасну конструкцію промислового трубчастого плівкового абсорбера.

Наведено дані аналізу з вибору температур та витрат використаних реагентів. Більш глибокий аналіз процесів теплообміну проводився методом математичного моделювання.

Наведена спрощена математична модель, яка дозволяє провести аналіз процесу теплообміну за довжиною абсорбера. Розроблена програма розрахунку процесу сульфатування суміші органічних речовин в трубчастому плівковому абсорбері з використанням пакету прикладних програм *MathLab*.

Наведено результати математичного моделювання для трьох швидкостей газоповітряного потоку: 16 м/с, 20 м/с, 24 м/с, які були рекомендовані при аналізі витрат вихідних реагентів.

Показано, що основна кількість тепла реакції передається охолоджувальній воді по всій довжині абсорбера.

Ключові слова: теплообмін, плівковий абсорбер, сульфатування.

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

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ТРУБЧАТОМ ПЛЕНОЧНОМ АБСОРБЕРЕ ПРИ СУЛЬФАТИРОВАНИИ СМЕСЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В статье представлено, что производство поверхностно-активных веществ (ПАВ) состоит из следующих стадий: каталитического окисления двуокиси серы, сульфатирования, нейтрализации и очистки газообразных выбросов. Стадия сульфатирования является основной, на которой можно получить высококачественные промежуточные продукты.

Показано, что для процесса сульфатирования используются пленочные трубчатые абсорберы, в которых создаются мягкие условия прохождения экзотермической реакции за счет эффективного отвода тепла. Это дает возможность получить высококачественные ПАВ как с точки зрения степени сульфатирования, так и с точки зрения светлых продуктов.

Приведено, что трубчатый пленочный абсорбер с нисходящим потоком фаз представляет собой вертикальную конструкцию с двумя потоками: пленку жидкостной фазы и газовоздушный поток, то есть двухфазную систему.

Наличие двух фаз изменяет не только формы движения таких систем, но и их природу, так как решающее влияние оказывает взаимодействие между фазами. В отличие от однофазных потоков на границе раздела двухфазных потоков проявляются новые силы – силы межфазного поверхностного натяжения, влияющие и на процесс массопередачи и на процесс теплообмена.

Показано, что в периодических публикациях мало данных о влиянии на теплообмен температур и расхода исходных реагентов.

Такие исследования позволят создать более современную конструкцию промышленного трубчатого пленочного абсорбера.

Представлены данные анализа по выбору температур и расходов использованных реагентов. Более глубокий анализ процессов теплообмена производился методом математического моделирования.

Приведена упрощенная математическая модель, позволяющая провести анализ процесса теплообмена по длине абсорбера. Разработана программа расчета процесса сульфатирования смеси органических веществ в трубчатом пленочном абсорбере с использованием пакета прикладных программ *MathLab*.

Представлены результаты математического моделирования для трех скоростей газовоздушного потока: 16 м/с, 20 м/с, 24 м/с, которые были рекомендованы при анализе расходов исходных реагентов.

Показано, что основное количество тепла реакции передается по охлаждающей воде по всей длине абсорбера.

Ключевые слова: теплообмен, пленочный абсорбер, сульфатирование.

Dzevochko O., Podustov M., Dzevochko A.

ANALYSIS OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN A TUBULAR FILM ABSORBOR DURING SULPHATION OF MIXTURES OF ORGANIC SUBSTANCES

The article states that the production of surfactants consists of the following stages: catalytic oxidation of sulfur dioxide, sulfation, neutralization and purification of gaseous emissions. The sulfation step is the main stage at which high-quality intermediates can be obtained.

It has been shown that tubular film absorbers are used for the sulfation process, which create mild conditions for the exothermic reaction due to efficient heat dissipation. This makes it possible to obtain high-quality surfactants both in terms of the degree of sulfation, and in terms of light products.

It is stated that a tubular film absorber with a descending phase flow is a vertical structure with two flows: a liquid phase film and a gas-air flow, ie. a two-phase system.

The presence of two phases changes not only the forms of motion of such systems, but also their nature, as the interaction between the phases has a decisive influence. In contrast to single-phase flows, new forces are manifested at the interface of two-phase flows - forces of interphase surface tension, which affect both the process of mass transfer and the process of heat transfer.

It is shown that in periodicals there is little data on the impact on the process of heat transfer temperatures and consumption of starting reagents.

Such studies will make it possible to create a more modern design of industrial tubular film absorber.

The data of the analysis on the choice of temperatures and costs of the used reagents are given. A deeper analysis of heat transfer processes was performed by the method of mathematical modeling.

A simplified mathematical model is presented, which allows to analyze the heat transfer process along the length of the absorber. A program for calculating the process of sulfation of a mixture of organic substances in a tubular film absorber using the application package *MathLab*.

The results of mathematical modeling for three velocities of gas flow: 16 m/s, 20 m/s, 24 m/s, which were recommended in the analysis of the costs of starting reagents.

It is shown that the main amount of reaction heat is transferred to the cooling water along the entire length of the absorber.

Keywords: heat transfer, film absorber, sulfation.

Самойленко С.І., к.техн.н., доцент, Белих І.А., к.біол.н., доцент,
Мироненко Л.С., к.техн.н., Звягінцева О.В., к.біол.н., доцент,
Близнюк О.М., д.техн.н, професор, Масалігіна Н.Ю., к.техн.н, доцент

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ТОПІНАМБУРУ У ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНИХ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: інулін, топінамбур, *Helianthus tuberosus L.*, пребіотики, аскорбінова кислота, бета-каротин, полісахариди, фруктозани, клубні, кислотний гідроліз, ферментативний гідроліз

Вступ

Топінамбур або земляна груша (*Helianthus tuberosus L.*) – одне з природних джерел біологічно активної речовини – інуліну (80 % сухої речовини).

Інулін є «запасним» вуглеводом та накопичується в основному в бульбах і коренях, у великій кількості міститься у рослинах сімейства *Asteraceae* в топінамбурі, цикорії, яконі, агаві, кульбабах.

Інулін добре розчиняється у воді, не перетравлюється травними ферментами і тому може бути використаний кишковою мікрофлорою людини як пребіотик [1].

Інулін є розчинним харчовим волокном, яке при його вживанні внутрішньо може допомогти знизити рівень ліпопротеїнів низької густини (поганого холестерину). Крім того, інулін не впливає на рівень глюкози в крові, тому може без побоювання використовуватися у раціоні людей, хворих на діабет [1]. Завдяки своїм пребіотичним властивостям інулін проходить у незмінному стані до товстої кишки, де він сприяє збільшенню вмісту корисних біфідобактерій [2] та пригніченню впливу шкідливих патогенних бактерій. Інулін та його похідні також застосовуються в харчовій промисловості для поліпшення поживних та функціональних властивостей продуктів і використовуються як замітник жиру, щоб зменшити калорійність їжі [2].

Крім інуліну топінамбур містить велику кількість вітамінів, білків, мікро- та макроелементів [2–6].

Тому дослідження умов зберігання топінамбура для збереження максимальної кількості біологічно активних речовин, є актуальною та соціально важливою задачею для життєзабезпечення хворих з порушеннями обміну речовин і профілактичного харчування.

Дослідження існуючих рішень проблеми

Інулін $(C_6H_{10}O_5)_n$ – це полісахарид природного походження, що продукується переважно складноцвітими рослинами. Він представляє собою ланцюжок з декількох залишків фруктози (від 10 до 36) фуранозної форми (β , D-фруктофуранозу) та одного залишку глюкози в піранозній формі (α , D-глюкопіраноза), сполучених між собою β -2,1-глікозидними зв'язками (рис. 1). Молярна маса інуліну коливається у широких межах. За різними джерелами літератури, цей показник становить від 5000 до 6000 г/моль. [2, 7, 8, 9].

Під час кислотного гідролізу полісахариду утворюється приблизно 94–97 % фруктози та 3–6 % глюкози. Інулін, а також проміжні продукти його розщеплення (інулідиди), не мають відновлюючих властивостей [1, 2, 4]. Інулін є запасним вуглеводом [3]. Він утворюється в результаті фотосинтезу в листях рослин та накопичується в стеблах та коренях. У клітині інулін знаходиться у вакуолях у вигляді сферокристалів (рис. 2.) [3, 10].

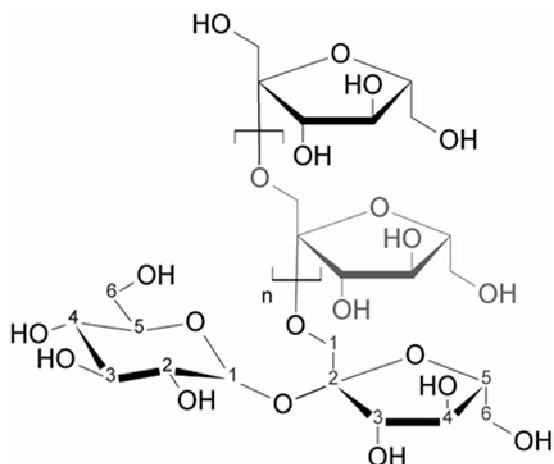


Рисунок 1 – Хімічна формула інуліну

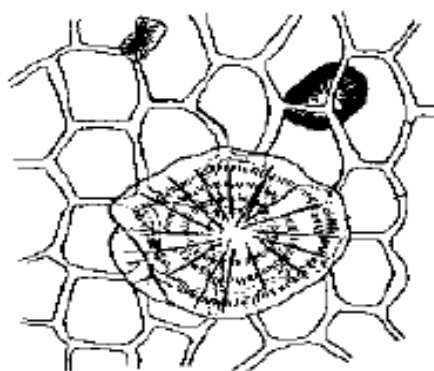


Рисунок 2 – Локалізація інуліну в рослинній клітині

Під впливом низьких температур та інших несприятливих факторів інулін гідролізується інуліназою до оліго- та моноцукрів, які вбудовуються в клітинні мембрани, надаючи цим захисну дію на рослинні клітини [2, 7, 8, 9, 10].

Інулін досить поширений у рослинах, проте його вміст в різних рослинах відрізняється. Дані щодо кількісного та якісного вмісту інуліну в різних культурних рослинах представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Масова частка інуліну в біологічних об'єктах рослинного походження [10]

| Рослина | Масова частка інуліну г/100г сировини |
|--------------|---------------------------------------|
| Цибуля-порій | 3,0–10,0 |
| Часник | 15,0–16,0 |
| Якон | 15,0–19,0 |
| Цикорій | 15,0–20,0 |
| Кульбаба | 16,0–20,0 |
| Топінамбур | 17,0–20,5 |

Основними промисловими джерелами виробництва інуліну є цикорій, якон, топінамбур.

В даний час основною сировиною для отримання інуліну служить цикорій коренеплідний. Цикорій (*Cichorium*) – рід дворічних або багаторічних трав сімейства айстрових чи складноцвітих. Рід включає в себе два види, що культивуються, і від чотирьох до шести диких. Вміст інуліну в цикорії досягає 20 % [10, 11].

Іншим представником коренеплодів, що містять інулін, є якон (*Smallanthus sonchifolius*). Клубні якона, зовні коричневі, всередині білі або жовті, бувають різноманітними за формою та розміром. Вага бульб може досягати до 850–900 г, вміст інуліну – до 19 % у розрахунку на сиру масу. Перспективність використання якону для отримання інуліну оцінюється спеціалістами по-різному [10].

З усіх природних джерел інуліну топінамбур відносять до найперспективніших. Він має такі переваги як: висока врожайність при низьких витратах на його обробку, холодо- та посухостійкість, що не накопичує в собі шкідливі речовини. Бульби топінамбуру містять близько 22 % інуліну у розрахунку на сиру масу [10].

Топінамбур відрізняється від інших бульбоплодів не тільки здатністю накопичувати інулін, але й, порівняно, високим вмістом білка, що складається з 16 амінокислот, у тому числі восьми незамінних. Білки топінамбура містять підвищену кількість глютамінової та аспарагінової кислот, які тісно пов'язані з вуглеводним обміном через цикл трикарбонових кислот, що постачає макроергічні зв'язки [1–3, 8–10].

Вуглеводний та поліфенольний склад бульб топінамбура сорту «Інтерес» та встановила, що загальний вміст поліфенолів становить 230 мг/100г, у тому числі фенолів – 52, лейкоантоціанів – 67, хлорогенової кислоти – 81, кумаринів – 14. Вуглеводний комплекс представлений високомолекулярними полісахаридами на 75 %, їх на частку інуліну припадає 62 %, 12 % становить клітковина, 1,23% - крохмаль, 4,6 % пектинові речовини, у тому числі протопектин – 1,47 % та водорозчинний пектин – 3,13 % [1–3, 8–10].

Бульби топінамбуру містять клітковину (до 4 %) та багатий набір мінеральних елементів, таких як (мг % на суху речовину): калій – 1382,5; кальцій – 78,8; марганець – 44,0; магній – 31,7; натрій – 17,2; залізо – 10,1. Топінамбур активно акумулює кремній з ґрунту, до 8 мг % у розрахунку на суху речовину [1–3, 8–10].

До складу бульб топінамбуру входять такі вітаміни як (на 100 г сирого продукту): ретинол (А) – 2 мкг, тіамін (В₁) – 0,07 мг, рибофлавін (В₂) – 0,06 мг, піридоксин (В₆) – 0,2 мг, фолієва кислота – (В₉) 18,5 мкг, ніотинова кислота (РР) – 1,3 мг, ніациновий еквівалент – (РР) 1,6 мг, аскорбінова кислота (С) – 6 мг, токоферол (Е) – 0,2 мг, β-каротин – 0,012 мг [1–3, 8–10].

Мета та основні задачі дослідження

Метою роботи було дослідження зміни масової частки інуліну та вітамінів у бульбах топінамбуру залежно від умов зберігання.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- визначити кількісний вміст інуліну та вітамінів в топінамбурі за допомогою методів аналітичної хімії;
- дослідити зміну масової частки інуліну при зберіганні топінамбуру за різних температур та у переробленій на порошок сировині;
- дослідити зміну масової частки аскорбінової кислоти за допомогою титриметричного методу аналізу;
- вміст бета-каротину визначали фотоколориметричним методом за стандартною методикою;
- дати рекомендації, щодо способу зберігання топінамбуру з максимальним збереженням вмісту біологічно активних речовин.

Матеріали та методи досліджень

Об'єктом дослідження служили бульби топінамбуру сорту «Київський білий», що вирощені у Харківській області.

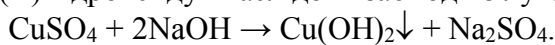
Вміст інуліну визначали методом окисно-відновного титрування і виражали у відсотках на масу сухої речовини. Суть методу полягає у здатності редукуючих цукрів відновлювати (при кип'ятінні) купруму(II) сульфату з утворенням осаду купруму(I) оксиду (Cu_2O), який потім розчиняють у розчині феруму(III) сульфату ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) [11].

При цьому купруму(I) оксид відновлює еквівалентну кількість феруму(III) оксиду в феруму(III) сульфат, кількість якого визначають окисно-відновним титруванням за допомогою калію(IV) біхромату ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). За кількістю відновленої міді знаходять вміст цукрів, що редукують [11].

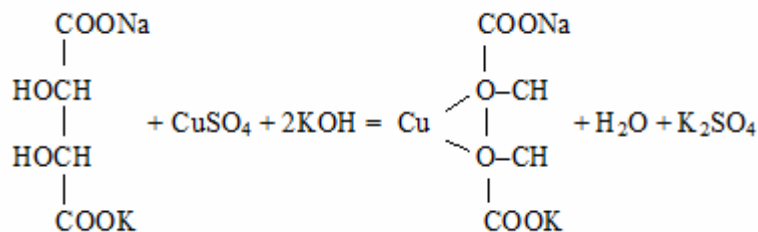
У цьому методі окислювачем служить рідина Фелінга, що складається з двох реактивів: Фелінг I – розчин купруму(II) сульфату; Фелінг II – лужний розчин сегнетової солі (калію-натрію тартрату) [11].

При визначенні цукрів протікають наступні реакції [11]:

При поєднанні двох розчинів Фелінга спочатку утворюється блакитний осад купруму(II) гідроксиду внаслідок взаємодії з лугом:

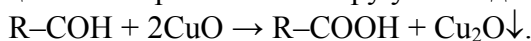


Осад швидко зникає через утворення комплексної сполуки міді з сегнетовою сіллю, рідина набуває інтенсивного синього забарвлення:

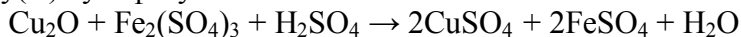


Отримана комплексна сполука є нестійкою і розкладається з утворенням купруму(I) оксиду (Cu_2O).

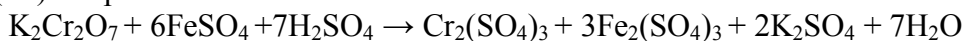
При дії альдозо або кетозо на фелінгову рідину цукри окислюються у відповідні кислоти за рахунок кисню купруму(I) оксиду; при цьому відновлена ними мідь випадає в осад цегляно-червоного кольору у вигляді купруму(I) оксиду (Cu_2O):



Cu_2O виділяється поступово в міру окиснення цукрів. Таким чином, кількість відновленої міді, що випала в осад, пропорційна кількості цукрів у досліджуваному розчині. Купруму(I) оксид визначається об'ємним методом, що заснований на тому, що при розчиненні її у розчині феруму(III) сульфату утворюється еквівалентна кількість феруму(II) сульфату:



Кількість FeSO_4 , еквівалентна кількості CuSO_4 , визначається титруванням калію(IV) біхроматом:

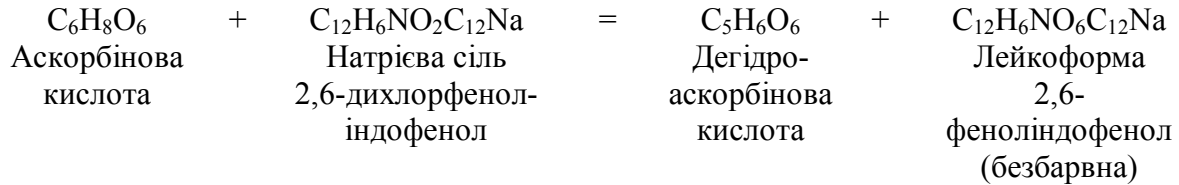


Кількість $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, що витрачена на титрування, еквівалентна кількості міді, що відновлена інуліном. Помноживши об'єм калію(IV) біхромату, що витратили на титрування на титр калій біхромату за міддю, одержують масу відновленої міді та за довідковими таблицями – еквівалентну кількість інуліну [11].

Вміст аскорбінової кислоти визначали за допомогою реактиву Тільманса [12,13].

Метод визначення вмісту аскорбінової кислоти ґрунтується на окисно-відновлювальній реакції, що відбувається між аскорбіновою кислотою та індикатором 2,6-дихлорфеноліндофенолом (реактивом Тільманса). Під час титрування кислотної ви-

тяжки розчином індикатора аскорбінова кислота окислюється в дегідроаскорбінову кислоту, а індикатор при відновлюванні переходить у безбарвну форму. Титрована рідина залишається безбарвною до того часу, доки не закінчиться окислення аскорбінової кислоти. Перша крапля надлишку індикатора надає їй блідо-рожевого забарвлення:



Визначення бета-каротину проводили фотокolorиметричним методом, який полягає в екстракції каротину бензином, видаленні супутніх пігментів оксидом алюмінію і оксидом кальцію і колориметричному визначенні вмісту каротину у бензиновому екстракті. Бензиновий розчин каротину фільтрують і потім фотометрують при довжині хвилі 440 нм, порівнюючи із стандартним розчином біхромату калію. Для проведення аналізу використовували концентраційний фотоелектроколориметр (КФК-2-УХЛ 4.2), кювети шириною 1 см [14].

Визначення масової частки вологи порошку із бульб топінамбуру проводили методом висушування у конвективній сушарці за температури $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постійної маси [12].

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

Результати дослідження

Врожай топінамбуру збирали наприкінці жовтня 2020 року, у цей період були проведені контрольні дослідження для кожної експериментальної групи. Наступні дослідження проводилися у грудні 2020 року, лютому і квітні 2021 року. Топінамбур перед початком зберігання було добре вимито і висушено на повітрі. Період зберігання бульб топінамбуру становив сім місяців [4–6].

Бульби поділили на п'ять груп: контрольна, вміст біологічно активних речовин у ній був визначений одразу після збору; друга група – складалась із подрібненого топінамбура, який був перероблений на порошок та висушений у конвективній сушарці за температури $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$ до остаточного вмісту вологи $(6 \pm 0,5)\%$; третя – бульби зберігались у морозильній камері за температури $(-20 \pm 2)^\circ\text{C}$; четверта група зберігалась у холодильнику за температури $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ [4–6] та п'ята – бульби, що зимували у ґрунті.

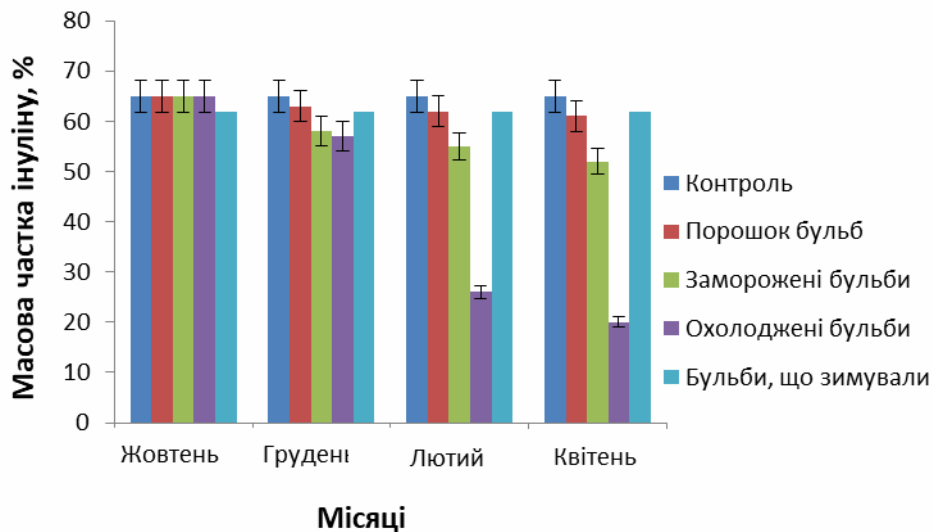
При дослідженні вмісту біологічно активних речовин у топінамбурі сорту «Київський білий» були одержані наступні результати: інуліну – 65,43 мкг/100 г, вітаміну С – 100,12 мкг/100 г, бета-каротину – 55,26 мкг/100 г [4–6].

У першій серії експериментів визначали вміст інуліну. Зберігання бульб протягом дослідного періоду супроводжувалось зниженням масової частки інуліну. Найкращі результати були отримані у переробленій на порошок та висушеній сировині. Масова частка інуліну в ній знизилась лише на 4 %. Спираючись на одержані результати та на літературні дані, можна зробити висновок, що це пов'язано з величиною кінцевої вологості висушеного порошку топінамбура $(6,0 \pm 2)\%$, що уповільнює процес гідролізу, забезпечує стійкість до ферментативних і неферментативних хімічних реакцій, та мікробіологічну стабільність сировини. У заморожених бульбах, які зберігались за температури $(-20 \pm 2)^\circ\text{C}$ показник масової частки знизився на 13–15 %. До кінця термі-

ну зберігання вміст інуліну в охолоджених бульбах (4 ± 2) °C знизився на 45–50 % [5, 6]. Одержані результати було оброблено та представлено у вигляді діаграми на рис. 3.

Зниження вмісту інуліну при зберіганні в охолодженому і замороженому вигляді були відзначені також у роботах зарубіжних вчених [7–9]. Автори пояснюють це активізацією гідролітичних процесів у бульбах, що є відповідною реакцією рослинного організму на дію низьких температур [7–9].

Таким чином, при зберіганні бульб топінамбуру за різних температурних умов частка інуліну була найбільша у бульбах які зимували у ґрунті, на другому місці у порошок, менша у морозильній камері та найменша у холодильнику [5].



Рисуюнок 3 – Зміна масової частки інуліну в бульбах топінамбуру при зберіганні протягом семи місяців за різних температурних режимів

При визначенні вітаміну С (аскорбінової кислоти), навпаки, у порошок бульб спостерігалось різке зниження аскорбінової кислоти, це пояснюється інактивацією вітаміну при дії високих температур ((80 ± 5) °C) у процесі висушування сировини. Вміст аскорбінової кислоти в охолоджених бульбах (4 ± 2) °C до кінця терміну зберігання знизився на 60 %. Найкращі результати були одержані у заморожених бульбах (-20 ± 2) °C, вміст аскорбінової кислоти в них змінився на 12–15 % у порівнянні з контролем. Одержані результати зведено у діаграму та представлено на рис. 4 [4].

У наступній серії експериментів досліджували зміну вмісту бета-каротину. У порошок бульб топінамбуру вміст бета-каротину до кінця терміну зберігання знизився на 12 %. У заморожених бульбах (-20 ± 2) °C – на 35 %. У охолоджених бульбах, вміст бета-каротину супроводжувався зниженням масової частки бета-каротину протягом усього терміну зберігання та становив 60 %. Найкращі результати були одержані у бульб які зимували у ґрунті, масова частка бета-каротину знизилася лише на 10 % [4].

Таким чином, при зберіганні бульб топінамбуру за різних температурних умов, масова частка вітамінів більша у бульбах які зимували у ґрунті, менша у морозильній камері та найменша у холодильнику [4].

Проведені нами дослідження показали, що найвищі показники вмісту біологічно активних речовин зберігалися у бульбах, які зимували у ґрунті. Оскільки у топінамбурі верхній шар не захищає клітини від процесів розпаду, при викопуванні ці процеси активуються, а бульби, що залишені у ґрунті, продовжують функціонувати, тому не акти-

вується апаптоз клітин [7–9].

При зберіганні у вигляді порошку найкращі показники вмісту біологічно активних речовин були одержані для інуліну та бета-каротину. Масова частка аскорбінової кислоти різко знизилась після переробки бульб на порошок, що пояснюється інактивацією вітаміну С в результаті впливу високої температури в процесі сушіння (80 ± 5) °С [4].

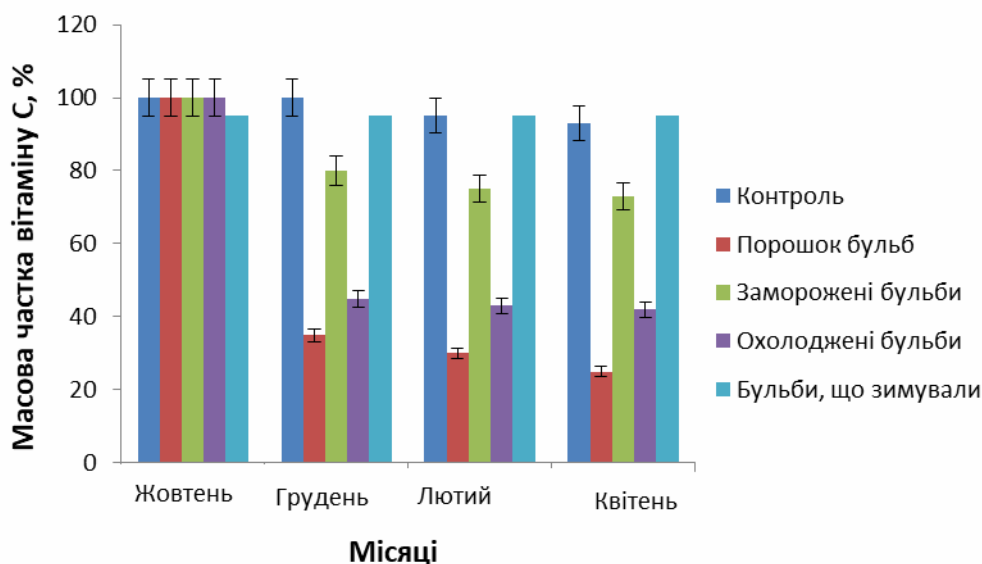


Рисунок 4 – Зміна масової частки вітаміну С в бульбах топінамбура при зберіганні протягом семи місяців за різних температурних режимів

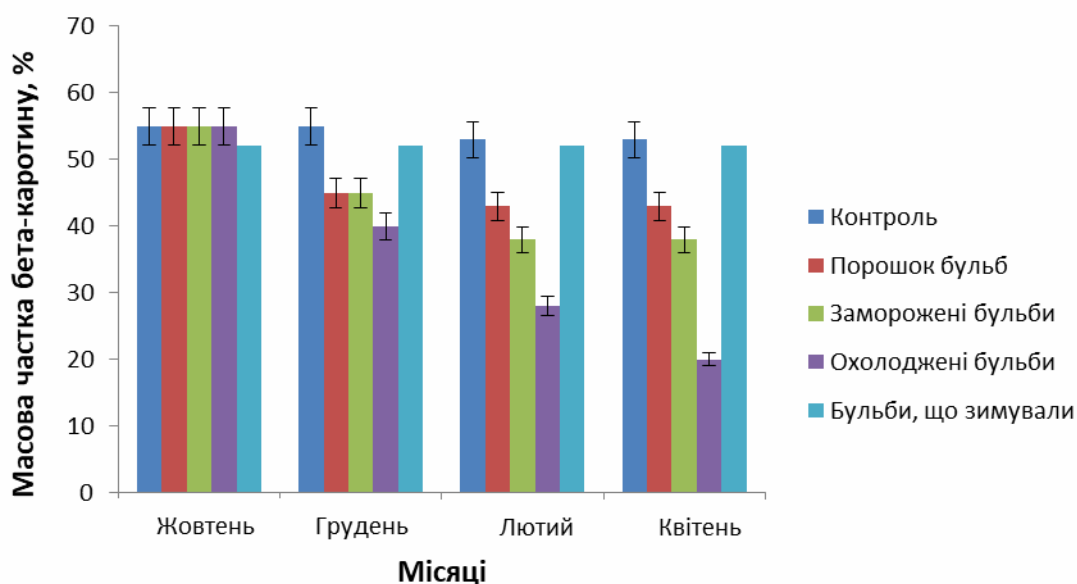


Рисунок 5 – Зміна масової частки бета-каротину в бульбах топінамбура при зберіганні протягом семи місяців за різних температурних умов

При зберіганні за температури (-20 ± 2) °С відбувається різке зниження вмісту бі-

ологічно активних речовин у перші два місяці, далі вміст біологічно активних речовин практично не змінюється. Таке зберігання доцільне протягом тривалого часу. Наприклад, при виробництві препаратів із топінамбуру необхідно забезпечити підприємство сировиною на зимовий період.

Зберігання у холодильнику за температури (4 ± 2) °C є доцільним для нетривалого проміжку часу. Зниження вмісту інуліну та бета-каротину протікає не стрімко, за таких умов можна зберігати протягом двох місяців. При більш тривалому зберіганні бульби в'януть, і на них починає розвиватись патогенна мікрофлора.

Висновки

В результаті проведених досліджень було визначено вміст інуліну та вітамінів у топінамбурі за допомогою аналітичних та фізико-хімічних методів аналізу: інуліну – 65,43 мкг/100 г, вітаміну С – 100,12 мкг/100 г, бета-каротину – 55,26 мкг/100 г.

Досліджено зміну масової частки інуліну при зберіганні топінамбуру за різних температур та у переробленій на порошок сировині. При зберіганні бульб топінамбуру протягом семи місяців за різних температурних умов масова частка інуліну була більша у переробленій на порошок та висушеній сировині – 60 %, менша у морозильній камері – 50 % та найменша у холодильнику – 20 %.

Досліджено зміну масової частки аскорбінової кислоти за допомогою титриметричного методу аналізу. У порошок бульб спостерігалось різке зниження аскорбінової кислоти, це пояснюється інактивацією вітаміну при дії високих температур у процесі висушування сировини (80 ± 5) °C. Вміст аскорбінової кислоти в охолоджених бульбах (4 ± 2) °C до кінця терміну зберігання знизився на 60 %. Найкращі результати були одержані у заморожених бульбах (-20 ± 2) °C, вміст аскорбінової кислоти в них змінився на 12–15 % у порівнянні з контролем.

Дослідження вмісту бета-каротину визначали фотоколориметричним методом за стандартною методикою. У порошок бульб топінамбуру вміст бета-каротину до кінця терміну зберігання знизився на 12 %. У заморожених бульбах (-20 ± 2) °C – на 35 %. У охолоджених бульбах, вміст бета-каротину супроводжувався зниженням масової частки бета-каротину протягом усього терміну зберігання та становив 60 %. Найкращі результати були одержані у бульб які зимували у ґрунті, масова частка вітамінів знизилася лише на 10 %

При зберіганні бульб топінамбуру за різних температурних умов, частка вітамінів більша у бульбах, які зимували у ґрунті, менша у морозильній камері та найменша у холодильнику.

Надано рекомендації щодо способу зберігання топінамбуру з максимальним збереженням вмісту біологічно активних речовин.

Література

1. Kelly G. Inulin-type prebiotics-a review: part 1 // *Altern. Med. Rev.* 2008. Vol. 13, № 4. P. 315–329.
2. Özer D., Akin S., Özer B. Effect of Inulin and Lactulose on Survival of *Lactobacillus Acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium Bifidum* BB-02 in Acidophilus-Bifidus Yoghurt // *Food Sci. And Technol. International.* 2005. Vol. 11, № 1. P.19–24.
3. Roberfroid M.B. Inulin – type fructans: functional food ingredients // *J. Nutr.* 2007. Nov. 137, (11 Suppl). P. 2493–2502.

4. Белих І.А., Григорук М.Ю., Самойленко С.І., Подпорінова О.С., Ларінцева Н.В. / Зміна вмісту аскорбінової кислоти, та вітаміну А в бульбах топінамбуру при зберіганні за різними температурними режимами // Materials of XII international research and practice conference. “Areas of scientific thought”. Technical sciences. Construction and architecture. Agriculture. Sheffield. Great Britain, London: “Science and Education LTD” ol.18, 2015 –2016. С. 89–91.
5. Белих І.А., Самойленко С.І. Дослідження методів зберігання топінамбуру з мінімальною втратою вуглеводного комплексу // Проблеми та досягнення сучасної біотехнології: матеріали I міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (25 березня 2021 р., м. Харків). Х.: НФаУ, 2021. С. 83–84.
6. Белих І.А., Григорук М.Ю., Самойленко С.І., Подпорінова О.С., Ларінцева Н.В. Зміна вмісту інуліну в бульбах топінамбуру при зберіганні за різними температурними // режимами Materialy XI Mezinarodni vedecko-prakticka konference “veda a vznik – 2015”– Ekologie. Zemepis a geologie. Vystavba and archiektura. Zemedelstvi. Praha. Publishing House “Education and Science” Dil.14., 2015. С. 58–61.
7. Kaur N., Gupta A.K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition // J. Biosci. 2002. Vol. 27, № 7. P. 703–714.
8. Kok N.N., Taper H.S., Delzenne N.M. Oligofructose modulates lipid metabolism alterations induced by a fat-rich diet in rats // J. Appl. Toxicol. 1998. Vol. 18, №1. P. 47–53.
9. Danilcenko H., Jariene E., Aleknaviciena P., Gajewski M. Quality of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) Tubers in Relation to Storage Conditions // Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 36(2). 2008. P. 23–27.
10. Valluru R., Van den Ende W. Plant fructans in stress environments: emerging concepts and future prospects // J. Exp. Bot. (2008). 59 (11). P. 2905–2916.
11. Борисюк В.О., Маковецький К.А., Бойко І.І. Визначення водорозчинних вуглеводнів та інуліну в коренеплодах цикорію коренеплідного // Цукрові буряки. 2011. № 5. С. 16–17.
12. Антонюк М.М. Харчова біотехнологія: Лаб. практик. для студ. за напр. підгот. 6.051401 «Біотехнологія» ден. та заоч. форм навч. – К.: НУХТ, 2013. 55 с.
13. Євлаш В.В., Отрошко Н.О., Вакшуль З.В. Удосконалення методик хімічного аналізу вітаміну С у харчових продуктах // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: Міжнародна науково-практична конференція, 18 жовтня 2012 р. – Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі, Харків: ХДУХТ, 2012. Ч.1. 478 с.
14. ДСТУ 4305:2004. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Метод визначення каротину. Введ. 01.07.2005. – К.: Держстандарт України, 2005. 6 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kelly G. Inulin-type prebiotics-a review: part 1 // Altern. Med. Rev. 2008. Vol. 13, № 4. P. 315–329.
 2. Yozer D., Akin S., Yozer B. Effect of Inulin and Lactulose on Survival of *Lactobacillus Acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium Bifidum* BB-02 in Acidophilus-Bifidus Yoghurt // Food Sci. And Technol. International. 2005. Vol. 11, № 1. P.19–24.
 3. Roberfroid M.B. Inulin – type fructans: functional food ingredients // J. Nutr. 2007. Nov. 137, (11 Suppl). P. 2493–2502.
 4. Bielykh I.A., Hryhoruk M.YU., Samoilenko S.I., Podporinova O.S., Larintseva N.V. / Zmina vmistu askorbinovoyi kysloty, ta vitaminu A v bulbakh topinamburu pry zbe-
- ISSN 2078-5364 (print). Інтегровані технології та енергозбереження 1'2022
ISSN 2708-0625 (online)

rihanni za rизnymy temperaturnymy rezhymamy // Materials of XII international research and practice conference. “Areas of scientific thought”. Technical sciences. Construction and architecture. Agriculture. Sheffield. Great Britain, London: “Science and Education LTD” ol.18, 2015 –2016. P. 89–91.

5. Bielykh I.A., Samoilenko S.I. Doslidzhennya metodiv zberihannya topinamburu z minimalnoyu vtratoyu vuhlevodnoho kompleksu // Problemy ta dosyahnennya suchasnoyi biotekhnolohiyi: materialy I mizhnarodnoyi nauk-prakt. internet-konf. (25 bereznya 2021 r., m. Kharkiv). KH.: NFaU, 2021. P. 83–84.

6. Bielykh I.A., Hryhoruk M.YU., Samoilenko S.I., Podporinova O.S., Larintseva N.V. Zmina vmistu inulinu v bul'bakh topinamburu pry zberihanni za rизnymy temperaturnymy // rezhymamy Materialy XI Mezinarodni vedecko-prakticka konferencie “veda a vznik –2015”– Ekologie. Zemepis a geologie. Vystavba and archiektura. Zemedelstvi. Praha. Publishing House “Education and Science” Dil.14., 2015. Str. 58–61. 7. Kaur N., Gupta A.K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition // J. Biosci. 2002. Vol. 27, № 7. P. 703–714.

8. Kok N.N., Taper H.S., Delzenne N.M. Oligofructose modulates lipid metabolism alterations induced by a fat-rich diet in rats // J. Appl. Toxicol. 1998. Vol. 18, №1. P. 47–53.

9. Danilcenko H., Jariene E., Aleknaviciena P., Gajewski M. Quality of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) Tubers in Relation to Storage Conditions // Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 36(2). 2008. P. 23–27.

10. Valluru R., Van den Ende W. Plant fructans in stress environments: emerging concepts and future prospects // J. Exp. Bot. (2008). 59 (11). P. 2905–2916.

11. Borysyuk V.O., Makovets'kyi K.A., Boyko I.I. Vyznachennya vodorozchynnykh vuhlevodniv ta inulinu v korenep-lodakh tsykoriyu koreneplidnoho / // TSukrovi buryaky. 2011. № 5. P. 16–17.

12. Antonyuk M.M., Otroshko N.O., Vakshul' Z.V. Kharchova biotekhnolohiya: Lab. prakt. dlya stud. za napr. pidhot. 6.051401 «Biotekhnolohiya» den. ta zaoch. form navch. – K.: NUKHT, 2013. 55 p.

13. Yevlash V.V. Udoskonalennya metodyk khimichnoho analizu vitaminu S u kharchovykh produktakh. // Prohresyvna tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho ta hotel'noho hospodarstv i torhivli. Ekono-michna stratehiya i perspektyvy rozvytku sfery torhivli ta posluh: Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiya, 18 zhovtnya 2012 r. – Khark. derzh. un-t kharchuvannya ta torhivli, Kharkiv: KHDUKHT, 2012. Ch.1. 478 p.

14. DSTU 4305:2004. Frukty, ovochi ta produkty yikh pereroblennya. Metod vyznachennya karotynu. Vved. 01.07.2005. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2005. 6 p.

УДК 543;633.4

Самойленко С.І., к.техн.н., доцент, Бєлих І.А., к.біол.н., доцент,
Мироненко Л.С., к.техн.н., Звягінцева О.В., к.біол.н., доцент,
Близнюк О.М., д.техн.н, професор, Масалітіна Н.Ю., к.техн.н, доцент

**ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ТОПІНАМБУРУ У
ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІТИЧНИХ ТА
ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ**

Робота присвячена вивченню біологічно активних речовин топінамбуру за допомогою аналітичних та фізико-хімічних методів аналізу. У ході проведення експери-

менту було визначено вміст інуліну та вітамінів у топінамбурі за допомогою методів аналітичної хімії: інуліну – 65,43 мкг/100 г, вітаміну С – 100,12 мкг/100 г, бета-каротину – 55,26 мкг/100 г.

Досліджено зміну масової частки інуліну при зберіганні топінамбуру за різних температур та у переробленій на порошок сировині. При зберіганні бульб топінамбуру протягом семи місяців за різних температурних умов масова частка інуліну була більша у переробленій на порошок та висушеній сировині – 60 %, менша у морозильній камері – 50 % та найменша у холодильнику – 20 %.

Досліджено зміну масової частки аскорбінової кислоти за допомогою титриметричного методу аналізу. У порошку бульб спостерігалось різке зниження вмісту аскорбінової кислоти, це можна пояснити інактивацією вітаміну при дії високих температур у процесі висушування сировини. Вміст аскорбінової кислоти в охолоджених бульбах (4±2) °С до кінця терміну зберігання знизився на 60 %. Найкращі результати були одержані у заморожених бульбах (–20±2) °С, вміст аскорбінової кислоти в них змінився на 12–15 % у порівнянні з контролем.

Досліджено вміст бета-каротину, який визначали фотоколориметричним методом за стандартною методикою. У порошку бульб топінамбуру вміст бета-каротину до кінця терміну зберігання знизився на 12 %. У заморожених бульбах (–20±2) °С – на 35 %. У охолоджених бульбах, вміст бета-каротину супроводжувався зниженням масової частки бета-каротину протягом усього терміну та становив 60 %. Найкращі результати були одержані у бульб, які зимували у ґрунті, масова частка вітамінів знизилася лише на 10 %.

При зберіганні бульб топінамбуру за різних температурних умов, частка вітамінів більша у бульбах які зимували у ґрунті, менша у морозильній камері і найменша у холодильнику.

Надано рекомендації, щодо способу зберігання топінамбуру з максимальним збереженням вмісту біологічно активних речовин.

Висушений порошок бульб топінамбуру найбільш придатний для тривалого зберігання з мінімальною втратою інуліну та бета-каротину, що дає змогу використовувати його при виробництві лікувально-профілактичних препаратів.

Ключові слова: інулін, топінамбур, *Helianthus tuberosus L.*, пребіотики, аскорбінова кислота, бета-каротин, полісахариди, фруктозани, клубні, кислотний гідроліз, ферментативний гідроліз

Белых И.А., к.биол.н., доцент, Самойленко С.И., к.техн.н., доцент,
Мироненко Л.С., к.техн.н., Звягинцева О.В., к.биол.н., доцент,
Близнюк О.Н., д.техн.н, профессор, Масалитина Н.Ю., к.техн.н, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТОПИНАМБУРА В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Работа посвящена изучению биологически активных веществ топинамбура с помощью аналитических и физико-химических методов анализа. В ходе выполнения эксперимента было определено содержание инулина и витаминов в топинамбуре с помощью методов аналитической химии, который составил: инулина – 65,43 мкг/100 г, витамина С – 100,12 мкг/100 г, бета-каротина – 55, 26 мкг/100 г.

Исследовано изменение массовой доли инулина при хранении топинамбура при

различных температурах и в переработанном в порошок сырье. При хранении клубней топинамбура в течение семи месяцев при различных температурных условиях массовая доля инулина была больше в переработанном в порошок и высушенном сырье – 60 %, далее в морозильной камере – 50 % и наименьшая в холодильнике – 20 %.

Исследовано изменение массовой доли аскорбиновой кислоты с помощью титриметрического метода анализа. В порошке клубней наблюдалось резкое снижение аскорбиновой кислоты, что можно объяснить инактивацией витамина при воздействии высоких температур в процессе высушивания сырья. Содержание аскорбиновой кислоты в охлажденных клубнях (4 ± 2) °C к концу срока хранения снизилось на 60 %. Лучшие результаты были получены в замороженных клубнях (-20 ± 2) °C, содержание аскорбиновой кислоты в них изменилось на 12–15 % по сравнению с контролем.

Исследовано содержание бета-каротина определяли фотокolorиметрическим методом по стандартной методике. В порошке клубней топинамбура содержание бета-каротина к концу срока хранения снизилось на 12 %. В замороженных клубнях (-20 ± 2) °C – на 35%. В охлажденных клубнях содержание бета-каротина сопровождалось снижением массовой доли бета-каротина в течение всего срока и составляло 60 %. Лучшие результаты были получены для клубней, зимовавших в почве, массовая доля витаминов снизилась всего на 10 %.

При хранении клубней топинамбура при различных температурных условиях, доля витаминов была больше в клубнях, которые зимовали в почве, меньшая в морозильной камере и наименьшая в холодильнике.

Даны рекомендации по способу хранения топинамбура с максимальным сохранением содержания биологически активных веществ. Высушенный порошок клубней топинамбура наиболее пригоден для длительного хранения с минимальной потерей инулина и бета-каротина, что позволяет использовать его при производстве лечебно-профилактических препаратов.

Ключевые слова: инулин, топинамбур, *Helianthus tuberosus L.*, пребиотики, аскорбиновая кислота, бета-каротин, полисахариды, фруктозаны, клубни, кислотный гидролиз, ферментативный гидролиз

Bielykh I.A., Samoilenko S.I., Myronenko L.S., Zviahintseva O.V., Blyzniuk O.N., Masalitina N.Yu.

TOPINAMBOUR MAIN COMPONENTS CONTENT DETERMINATION IN THE PROCESS OF STORAGE VIA ANALYTICAL AND PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS METHODS

Paper is devoted to the study of topinambour's biologically active substances through analytical and physico-chemical analysis methods.

In the course of experiment, content of inulin and vitamins in topinambour was determined, using methods of analytical chemistry, which was: inulin – 65,43 µg/100 g, vitamin C – 100,12 µg/100 g, beta-carotene – 55,26 µg/100 g.

Change in inulin mass fraction in topinambour's raw material powder during its storage at different temperatures was investigated. During seven months topinambour tubers storing at different temperature conditions, the mass fraction of inulin was larger in altered into powder and dried raw materials - 60 %, then in freezer – 50 % and the smallest mass fraction was in refrigerator – 20 %.

Change in ascorbic acid mass fraction by means of titrimetric analysis method was investigated. A sharp decrease of ascorbic acid content in tuber's powder was observed, it is due to vitamin inactivation under high temperatures in the process of raw materials drying. Content of ascorbic acid in cooled tubers (4 ± 2) °C to the end of shelf-life decreased by 60 %. The best results were obtained in frozen tubers (-20 ± 2) °C, content of ascorbic acid in them has changed 12–15 % compared to control sample.

Beta-carotene content was determined by photocolorimetric method according to standard methods. Content of β -carotene decreased to a level 12 % by the end of shelf life in topinambour's tuber powder. In frozen tubers (-20 ± 2) °C content of β -carotene was accompanied by a decrease in the mass fraction of β -carotene throughout whole storage period and amounted to 60 %. The best results were obtained in tubers that overwintered in soil, vitamin's mass fraction in them decreased by only 10 %.

When storing topinambour's tubers at different temperature conditions, proportion of vitamins is the highest in tubers that have overwintered in soil, then in the freezer and the lowest in the refrigerator.

Recommendations on the method of topinambour's storage with maximum preservation of biologically active substances content were given.

Dried topinambour's tuber powder is most suitable for long-term storage with minimal loss of inulin and beta-carotene, which allows to use this powder in the production of therapeutic and prophylactic drugs.

When stored at temperatures (-20 ± 2) °C there is a sharp decrease in nutrients in the first two months and a further decrease is very slow. Such storage is expedient if it is necessary to keep tubers for a long time. For example, in production of topinambour's preparations it is necessary to provide a plant with raw materials for the winter.

Storage in refrigerator at a temperature of (4 ± 2) °C is advisable for a short period of time. Decrease of inulin and vitamins content is not rapid, in such conditions it can be stored for two months. In the long period, tubers wither and pathogenic microflora begins to develop on them.

The best indicators in all biologically active substances were stored in tubers that overwintered in the soil. Because the top layer in topinambour does not protect cells from decay processes, these processes are activated during digging, and tubers, that were left in the soil, continue to functionate, so cell apoptosis is not activated.

Keywords: inulin, topinambour, *Helianthus tuberosus L.*, prebiotics, ascorbic acid, beta-carotene, polysaccharides, fructosans, tubers, acid hydrolysis, enzymatic hydrolysis.

Набіль Абдель Сатер, Григоров А.Б., д. техн. н., професор

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРЯМКУ ПЕРЕРОБКИ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ

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

Ключові слова: вуглеводнева сировина; класифікація; схема переробки; критерій прогнозування; діелектрична проникність; кінематична в'язкість; коксівність.

Вступ. Відомо, що на економічний розвиток будь-якої країни світу суттєвим образом впливає її забезпеченість у енергоресурсах, зокрема вуглеводнями, які, на теперішній час, є основною сировиною для виробництва різних видів палива. Ефективне функціонування нафтопереробної промисловості відноситься до ключових моментів, які знаходять своє відображення в енергетичній стратегії країни та сприяють її сталому розвитку. На цьому фоні, роботи, що пов'язані з раціональним використанням існуючих технологічних схем переробки вуглеводневої сировини (ВС); з підвищенням загальної культури виробництва та зменшенням шкідливого навантаження на навколишнє середовище, відрізняються своєю актуальністю.

Аналіз публікацій. Прогнозування напрямку переробки (глибини переробки) ВС є тим самим механізмом керування яким, можна здійснювати вплив на показники ефективної роботи установок її первинної, шляхом поєднання в одному технологічному процесі схем первинної переробки з вторинними термічними і термокаталітичними процесами, а також з методами глибокої селективної очистки отриманих продуктів.

Практичне впровадження методу прогнозування напрямку переробки ВС передбачає введення такого певного інтегрального критерію прогнозування (КП), що дозволить класифікувати вуглеводневу сировину за певними типами. На підставі віднесення сировини до певного типу, буде скомпонована раціональна технологічна схема її переробки, що при мінімальних виробничих витратах, дозволить отримувати товарні продукти конкретного асортименту та рівня якості, який відповідає стандартам, прийнятим в Україні і країнах ЄС.

Спираючись на данні, що представлені в технічній літературі, для визначення напрямку переробки нафти, сьогодні використовують її технологічну класифікацію за типами. За цією класифікацією, в залежності від густини, фракційного складу і вмісту парафіну, нафта поділяється на 4 типу [1]. Представлені показники не враховують вміст в нафті смолисто-асфальтенових речовин, які істотно ускладнюють процес її переробки, в наслідок утворення на поверхнях технологічного обладнання високотемпературних відкладень. При цьому, виникає потреба введення в існуючу класифікацію додаткового показника якості або створення нової класифікації вуглеводневої сировини за типами.

З огляду на це, для прогнозування напрямку переробки вуглеводневої сировини введемо технологічну класифікацію, що буде базуватися саме на означеному вище КП. Спираючись на світовий багаторічний досвід у сфері визначення якості нафти та продуктів зазначимо, що до складу КП доцільно підбирати показники, які характеризують

природу ВС і імовірні властивості продуктів її переробки та є інформативними з технологічної точки зору.

Враховуючи, що будь-яка ВС та продукти її переробки проявляють ярко виражені діелектричні властивості то одним з показників, який повинен входити до складу КП є безрозмірний показник – відносна діелектрична проникність (ϵ).

Сьогодні, показник (ϵ) в наслідок своїх позитивних властивостей (оперативності визначення, відсутності при визначенні складного лабораторного обладнання та реактивів тощо) знайшов широке застосування в датчиках рівня нафти та нафтопродуктів, що встановлюються на сировинних і товарних резервуарах, рефлексних ємкостях [2–4]. Також, вона використовується в портативних засобах визначення вмісту в нафті та нафтопродуктах води [5], визначення октанового числа автомобільних бензинів [6], визначенні якості змащувальних олив в експлуатації [7] та при ідентифікації речовин у складі нафти [8]. З іншого боку, показник (ϵ) відноситься до інтегральних показників тобто на його величину впливає хімічний склад ВС, який, в свою чергу, сильно залежить від родовища ВС [9, 10] і наявності у її складі забруднюючих домішок (води, хлористих солей та механічних домішок).

Отже, універсальний КП, тобто без прив'язки до конкретного складу ВС і родовища, буде складатися з показника (ϵ), що доповнений іншими стандартизованими фізико-хімічними показниками якості, наприклад, кінематичною в'язкістю (v^{20} , мм²/с) та коксівністю за Конрадсоном (x_k , %).

Кінематична в'язкість відноситься до числа найважливіших технологічних властивостей вуглеводневої сировини, яка залежить від її фракційного і хімічного складу (чим вищий вміст у сировині висококиплячих фракцій, тим вище її в'язкість) та характеризує прокачуваність нафти при її транспортуванні по заводським нафтопроводам [11]. Окрім цього, кінематична в'язкість дає змогу оцінити придатність вуглеводневої сировини для виробництва змащувальних матеріалів. Тобто, вуглеводневу сировини з значенням $v^{20} \geq 80$ мм²/с, доцільно використовувати для виробництва різних видів рідких змащувальних олив.

Показник коксівності за Конрадсоном, як і v^{20} , характеризує наявність в ВС смол і асфальтенів (x_a , %). При їх високому вмісті ($x_a \geq 10$ % мас.), характерному для важкої нафти, з одного боку, ускладнюється отримання високоякісних базових олив, в наслідок застосування спеціальних (селективного та адсорбційного) методів їх глибокого очищення, з іншого – така сировина є бажаною для виробництва нафтового коксу і різних видів бітумів.

Проведені нами лабораторні дослідження включали в себе визначення величини ϵ , v^{20} , x_k , x_a для 4 групи ВС, що склалися з: Група № 1 – газові конденсати; Групи №2, №3, №4 – нафти різних типів.

Вся ВС була попередньо підготовлена в умовах промислів та доведена в лабораторії до найбільш жорстких вимог, що висуваються [1]: вміст води – 0,1 % мас.; вміст хлористих солей – 40 мг/дм³; вміст механічних домішок – 0,05 % мас. Така глибока підготовка дозволила звести до мінімуму вплив забруднюючих домішок на показники якості ВС, що входять до складу КП.

Результати вимірювання величини (ϵ) при 25 °С представлено у табл. 1.

Аналізуючи данні, наведені у табл. 1 очевидно, що між середніми значеннями величин (ϵ) для груп ВС, що розраховані при N=20, існують співвідношення наступного вигляду

$$\bar{\epsilon}_{\text{№1}} < \bar{\epsilon}_{\text{№2}} < \bar{\epsilon}_{\text{№3}} < \bar{\epsilon}_{\text{№4}} \quad (1)$$

Таблиця 1 – Значення показника (ϵ) для груп досліджуваної ВС

| Група | Кількість досліджуваних проб (N) | Тип ВС [1] | Мінімальне значення (ϵ) | Максимальне значення (ϵ) | Середнє значення ($\bar{\epsilon}_{N_0}$) |
|-------|----------------------------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|
| №1 | 20 | 0 | 1,87 | 2,05 | 2,01 |
| №2 | 20 | 1 | 2,12 | 2,45 | 2,31 |
| №3 | 20 | 3 | 2,46 | 2,64 | 2,57 |
| №4 | 20 | 4 | 2,71 | 2,92 | 2,85 |

Найменші значення $\bar{\epsilon}_{N_01}$ зумовлені високим (80–95 % об.) вмістом в газових конденсатах світлих фракцій, що википають при температурі до 360 °С, у той час як у нафти таких фракцій не більше 60 % об.; меншим вмістом в їх складі, у порівнянні з нафтовою сировиною, сірковмісних сполук, смол і асфальтенів [12].

На наступному етапі досліджень було встановлено взаємозв'язок величини параметру (ϵ) з v^{20} , X_k та X_a , який представлено на рис. 1–3.

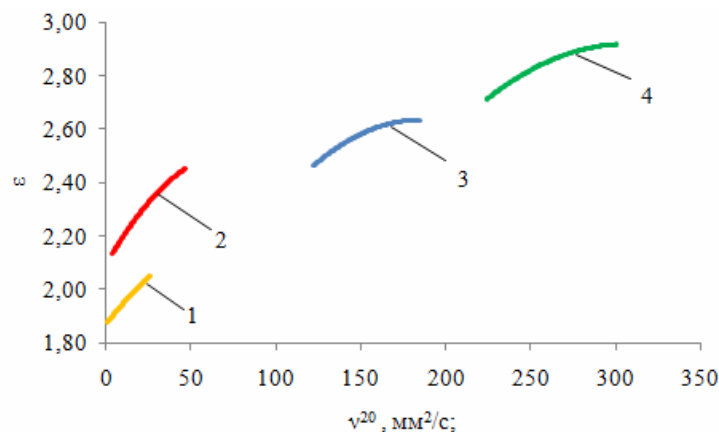


Рисунок 1 – Залежність параметру (ϵ) від v^{20} :
1 – Група №1; 2 – Група №1; 3 – Група №1; 4 – Група №4

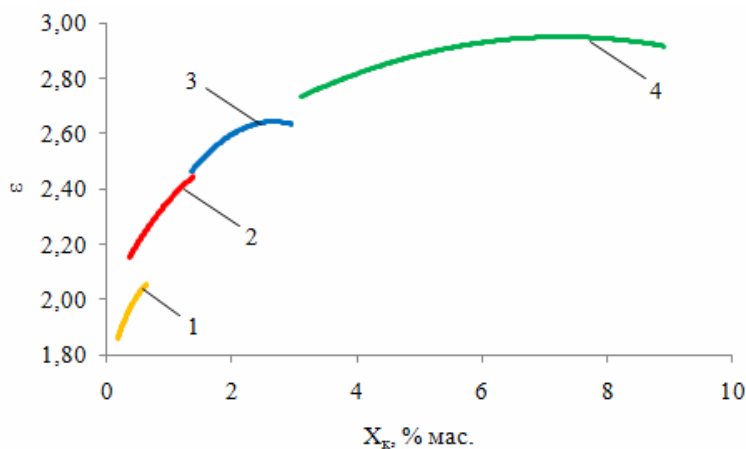


Рисунок 2 – Залежність параметру (ϵ) від X_k :
1 – Група №1; 2 – Група №1; 3 – Група №1; 4 – Група №4

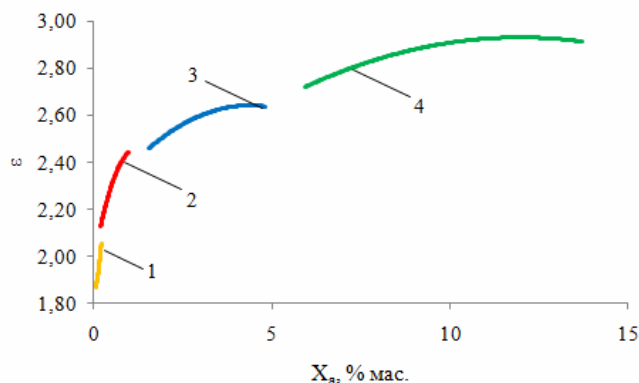


Рисунок 3 – Залежність параметру (ϵ) від X_a :
1 – Група №1; 2 – Група №1; 3 – Група №1; 4 – Група №4

Отримані данні свідчать про те, що величини v^{20} , X_k і X_a для зразків, що входять до групи №4, в порівнянні з групами №1, №2 і №3, характеризуються більшими значеннями: 224,3–300,6 мм²/с, 3,10–8,91 % мас. і 5,95–13,70 % мас, відповідно. Це пояснюється тим, що до хімічного складу важких нафт входить більша кількість, у порівнянні з нафтами груп №1–№3, різноманітних високомолекулярних сполук, як лінійної так і циклічної будови (наприклад, гетероциклічні сполуки з гетероатомами N, O, S). Саме ці сполуки є не бажаними компонентами при виробництві палив та змащувальних оливо, бо мають схильність до окиснення. І, навпаки, значення цих показників для ВС з групи №1, яка зазвичай переробляється за паливним напрямком, характеризуються найменшими значеннями: 0,9–26,4 мм²/с, 0,17–0,64 % мас. і 0,06–0,22 % мас, відповідно.

Враховуючі тісний зв'язок показника (ϵ) з v^{20} , X_k і X_a можна запропонувати його використання як додаткового класифікаційного признаку ВС [10]. Його використання може бути реалізовано, шляхом порівняння фактично виміряного значення з встановленим значенням ($\bar{\epsilon}_{N_0}$) для кожного типу (див. табл. 1), що є особливо доцільним при оперативному визначенні типу ВС, з подальшим прогнозуванням напрямку її технологічної переробки.

Для більш точної оцінки типу ВС за результатами проведених досліджень, запропонуємо модель для визначення КП

$$КП = -11,45 + 6,82 \times \epsilon + 0,02 \times v^{20} + 0,23 \times X_k. \quad (2)$$

Зазначимо, що для зручності у використанні, при отриманні даної моделі було застосовано певне спрощення, зокрема про лінійний характер залежності КП від показників якості.

На підставі проведених досліджень, граничні значення КП для кожного типу нафти, у відповідності до прийнятих міжнародних класифікацій [1]: тип 0 – $КП \leq 1,50$; тип 1, 2 – $1,50 \leq КП \leq 5,50$; тип 3 – $5,50 \leq КП \leq 11,00$; тип 4 – $КП > 11,00$.

Висновки. До початку технологічної переробки вуглеводневої сировини, запропоновано використовувати метод прогнозування напрямку її переробки. Даний метод базується на технологічній класифікації вуглеводневої сировини за типами. Впровадження даного методу дозволить раціоналізувати використання існуючих технологічних схем переробки, без їх суттєвого переоснащення; буде сприяти підвищенню загальної культури виробництва та зменшенню шкідливого навантаження на довкілля.

В якості основного класифікаційного признака при оперативному визначенні типу сировини, пропонується використовувати величину (ϵ), для точної оцінки типу сировини – критерій прогнозування (КП), який формується по принципу комбінування (ϵ) з такими стандартизованими показниками як кінематична в'язкість (ν^{20} , мм²/с) та коксівність за Конрадсоном (X_k , % мас).

На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що при ВС відноситься до 0 типу; при ВС відноситься до 1, 2 типу; при ВС відноситься до 3 типу; при ВС відноситься до 4 типу

Література

1. ГОСТ 31378. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ НЕФТЬ. Общие технические условия. Crude petroleum. General specifications. М.: Стандартинформ, 2009. – 12 с.
2. Brajesh Kumar. A Review on Capacitive-Type Sensor for Measurement of Height of Liquid Level / Brajesh Kumar, G. Rajita, Nirupama Mandal. // Measurement and Control. – 2014. - №47(7 1). – P. 219-224.
3. Bera S.C. Study of a modified capacitance-type level transducer for any type of liquid / S.C. Bera, H. Mandal, S. Saha, A. Dutta // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2014. – № 63(3). – P. 641–649.
4. Andreas Och. Accuracy Bounds and Measurements of a Contactless Permittivity Sensor for Gases Using Synchronized Low-Cost mm-Wave Frequency Modulated Continuous Wave Radar Transceivers / Andreas Och, Jochen O. Schrattenecker, Stefan Schuster et al // Sensors. – 2019. – № 19(15). – 3351; <https://doi.org/10.3390/s19153351>.
5. Wu Mingfang. The oil product moisture meter based on the electromagnetic resonance / Wu Mingfang, Tang Dedong // J Instrument Technique and Sensor. – 2008. – №4. – P. 16–18.
6. Guan L. Determination of octane numbers for clean gasoline using dielectric spectroscopy / L. Guan, X.L. Feng, Z.C. Li, G.M. Lin // Fuel. – 2009. – № 88(8). – P. 1453–1459.
7. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость трансмиссионных масел / А.Б. Григоров, И.С. Наглюк // Автомобильный транспорт. – 2010. – №26. – С. 43–46.
8. Abhishek Punase. Stability Determination of Asphaltenes through Dielectric Constant Measurements of Polar Oil Fractions / Abhishek Punase, Berna Hascakir // Energy Fuels. – 2017. – №31(1). – P. 65–72.
9. Руднев В.А. Исследование диэлектрических свойств газовых конденсатов / В.А. Руднев, П.В. Карножицкий, А.Ф. Климчук // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". – 2007. – № 32. – С. 24–33.
10. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость нефти как дополнительный классификационный признак / А.Б. Григоров, В.А. Руднев // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – № 2. – С. 51–53.
11. Severa L. Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oils / L. Severa, M. Havlíček, V. Kumbar // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. – 2009. – № 8. – P. 95–102.
12. Рахимов Т.Х. Совершенствование процесса первичной переработки нефти и газового конденсата с получением серосодержащих соединений и углеводородов / Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Специальность 05.17.07. – 2020. – 125 с.

Bibliography (transliterated)

1. GOST 31378. MEZHGOSUDARSTVENNYY STANDART NEFT'. Obshchiye tekhnicheskkiye usloviya. Crude petroleum. General specifications. M.: Standartinform, 2009. – 12 p.
2. Brajesh Kumar. A Review on Capacitive-Type Sensor for Measurement of Height of Liquid Level / Brajesh Kumar, G. Rajita, Nirupama Mandal. // Measurement and Control. – 2014. – №47(7 1). – P. 219–224.
3. Bera S.C. Study of a modified capacitance-type level transducer for any type of liquid / S.C. Bera, H. Mandal, S. Saha, A. Dutta // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2014. – № 63(3). – P. 641–649.
4. Andreas Och. Accuracy Bounds and Measurements of a Contactless Permittivity Sensor for Gases Using Synchronized Low-Cost mm-Wave Frequency Modulated Continuous Wave Radar Transceivers / Andreas Och, Jochen O. Schrattenecker, Stefan Schuster et al. // Sensors. – 2019. – № 19(15). – P. 3351; <https://doi.org/10.3390/s19153351>.
5. Wu Mingfang. The oil product moisture meter based on the electromagnetic resonance / Wu Mingfang, Tang Dedong // J Instrument Technique and Sensor. – 2008. – №4. – P. 16–18.
6. Guan L. Determination of octane numbers for clean gasoline using dielectric spectroscopy / L. Guan, X.L. Feng, Z.C. Li, G.M. Lin // Fuel. – 2009. – № 88(8). – P. 1453–1459.
7. Grigorov A.B. Dielektricheskaya pronitsayemost' transmissionnykh masel / A.B. Grigorov, I.S. Naglyuk // Avtomobil'nyy transport. – 2010. – №26. – P. 43–46.
8. Abhishek Punase. Stability Determination of Asphaltenes through Dielectric Constant Measurements of Polar Oil Fractions / Abhishek Punase, Berna Hascakir // Energy Fuels. – 2017. – №31(1). – P. 65–72.
9. Rudnev V.A. Issledovaniye dielektricheskikh svoystv gazovykh kondensatov / V.A. Rudnev, P.V. Karnozhitskiy, A.F. Klimchuk // Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KHPI". – 2007. – № 32. – P. 24–33.
10. Grigorov A.B. Dielektricheskaya pronitsayemost' nefti kak dopolnitel'nyy klassifikatsionnyy priznak / A.B. Grigorov, V.A. Rudnev // Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2013. – № 2. – P. 51–53.
11. Severa L. Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oils / L. Severa, M. Havliček, V. Kumbar // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. – 2009. – № 8. – P. 95–102.
12. Rakhimov T.KH. Sovershenstvovaniye protsessa pervichnoy pererabotki nefti i gazovogo kondensata s polucheniyem serosoderzhashchikh soyedineniy i uglevodorodov / Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata khimicheskikh nauk. Spetsial'nost' 05.17.07. – 2020. – 125 p.

УДК 621.382:622.276

Набіль Абдель Сатер, Григоров А.Б.

**МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРЯМКУ ПЕРЕРОБКИ
ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ**

В статті запропоновано раціоналізувати роботу установок з переробки вуглеводневої сировини, за рахунок її класифікації за типами, використовуючи критерій прогно-

зування (КП) напрямку переробки. Такий підхід у загальному випадку буде сприяти раціональному використанню технологічного обладнання, зниженню металоємності апаратів та схем переробки, зниженню енергетичних витрат за рахунок рекуперації надлишкового тепла та зниження теплообміну з навколишнім середовищем, ефективному використанню насосного обладнання. При цьому, також буде підвищуватися загальна культура виробництва та буде спостерігатися зменшенням шкідливого навантаження на довкілля. Експериментальні дослідження показали, що показники відносної діелектричної проникності (ϵ), кінематичною в'язкістю (ν^{20} , мм²/с) та коксівністю за Конрадсоном (x_k , %) вуглеводневої сировини, суттєво залежать від її хімічного та фракційного складу. Зважаючи на це, запропонований КП повинен базуватися на урахуванні означених вище показників. Експериментальні дослідження дозволили визначити певні граничні значення КП у відповідності до яких, вуглеводневу сировину можна віднести до певного типу: тип 0 – $KП \leq 1,50$; тип 1, 2 – $1,50 \leq KП \leq 5,50$; тип 3 – $5,50 \leq KП \leq 11,00$; тип 4 – $KП > 11,00$.

На підставі розрахованих значень КП, в подальшій перспективі, можна розробити раціональні схеми технологічної переробки вуглеводневої сировини, які будуть відноситися до паливного, оливного та комбінованого напрямку (варіанту). В залежності від потреби у певних видів нафтопродуктів, цільовими компонентами, які отримують при реалізації даних схем є вуглеводневі гази, моторні і котельні палива, змащувальні оливи, нафтовий кокс, бітуми, побічні продукти – гази деструкції, парафін, смоли і асфальтени.

Ключові слова: вуглеводнева сировина; класифікація; схема переробки; критерій прогнозування; діелектрична проникність; кінематична в'язкість; коксівність.

Набилъ Абдель Сатер, Григоров А.Б.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

В статье предложено рационализировать работу установок по переработке углеводородного сырья, за счет его классификации по типам, используя критерий прогнозирования (КП) направления переработки. Такой подход будет способствовать рациональному использованию технологического оборудования, снижению металлоемкости аппаратов и схем переработки, снижению энергетических затрат за счет рекуперации избыточного тепла и снижению теплообмена с окружающей средой, эффективному использованию насосного оборудования. При этом также будет повышаться общая культура производства, что в свою очередь, способствует уменьшению вредной нагрузки на окружающую среду. Экспериментальные исследования показали, что показатели относительной диэлектрической проницаемости (ϵ), кинематической вязкостью (ν^{20} , мм²/с) и коксуемости по Конрадсону (x_k , %) углеводородного сырья существенно зависят от его химического и фракционного состава. Ввиду этого, предлагаемый КП должен базироваться на учете указанных выше показателей. Экспериментальные исследования позволили определить предельные значения КП в соответствии с которыми, углеводородное сырье можно отнести к определенному типу: тип 0 – $KП \leq 1,50$; тип 1, 2 – $1,50 \leq KП \leq 5,50$; тип 3 – $5,50 \leq KП \leq 11,00$; тип 4 – $KП > 11,00$.

На основании рассчитанных значений КП, в дальнейшей перспективе, можно разработать рациональные схемы технологической переработки углеводородного сы-

рья, которые будут относиться к топливному, масляному или комбинированному направлению (варианту). В зависимости от потребности в определенных видах нефтепродуктов, целевыми компонентами, получаемыми при реализации данных схем, будут являться углеводородные газы, моторные и котельные топлива, смазочные масла, нефтяной кокс, битумы, побочные продукты – деструкции, парафин, смолы и асфальтены.

Ключевые слова: углеводородное сырье; классификация; схема переработки; критерий прогнозирования; диэлектрическая проницаемость; кинематическая вязкость; коксуемость.

Abdel Nabil Sater, Grigorov A.B.

METHOD OF FORECASTING THE DIRECTION OF PROCESSING HYDROCARBONS

In the article it is offered to rationalize work of installations on processing of hydrocarbonic raw materials, at the expense of its classification on types, using criterion of forecasting (KP) of the direction of processing. This approach will generally contribute to the rational use of technological equipment, reducing the metal consumption of devices and processing schemes, reducing energy costs by recovering excess heat and reducing heat exchange with the environment, efficient use of pumping equipment. At the same time, the general culture of production will increase and the harmful load on the environment will be reduced. Experimental studies have shown that the relative dielectric constant (ϵ), kinematic viscosity (ν^{20} , mm^2 / s) and Conradson coking ($x_k, \%$) of hydrocarbons, significantly depend on its chemical and fractional composition. In view of this, the proposed CP should be based on the above indicators. Experimental studies have allowed determining certain limit values of KP in accordance with which, hydrocarbons can be attributed to a certain type: type 0 – $KП \leq 1,50$; type 1, 2 – $1,50 \leq KП \leq 5,50$; type 3 – $5,50 \leq KП \leq 11,00$; type 4 – $KП > 11,00$.

On the basis of the calculated values of KP, in the future, it is possible to develop rational schemes of technological processing of hydrocarbons, which will be related to the fuel, oil and combined direction (option). Depending on the needs of certain types of petroleum products, the target components obtained in the implementation of these schemes are hydrocarbon gases, motor and boiler fuels, lubricating oils, petroleum coke, bitumen, by-products – degradation gases, paraffin, resins and asphaltenes.

Keywords: hydrocarbon raw materials; classification; processing scheme; forecasting criteria; dielectric constant; kinematic viscosity; coking.

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

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

²Бірюков І.Ю., д.т.н., доцент, професор кафедри ракетно-артилерійського озброєння

³Гунько О.О., начальник відділення озброєння Секції озброєння і техніки

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН БАЛІСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСТРІЛІВ РОЗДІЛЬНО-ГІЛЬЗОВОГО ЗАРЯДЖАННЯ ІЗ ЗАРЯДАМИ ТРИВАЛИХ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

¹Харківський Національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

²Національна академія Національної гвардії України, Харків

³Східне оперативно-територіальне об'єднання Національної гвардії України, Харків

Ключові слова: пороховий заряд, балістичні характеристики озброєння, гарантійні терміни експлуатації, геронтологічні зміни, піроксилінові порохи, регенерація зарядів, дальність пострілу, початкова швидкість снаряда.

Постановка проблеми та аналіз публікацій

В даний час в Україні є великі запаси різних боєприпасів, які набагато перевищують потреби силових структур. Але термін їх експлуатації становлять 30 і більше років і збільшуються з кожним роком. Проведені в період 2001–2015 років дослідження [1–7] показали, що вже після 15 років експлуатації через зміни характеристик порохового заряду відбуваються зміни балістичних характеристик зброї, які неможливо відкоригувати прицільними пристосуваннями. Виникає питання доцільності застосування таких боєприпасів, як у сфері безпеки особового складу, так і точності виконання вогневих завдань та експлуатації озброєння загалом.

Така ситуація склалася через те, що заряди боєприпасів складаються з піроксилінового пороху. Властивості піроксилінових порохів змінюються в залежності від терміну їх експлуатації. При тривалому зберіганні піроксилінові порохи зарядів боєприпасів зазнають фізико-хімічних перетворень, внаслідок чого застосування таких боєприпасів стає не лише неможливим, а й небезпечним [8, 9]. Порохи втрачають свої характеристики та не забезпечують бойові властивості озброєння.

У минулому планова ротация боєприпасів забезпечувала підтримання їх необхідних властивостей та, відповідно, озброєння. При цьому термін експлуатації не перевищував 10 років. На даний час в Україні відсутнє виробництво боєприпасів, а наявні знаходяться далеко за межами гарантійних термінів експлуатації. Закупівлі нових боєприпасів не провадяться. У зв'язку з цим неможливо уникнути негативної дії геронтологічних змін у порохових зарядах боєприпасів [1].

Описати проблему з боєприпасами на даний момент можна так [10]:

- весь боєзапас перебуває на післягарантійних термінах експлуатації;
- застосування боєприпасів за призначенням пов'язане з загрозою для особового складу та озброєння;
- обсяги боєзапасу боєприпасів, що зберігаються, набагато перевищують необхідні потреби в них силових структур;

– використання озброєння з боеприпасами тривалих термінів експлуатації є малоефективним.

Одним із завдань, пов'язаних із проблемою експлуатації боеприпасів, є можливість прогнозування зміни їх властивостей на різних термінах зберігання. Найважливішим показником зміни властивостей порохів є зниження початкової швидкості вражаючого елемента. За цим показником оцінюється зміна балістичних показників озброєння.

Аналіз літератури свідчить, що останнім часом з'явилися публікації [1, 2, 5, 6, 10], пов'язані з обґрунтуванням термінів експлуатації боеприпасів. Проведені експериментальні дослідження [1, 5] підтверджують ефект зниження маси порохового заряду при його тривалому зберіганні. Проте у літературі немає відомостей у тому, як впливає зміна маси порохового заряду на показник початкової швидкості. Також немає обґрунтованого прогнозу змін балістичних характеристик порохових зарядів та озброєння. У роботі [11] подано дані про можливе відновлення властивостей порохових зарядів тривалих термінів експлуатації. Проте не визначено часові терміни проведення регенерації порохових зарядів для отримання найкращого ефекту.

В умовах експлуатації боеприпасів з післягарантійними термінами зберігання прогнозування зміни властивостей порохових зарядів є важливим науково-технічним завданням.

У зв'язку з цим **метою статті** є виявлення змін характеристик, що відбуваються у порохових зарядах післягарантійних періодів експлуатації та прогнозування термінів можливого проведення регенерації зарядів піроксилінових порохів для отримання найкращого ефекту.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети проведено дослідження результатів стрільби із 122-мм гаубиці Д-30. Експеримент із бойовою стрільбою проведено з використанням боеприпасів різних років виготовлення та відповідає 21, 32, 38, 45 рокам експлуатації.

У табл. 1 наведено результати середньої дальності стрільби у відносній величині. За одиницю прийнято табличні дані [12, 13].

Таблиця 1 – Дальність стрільби при використанні порохових зарядів різних років виготовлення

| | Табличні дані | Термін експлуатації (років) | | | |
|--------------------|---------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | | 21 | 32 | 38 | 45 |
| Дальність стрільби | 1 | 0,965 | 0,951 | 0,944 | 0,939 |

Усі експериментальні дослідження проводилися за однакових умов:

- вихідні дані стрільби – єдині для всіх повторів експерименту;
- заряд – заряд № 2;
- снаряд – ОФ-462Ж.

Вважаючи, що зміна (зменшення) дальності стрільби (L) відбувається через зменшення початкової швидкості (V_0), для кожної дальності було визначено V_0 із відношення горизонтальної дальності [14]:

$$L = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}, \quad (1)$$

де L – горизонтальна дальність; V_0 – початкова швидкість снаряда; α – кут кидання; g – прискорення вільного падіння.

З (1) отримаємо вираз початкової швидкості через дальність стрільби

$$V_{0\tau} = \sqrt{\frac{L_\tau \cdot V_{0T}^2}{L_{0T}}}, \quad (2)$$

де $V_{0\tau}$ – початкова швидкість снаряда за певного терміну експлуатації; L_τ – дальність пострілу за $V_{0\tau}$; V_{0T} – початкова швидкість снаряда (таблична); L_{0T} – дальність пострілу за V_{0T} .

На графіках (рис 1, 2) представлені залежності зміни горизонтальної дальності пострілу та початкової швидкості снаряда від терміну експлуатації боєприпасів. Дані залежності справедливі при використанні нового ствола та боєприпасів післягарантійних термінів експлуатації.

Аналітичний вираз залежності горизонтальної дальності пострілу від терміну експлуатації порохового заряду виглядає так

$$L_\tau = 2 \cdot 10^{-5} \tau^2 - 0,0022\tau + 1,0042. \quad (3)$$

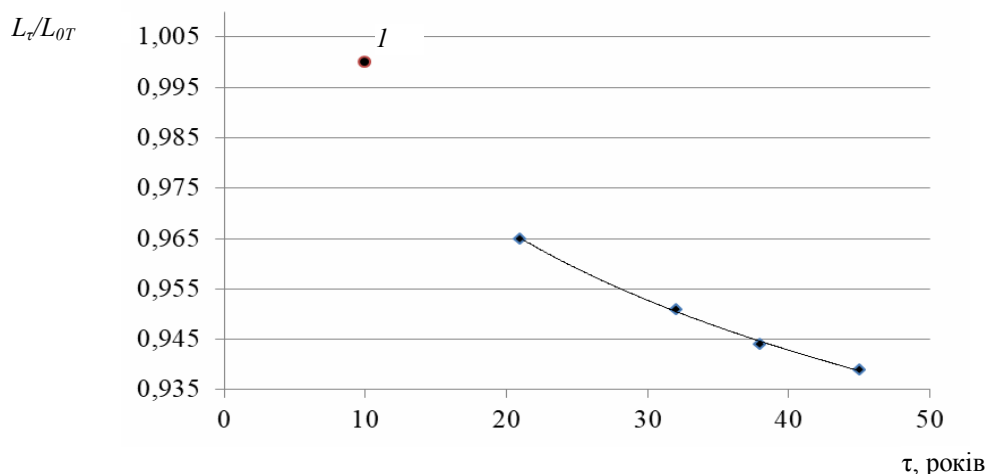


Рисунок 1 – Зміна відносного показника горизонтальної дальності пострілу від терміну експлуатації порохового заряду

Точка 1 на графіках відповідають табличному значенню дальності пострілу (рис. 1) та початковій швидкості снаряда (рис. 2) в умовах проведеного експерименту.

Пунктирна горизонтальна лінія позначає граничне значення допустимого зниження початкової швидкості снаряда (-5 %) від табличного [15]. Точка А показує максимальний термін експлуатації порохового заряду, на якому ще можливе

коригування дальності стрільби шляхом внесення поправок у вихідні дані для стрільби. Згідно з отриманими експериментальними даними такий термін може бути оцінений у 25–27 років.

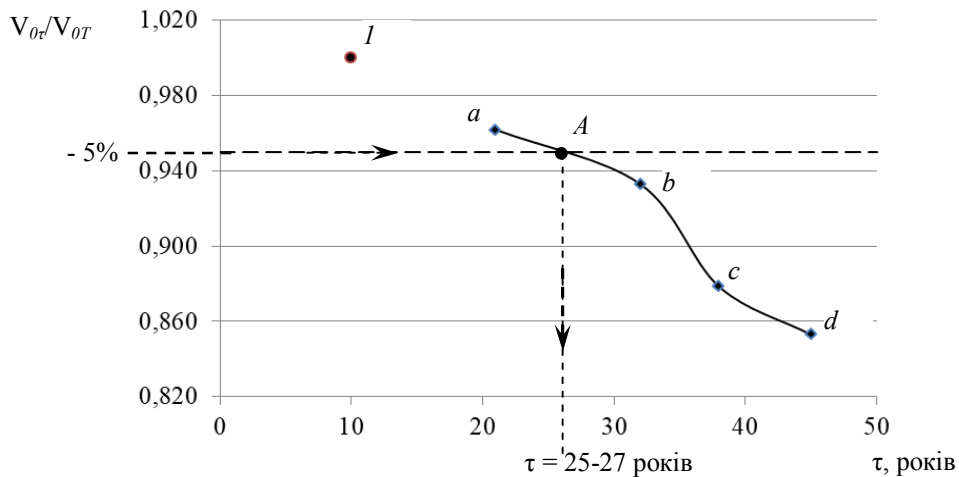


Рисунок 2 – Зміна відносного показника початкової швидкості снаряда від терміну експлуатації порохового заряду

У роботах [5, 16, 17] пропонувався прогноз зміни початкової швидкості снаряда, залежно від терміну експлуатації боєприпасів. З огляду на це, а також оцінюючи графік залежності (рис. 2) можна припустити, що:

- відрізок *a-b* – період експлуатації порохового заряду, у якому, за допомогою корекції, зберігаються балістичні характеристики озброєння;
- відрізок *b-c* – період інтенсивної втрати порохом зарядом своїх балістичних та енергетичних характеристик, що супроводжується падінням початкової швидкості снаряда;
- відрізок *c-d* – подальше розкладання пороху та після ~45 років – період повної деградації заряду із втратою своїх енергетичних характеристик.

Відомо [1, 5, 18], що співвідношення зміни маси заряду $\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_T}\right)$ та зниження початкової швидкості $\left(\frac{\Delta V_0}{V_{0T}}\right)$ пов'язані таким чином:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_T} = k \frac{\Delta V_0}{V_{0T}}, \quad (4)$$

де $\Delta\omega$ – зміна маси заряду; ω_T – маса заряду таблична; k – коефіцієнт пропорційності; ΔV_0 – зміна початкової швидкості; V_{0T} – початкова швидкість снаряда таблична.

Коефіцієнт пропорційності з цього співвідношення визначається на основі експериментальних даних про зміну маси заряду та відповідне зниження V_0 . Як

показано на рис. 2 $\left(\frac{\Delta V_0}{V_{0T}}\right)$ являє собою функцію часу, для якої характерні відповідні періоди і тому стає зрозумілим, що k – це не постійний коефіцієнт, а також функція від часу $k = f(\tau)$. З огляду на це вираз (4) перепишемо у вигляді

$$\frac{\Delta \omega}{\omega_T} = (0,0005\tau^2 - 0,0504\tau + 1,4576) \frac{\Delta V_0}{V_{0T}}. \quad (5)$$

На точність прогнозу за виразом (5) впливають похибки визначення $\Delta \omega$ і ΔV_0 .

Однак є дані, що в умовах нестачі нових боєприпасів експлуатація озброєння та боєприпасів продовжується і після встановленого терміну 25–27 років. Таким чином, для коректного та ефективного використання боєприпасів необхідні дані щодо характеристик порохових зарядів, час експлуатації яких перевищує цей термін.

Враховуючи, що умови проведення експериментальних стрільб незмінні, припускаємо, що на зміну початкової швидкості впливає маса заряду (ω). Визначимо масу заряду для кожної отриманої дальності та швидкості, використовуючи залежність [19]

$$V_0 = \sqrt{\frac{2g f \omega}{\varphi \theta q}}, \quad (6)$$

де V_0 – початкова швидкість снаряда; g – прискорення вільного падіння; f – сила пороху; ω – маса заряду; φ – коефіцієнт урахування другорядних робіт; θ – коефіцієнт $= 0,2$; q – маса снаряда.

Тоді з (6) отримаємо

$$\omega = \frac{V^2 \varphi \theta q}{2gf}. \quad (7)$$

У табл. 2 представлені результати обробки експериментальних даних щодо визначення маси порохових зарядів боєприпасів відповідних років експлуатації. Дані, наведені у табл. 2 є розрахунковими, шляхом вирішення зворотної задачі через дальність стрільби і представлені у вигляді відносної величини.

Таблиця 2 – Прогноз зміни маси порохових зарядів (відносні величини)

| | Табличні дані (гарантійний термін) | Термін експлуатації (років) | | | |
|---|---------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| | | 21 | 32 | 38 | 45 |
| Відносна величина маси порохового заряду (ω_T/ω_T) | 1 | 0,976 | 0,973 | 0,964 | 0,960 |

Для відновлення властивостей порохового заряду у роботі [11] запропоновано метод регенерації порошу шляхом обробки його перекисом водню. Цей метод дає можливість відновлення маси заряду до 3 %.

На рис. 3 графічно представлений процес відновлення властивостей порошу (A-B).

Подальша його експлуатація відбувається за тим самим законом (рис. 3), але з точки B. Як видно, після регенерації час експлуатації порохового заряду (ефект регенерації) продовжується на строк до ~40–42 років. Такий варіант відповідає випадку, коли регенерація починається в момент зниження початкової швидкості на 5 % від табличного значення. За таких умов ефект регенерації (+ 3 %) можна вважати максимально можливим у сучасних умовах, спираючись на наявну технологію.

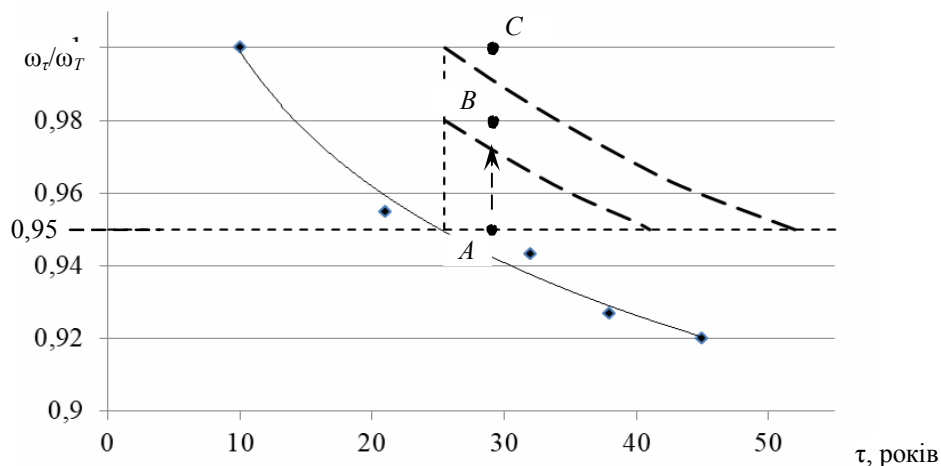


Рисунок 3 – Залежність зміни маси порохового заряду після відновлення

Але в момент, коли втрата властивостей порохового заряду оцінюється у 5 %, інтерес викликає можливість технологічно довести ефект від регенерації також до 5 %, що відповідає відновленню властивостей на рівень гарантійної експлуатації (A-C). Подальша експлуатація порохових зарядів графічно представлена з точки C (рис. 3) і може бути продовжена до ~50–52 років.

Висновки

1. На основі експериментальних даних отримано співвідношення (4), що дозволяє прогнозувати зміни у часі початкової швидкості снаряда, залежно від зміни маси заряду.

2. Відновлення властивостей порохових зарядів доцільно проводити у момент терміну експлуатації (зберігання) заряду, що відповідає зниженню початкової швидкості на 5 % від табличного значення. При цьому заявлений 3 % ефект підвищення маси заряду від регенерації збільшує термін їх експлуатації на період до 40–42 років. Якщо довести ефект підвищення маси заряду від регенерації до 5 %, то в цьому випадку можливе отримання максимального ефекту за часом експлуатації боєприпасів до ~50–52 років.

3. Виділено періоди експлуатації боєприпасів (рис. 2) та визначено, що швидкість зміни маси порохових зарядів різна на кожному з періодів.

4. Для 122-мм пострілу із зарядом №2 отримано функцію (3), що дозволяє визначати в діапазоні термінів експлуатації боеприпасів 10–45 років фактичну дальність стрільби, зниження якої обумовлено зміною властивостей порохового заряду. Це, у свою чергу, дозволяє, при застосуванні зарядів зазначеного діапазону термінів експлуатації, вносити поправку у вихідні дані для стрільби, а також визначати принципову можливість виконання вогневого завдання, оскільки задана дальність стрільби може бути вже недосяжною для заряду відповідного терміну експлуатації.

Література

1. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения. Монография. Х.: АБВ МВД Украины, 2010 – 128 с.
2. Гончаренко П.Д. Интегральная поправка в начальную скорость на износ ствола и геронтологические изменения порохового заряда // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П.С. Нахімова. 2011. №1 (5). С. 11–14.
3. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулин Д.С. Экспериментальное исследование износа ствола 5,45 мм автомата Калашникова АК-74 при стрельбе боеприпасами длительных сроков хранения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2013. №2. С. 121–125.
4. Баулін Д.С. Експериментальне дослідження впливу конструктивних характеристик боеприпасів на початкову швидкість куль // Збірник наукових праць «НАДПС України ім. Б.Хмельницького». 2004. №31. Частина II. С. 5–7.
5. Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Горелишев С.А. Геронтологічні властивості порохових зарядів боеприпасів та їх вплив на показники живучості стрілецької зброї: Монографія. Харків: Вид-во Національної академії Національної гвардії України, 2019. 119 с.
6. Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулин Д.С., Черкашин А.Д. Проблема живучести стволов стрелкового оружия при применении боеприпасов послегарантийных сроков хранения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2010. №3. С. 80–83.
7. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Цветометрия пороховых элементов метательных зарядов артиллерийских боеприпасов // Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2011. №1. С. 28–35.
8. Анипко О.Б., Гончаренко П.Д., Хайков В.Л. Преждевременные разрывы снарядов корабельной артиллерии и методы их предупреждения. Зарубежный опыт. // Збірник наукових праць Академії військово-морських сил імені П.С. Нахімова. – 2011. – №4(48). – С. 6–16.
9. Dale G.F. Stability of nitrocellulose based powder. Warship international. XVII №4. 1980. P. 23–28.
10. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Анализ методов оценки состояния пороховых зарядов как элемент системы мониторинга артиллерийских боеприпасов // Інтегровані технології та енергозбереження. 2012. №3. С. 60–71.
11. Анипко О.Б. Результаты экспериментального исследования воздействия перекиси водорода на нитроцеллюлозные высокомолекулярные соединения // Інтегровані технології та енергозбереження. 2014. № 2. С. 50–55.

12. 122-мм гаубица Д-30 (2А18). Части I и II. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Под ред. Шадловского А.И. М.: Воениздат. 1972. 232 с.
13. 122-мм гаубица Д-30 (2А18). Часть III. Боеприпасы. Под ред. Казаковой А.П. М.: Воениздат. 1979. 61 с.
14. Коротков Е.Н., Таныгин М.Н. Баллистика. М.: Военное издательство. 1972. 188 с.
15. Наказ «Про введення в дію Інструкції про порядок категорювання ракетно-артилерійського озброєння» від 11.01.2013 №19 [Копія] /МО України. К.
16. Вертелецкий В.Ф. Прогнозирование изменения физико-химических свойств порохового заряда и начальной скорости 30 мм артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры // Інтегровані технології та енергозбереження. 2012. №2. С. 24–31.
17. Черкашин А.Д. Проверка достоверности прогноза и коррекция зависимости изменения начальной скорости пули 9 мм пистолетного патрона ПМ // Системи озброєння і військова техніка. 2010. № 3. С. 90–92.
18. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М., Гончаренко П.Д., Хайков В.Л. Живучесть нарезных и гладких стволов при использовании боеприпасов послегарантийных сроков хранения. Севастополь: Академия военно-морских сил имени П.С. Нахимова, 2012. 208 с.
19. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика. М.: Оборонгиз. 1949. 670 с.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B., Busyak YU.M. Vnutrennyaya ballistika stvol'nykh sistem pri primeneniі boyepripasov dlitel'nykh srokov khraneniya. Monografiya. KH.: AVV MVD Ukrainy, 2010. 128 p.
2. Goncharenko P.D. Integral'naya popravka v nachal'nuyu skorost' na iznos stvola i gerontologicheskiye izmeneniya porokhovogo zaryada // Zbіrnik naukovikh prats' Akademії vіys'kovo-mors'kikh sil іmenі P.S. Nakhimova. 2011. №1 (5). P. 11–14.
3. Anipko O.B., Mulenko A.O., Baulin D.S. Eksperimental'noye issledovaniye iznosa stvola 5,45 mm avtomata Kalashnikova AK-74 pri strel'be boyepripasami dlitel'nykh srokov khraneniya // Інтегровані технології та енергозбереження. 2013. №2. P. 121–125.
4. Baulin D.S. Yeksperimental'ne doslіdzhennya vplivu konstruktivnikh kharakteristik boēpripasiv na pochatkovu shvidkіst' kul' // Zbіrnik naukovikh prats' «NADPS Ukraїni ім. V.Khmel'nits'kogo». 2004. №31. Chastina ІІ. P. 5–7.
5. Anipko O.B., Baulin D.S., Gorіlishev S.A. Gerontologіchnі vlastivostі porokhovikh zaryadiv boēpripasiv ta іkh vpliv na pokazniki zhivuchostі strilets'koї zbroї: Monografiya. Kharkiv: Vid-vo Natsіonal'noї akademії Natsіonal'noї gvardії Ukraїni, 2019. 119 p.
6. Anipko O.B., Mulenko AO., Baulin D.S., Cherkashin A.D. Problema zhivuchesti stvolov strelkovogo oruzhiya pri primeneniі boyepripasov poslegarantiynykh srokov khraneniya // Інтегровані технології та енергозбереження. 2010. №3. P. 80–83.
7. Anipko O.B., Khaykov V.L. Tsvetometriya porokhovoykh elementov metatel'nykh zaryadov artilleriyskikh boyepripasov // Artilleriyskoye i strelkovoye vooruzheniye. 2011. №1. P. 28–35.
8. Anipko O.B., Goncharenko P.D., Khaykov V.L. Prezhdevremennyye razryvy snaryadov korabel'noy artillerii i metody ikh preduprezhdeniya. Zarubezhnyy opyt. // Zbіrnik naukovikh prats' Akademії vіys'kovo-mors'kikh sil іmenі P.S. Nakhimova. – 2011. – №4(48). – P. 6–16.

9. Dale G.F. Stability of nitrocellulose based powder. Warship international. XVII №4. 1980. P. 23–28.

10. Anipko O.B., Khaykov V.L. Analiz metodov otsenki sostoyaniya porokhovoykh zaryadov kak element sistemy monitoringa artilleriyskikh boyepripasov // *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2012. №3. P. 60–71.

11. Anipko O.B. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya vozdeystviya perekisi vodoroda na nitrotsellyuloznyye vysokomolekulyarnyye soyedineniya // *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2014. № 2. P. 50–55.

12. 122-mm gaubitsa D-30 (2A18). Chasti I i II. Tekhnicheskoye opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsii. Pod red. Shadlovskogo A.I. M.: Voenizdat. 1972. 232 p.

13. 122-mm gaubitsa D-30 (2A18). Chast' III. Boyepripasy. Pod red. Kazakovoy A.P. M.: Voenizdat. 1979. 61 p.

14. Korotkov Ye.N., Tanygin M.N. Ballistika. M.: Voennoye izdatel'stvo. 1972. 188 p.

15. Nakaz «Pro vvedennya v díyu Ínstruktsíi pro poryadok kategoruvannya raketno-artileriy'skogo ozbroënnya» víd 11.01.2013 №19 [Kopíya] /MO Ukraїni. K.

16. Verteletskiy V.F. Prognozirovaniye izmeneniya fiziko-khimicheskikh svoystv porokhovogo zaryada i nachal'noy skorosti 30 mm artilleriyskikh boyepripasov morskoy nomenklatury // *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2012. №2. P. 24–31.

17. Cherkashin A.D. Proverka dostovernosti prognoza i korrektsiya zavisimosti izmeneniya nachal'noy skorosti puli 9 mm pistoletnogo patrona PM // *Sistemi ozbroënnya í víys'kova tekhnika*. 2010. № 3. P. 90–92.

18. Anipko O.B., Busyak YU.M., Goncharenko P.D., Khaykov V.L. Zhivuchest' nareznykh i gladkikh stvolov pri ispol'zovanii boyepripasov poslegarantiynykh srokov khraneniya. Sevastopol': Akademiya voyenno-morskikh sil imeni P.S. Nakhimova, 2012. 208 p.

19. Serebryakov M.Ye. Vnutrennyaya ballistika. M.: Oborongiz. 1949. 670 p.

УДК 355.014: 623.522

Аніпко О.Б., д.т.н., професор, Баулін Д.С., к.т.н., с.н.с., Бірюков І.Ю., д.т.н., доцент,
Гунько О.О.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН БАЛІСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСТРІЛІВ РОЗДІЛЬНО-ГЛІЗОВОГО ЗАРЯДЖАННЯ ІЗ ЗАРЯДАМИ ТРИВАЛИХ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В даний час проблемою багатьох країн світу, зокрема України, є наявність в арсеналах, базах та складах великої кількості різноманітних боєприпасів, які знаходяться за межами гарантійних термінів зберігання. Відсутність в Україні виробничих потужностей з виготовлення боєприпасів призвела до того, що в даний час в експлуатації є боєприпаси, час зберігання яких перевищує 30 років.

Як показують результати досліджень, при тривалому зберіганні порохи на основі нітроцелюлози, які використовуються в боєприпасах, зазнають різних фізико-хімічних перетворень, що призводить до змін їх властивостей і, в свою чергу, негативних наслідків застосування таких боєприпасів.

У цій статті проаналізовано публікації, присвячені науковим дослідженням щодо

проблем експлуатації боєприпасів тривалих термінів зберігання, їх впливу на балістичні характеристики озброєння та доцільності застосування таких боєприпасів, як у питаннях безпеки особового складу, так і точності виконання вогневих завдань та експлуатації озброєння в цілому.

Подано загальну проблему експлуатації боєприпасів післягарантійних термінів зберігання, а також одне із завдань, пов'язане з можливістю прогнозування зміни властивостей порохових зарядів на різних термінах зберігання.

Наведено узагальнюючі дані стрільбового експерименту з використанням 122-мм гаубиці Д-30 та пострілів різних років виготовлення. Показано зміну дальності стрільби залежно від терміну експлуатації боєприпасів, а також зміну деяких балістичних характеристик. На основі експерименту отримано співвідношення, що дозволяє прогнозувати зміни початкової швидкості снаряда, залежно від маси заряду.

Показано можливість відновлення властивостей порохових зарядів шляхом обробки їх перекисом водню, а також прогнозу оцінку доцільних термінів проведення регенерації нітроцелюлозних порохових зарядів для омології балістичних та енергетичних характеристик боєприпасів.

Ключові слова: пороховий заряд, балістичні характеристики озброєння, гарантійні терміни експлуатації, геронтологічні зміни, піроксилінові порохи, регенерація зарядів, дальність пострілу, початкова швидкість снаряда

Анипко О.Б., д.т.н., професор, Баулин Д.С., к.т.н., с.н.с., Бирюков І.Ю., д.т.н., доцент,
Гулько О.А.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСТРЕЛОВ РАЗДЕЛЬНО-ГИЛЬЗОВОГО ЗАРЯЖАНИЯ С ЗАРЯДАМИ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В настоящее время проблемой многих стран мира, в том числе Украины, является наличие в арсеналах, базах и складах большого количества разнообразных боеприпасов, которые находятся за границами гарантийных сроков хранения. Отсутствие в Украине производственных мощностей по изготовлению боеприпасов привело к тому, что в настоящее время в эксплуатации находятся боеприпасы, время хранения которых превышает 30 лет.

Как показывают результаты исследований, при длительном хранении используемые в боеприпасах пороха на основе нитроцеллюлозы претерпевают различные физико-химические превращения, что приводит к изменениям их свойств и, в свою очередь, негативным последствиям применения таких боеприпасов.

В данной статье проанализированы публикации, посвященные научным исследованиям, касающимся проблем эксплуатации боеприпасов длительных сроков хранения, их влияния на баллистические характеристики вооружения и целесообразности применения таких боеприпасов, как в вопросах безопасности личного состава, так и точности выполнения огневых задач и эксплуатации вооружения в целом.

Представлена общая проблема эксплуатации боеприпасов послегарантийных сроков хранения, а также одна из задач, связанная с возможностью прогнозирования изменения свойств пороховых зарядов на разных сроках хранения.

Приведены обобщающие данные стрельбового эксперимента с использованием

122-мм гаубиці Д-30 и выстрелов различных годов изготовления. Показано изменение дальности стрельбы в зависимости от срока эксплуатации боеприпасов, а также изменение некоторых баллистических характеристик. На основе эксперимента получено соотношение, позволяющее прогнозировать изменения начальной скорости снаряда в зависимости от массы заряда.

Показана возможность восстановления свойств пороховых зарядов путем обработки их перекисью водорода, а также прогнозная оценка целесообразных сроков проведения регенерации нитроцеллюлозных пороховых зарядов для омоложения баллистических и энергетических характеристик боеприпасов.

Ключевые слова: пороховой заряд, баллистические характеристики вооружения, гарантийные сроки эксплуатации, геронтологические изменения, пироксилиновые пороха, регенерация зарядов, дальность выстрела, начальная скорость снаряда.

Anipko O., Baulin D., Biryukov I., Gunko O.

PREDICTION OF CHANGES IN THE BALLISTIC CHARACTERISTICS OF SHOTS OF SEPARATE-SLEEVE LOADING WITH LONG-TERM CHARGES

Currently, the problem of many countries of the world, including Ukraine, is the presence in arsenals, bases and warehouses of a large number of various ammunition that are beyond the boundaries of the guaranteed storage periods. The lack of production capacity in Ukraine for the manufacture of ammunition has led to the fact that ammunition is currently in operation, the storage time of which exceeds 30 years.

As the results of studies show, during long-term storage, nitrocellulose-based gunpowders used in ammunition undergo various physical and chemical transformations, which leads to changes in their properties and, in turn, to the negative consequences of the use of such ammunition.

This article analyzes publications devoted to scientific research on the problems of operating long-term ammunition, their impact on the ballistic characteristics of weapons and the feasibility of using such ammunition, both in terms of personnel safety, and the accuracy of performing fire missions and the operation of weapons in general.

The general problem of the operation of ammunition with post-warranty storage periods is presented, as well as one of the tasks associated with the possibility of predicting changes in the properties of powder charges at different storage periods.

The generalizing data of the shooting experiment with the use of the 122-mm D-30 howitzer and shots of various years of manufacture are given. A change in the firing range depending on the life of the ammunition is shown, as well as a change in some ballistic characteristics. On the basis of the experiment, a relation has been obtained that makes it possible to predict changes in the initial velocity of the projectile depending on the mass of the charge.

The possibility of restoring the properties of powder charges by treating them with hydrogen peroxide is shown, as well as a predictive assessment of the appropriate timing for the regeneration of nitrocellulose powder charges for homologation of the ballistic and energy characteristics of ammunition.

Keywords: powder charge, ballistic characteristics of weapons, warranty periods of operation, gerontological changes, pyroxylin powders, regeneration of charges, firing range, muzzle velocity of the projectile.

Кошельник О.В.^{1,2}, к.техн.н., доцент, Гойсан С.Б.¹, аспірант, Пугачова Т.М.¹, к.техн.н., професор, Круглякова О.В.¹, к.техн.н., доцент, Павлова В.Г.¹, к.техн.н., ст. викладач

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОАКУМУЮЩИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В РЕГЕНЕРАТИВНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

¹ *Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

² *Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків*

Ключові слова: скловарна піч, утилізація теплоти, регенеративні теплообмінники, теплоакumuлюючий елемент, фазовий перехід, ефективність.

Вступ. Одним з найбільш перспективним методом підвищення ефективності роботи регенераторів скловарних печей є використання нових матеріалів для теплоакumuлюючих елементів насадки [1]. Наряду з традиційними вогнетривками, що вже давно застосовуються, нові сучасні елементи насадки з використання матеріалів з фазовим переходом дадуть можливість отримати більш глибокий ступінь утилізації теплоти відхідних газів скловарних печей. Така конструкція теплоакumuлюючих елементів має вагому перевагу: вони будуть отримувати більшу кількість теплоти в порівнянні зі звичайним регенератором за тих же умов на величину прихованої теплоти фазового переходу [2]. Це дозволить збільшити теплову потужність регенеративних теплообмінників скловарних печей без збільшення габаритів теплоутилізаторів та загальної маси насадки.

Виділення невирішеної частини загальної проблеми. На сьогодні, однією з найголовніших проблем використання матеріалів з фазовим переходом є відсутність необхідних досліджень матеріалів, їх властивостей та станів при квазістаціонарних теплових циклах. В багатьох роботах автори вказують на перспективні матеріали, подвійні, потрійні евтектики, які мають хороші показники теплоти фазового переходу, незначну зміну густини в процесі плавлення-кристалізація, стабільність при досить низьких температурах плавлення [2]. Проте в процесі досліджень, такі сполуки та суміші часто «відсіюються», оскільки проявляють ті чи інші негативні властивості, що не дозволяє їх в подальшому впроваджувати у діючі агрегати.

Викладення основної частини дослідження. Накопичування теплоти в регенераторах з використанням теплоакumuлюючих елементів з фазовим переходом має досить великі перспективи не тільки в «зеленій» енергетиці, а і у таких енергоємних галузях промисловості, як металургія, коксове виробництво [2–4]. Теплоакumuлюючий елемент з фазовим переходом (ФП) являє собою вогнетривку цеглу, в середині якої виконується вставка з матеріалів, що в залежності від рівня температур здійснюють фазовий перехід із зміною агрегатного стану. Проте такий спосіб акумуляції теплоти має певні особливості, що значно ускладнює подальше впровадження подібних конструкцій теп-

лообмінників. Для стабільної роботи печі та регенераторів в цілому необхідно дотримуватись умов міцності та стійкості конструкції впродовж тривалого терміну експлуатації. За рахунок внутрішніх порожнин в цеглинах насадки слід також приймати до уваги підбір вогнетривких матеріалів, які можуть працювати при циклічних навантаженнях за умов наявності летючих агресивних компонентів [5].

Проте одним із важливих етапів створення таких елементів є вибір матеріалу плавкої вставки, який повинний мати:

- як можна більшу теплоту фазового переходу;
- високе значення коефіцієнта теплопровідності в обох фазах;
- відсутність розшарування при існуючому рівні температур;
- температурну стабільність при квазістаціонарному режимі роботи регенераторів;
- безпечність для довкілля;
- низьке термічне розширення і незначну зміну об'єму при ФП;
- слабку хімічну активність;
- відносно низьку вартість.

Отже загалом, такі речовини можна розділити на органічні та неорганічні. Як правило органічні речовини використовують при низьких температурах (до 100 °С), тому вони вважаються найбільш дослідженими. Основними матеріалами в органічних теплоакумуючих елементах з фазовим переходом є алкани (парафіни) з діапазоном використання від 35 до 85 °С та жирні кислоти (від 13 до 69 °С) [6–8].

Неорганічні ж матеріали можуть працювати у досить широкому діапазоні від 100 до 1000 °С. Як правило, це солі та гідрати солей, що видно з таблиці, що наведена нижче. Неорганічні речовини мають яскраво виражену точку переходу в процесі плавлення, вищу приховану теплоту та теплопровідність в порівнянні з органікою. Неорганічні сполуки мають значно менші зміни в густині під час фазового переходу, тобто це дозволяє збільшити щільність теплового потоку за рахунок більшої маси при однакових об'ємах.

Проте незважаючи на всі переваги використання солей, деякі негативні властивості дещо обмежують їх використання. Так, найважливіша проблема гідратів солей полягає у значній нестабільності. Такі елементи мають тенденцію до «зневоднення», тобто мають слабку стійкість до циклічних навантажень (нагрів/охолодження), що призводить до розшарування і подальшого руйнування самого матеріалу. Дослідження, які були проведені в роботах [9–12], вказують на те, що не зі всіма матеріалами можливо використовувати такі елементи за рахунок їх корозійної дії. І мабуть одна із найнегативніших сторін у використанні гідратів солей – висока схильність до переохолодження. Тобто це означає, що вони можуть не почати процес кристалізації, натомість «вимагати» переохолодження для початку затвердіння. Ця особливість створює суттєву нестабільність в багатьох процесах використання таких речовин, проте цього недоліку можливо уникнути, додавши до сполук спеціальні речовини-агенти, котрі прискорюють процес затвердіння.

Сполуки, що складаються із суміші двох речовини, називають *бінарними сумішами*. Окрім відсутності нестабільності, ці матеріали мають такі переваги як: відмінну точку плавлення, в порівнянні із чистою речовиною; високі показники густини енергії можуть бути досягнуті при достатньо низьких температурах плавлення; можливість

зниження вартості шляхом використання в суміші більш дешевої речовини із дещо нижчими теплофізичними властивостями. Бінарні суміші повинні плавитись і кристалізуватись як і гомогенна чиста речовина. Ця умова може бути досягнута для двох спеціальних складів сумішей – евтектичного та дистектичної [2, 7].

Таблиця – Теплофізичні властивості деяких неорганічних матеріалів та сумішей

| Матеріал/ Масовий склад | Тем-ра плавлення, °С | Густина, кг/м ³ | | Теплота фазового переходу, КДж/кг | Об'ємна теплоємність, | | Питома теплоємність, | | Теплопровідність, Вт/(м·К) | Міра токсичності | Джерело |
|---|----------------------|----------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----|----------------------|----------------|----------------------------|------------------|---------|
| | | ρ _{тв} | ρ _{рід} | | | | с _{тв} | с _р | | | |
| Чисті речовини | | | | | | | | | | | |
| K ₂ SO ₄ | 1069 | 2660 | | 212 | – | – | 0,75 | | 0,5945 | | [7] |
| Na ₂ SiO ₃ | 1089 | 2610 | | 427 | – | – | – | | 0,603 | | [7] |
| GeO ₂ | 1116 | 4250 | | 418,6 | – | – | 0,49 | | – | | [7] |
| BaSO ₄ | 1150 | 4500 | | 64 (171) | – | – | 0,43 | | – | | [7] |
| Na ₂ SO ₄ | 880 | 2700 | | 65 (166) | – | – | 0,9 | | – | | [7] |
| Li ₂ SO ₄ | 570 | 2210 | | 92(68) | – | – | 1,06 | | – | | [7] |
| Бінарні суміші | | | | | | | | | | | |
| 48 NaCl / 52 MgCl ₂ | 450 | 2225 | 1610 | 431 | 694 | 193 | 0,92 | 1 | – | 2 | [8] |
| 33 NaCl / 67 CaCl ₂ | 500 | 2160 | 1900 | 282 | 536 | 149 | 0,84 | 1 | – | 1 | [8] |
| 35 Li ₂ CO ₃ / 65 K ₂ CO ₃ | 505 | 2265 | 1960 | 345 | 676 | 188 | 1,34 | 1,76 | 1,89 | 2 | [8] |
| 88 Al / 12 Si | 579 | 2553 | 2445 | 515 | 1259 | 350 | 1,49 | 1,27 | – | – | [9] |
| 67 LiF / 33 MgF ₂ | 741 | – | – | 900 | 2000 | 556 | – | – | – | – | [2] |
| 67 NaF / 33 MgF ₂ | 832 | 2690 | 2190 | 618 | 1353 | 376 | 1,42 | 1,38 | 4 – 12 | 3* | [8] |
| Трикомпонентні суміші | | | | | | | | | | | |
| 22 Li ₂ CO ₃ / 62 K ₂ CO ₃ / 16 Na ₂ CO ₃ | 580 | 2340 | – | 770 | – | – | 1,8 | 2,09 | 1,95 | 2 | [11] |
| 20 Li ₂ CO ₃ / 20 K ₂ CO ₃ / 60 Na ₂ CO ₃ | 550 | 2380 | – | 238 | – | – | 1,59 | 1,88 | 1,83 | 2 | [11] |
| 32 Li ₂ CO ₃ / 35 K ₂ CO ₃ / 33 Na ₂ CO ₃ | 397 | 2300 | 2140 | 277 | 593 | 165 | 1,68 | 1,63 | – | 2 | [8] |
| 24,5 NaCl / 20,5 KCl / 55 MgCl ₂ | 385 – 393 | – | 1800 | 410 | 738 | 205 | – | – | 1 | – | [10] |

Для першого при незначній зміні складу суміші від евтектичної зазвичай спостерігається сильне підвищення температури плавлення. Евтектичні суміші можуть складатися з трьох та більш компонентів, вони відрізняються від бінарних дещо нижчою температурою плавлення при меншій вартості суміші. Під дистектичними розуміють суміші зі стехіометричним складом, що створює змішану фазу.

Якщо ж суміш не відповідає умовам евтектики або дистектики, то процес плавлення стає неконгруентним, тобто тверда фаза розкладається на рідку і іншу тверду фазу, що може призводити до розшарування.

І врешті решт неорганічні солі можуть проявляти достатньо сильну хімічну активність та бути токсичними. Дані процеси можуть спостерігатись внаслідок ендотермічних реакцій солей з поверхнею вогнетривких матеріалів. Тому дані питання потребують досліджень в парі з конкретними матеріалами вогнетривів. На сьогоднішній момент, як зазначається в [6], існують приклади використання трьох матеріалів: сульфату натрію Na_2SO_4 та сульфату барію BaSO_4 в поєднанні з магnezитовими та периклазовими вогнетривами (MgO , SiO_2). Ці матеріали показали хорошу стійкість та міцність за досить агресивних умов. Проте, як видно з таблиці, є матеріали з кращими показниками, проте вони потребують додаткових досліджень.

Висновок. За останні роки спостерігається суттєвий прогрес у розвитку використання теплоакумулюючих елементів з фазовим переходом в різних галузях промисловості та нетрадиційній енергетиці. Дослідники поступово розширюють діапазон використання таких матеріалів, а також за рахунок вивчення поведінки різних сумішей знаходять нові сполуки, що мають необхідні температури плавлення із високим «залишковим» тепловим ефектом. Були проведені чисельні дослідження гідратів солей, в багатьох джерелах вони вказувались як дуже перспективні матеріали. Проте в процесі багаторічних досліджень і вивчень особливостей цих матеріалів виявилось, що використання більшості з них є неефективним за різних причин. Крім того, впровадження теплообмінних регенеративних апаратів з теплоакумулюючими елементами з фазовим переходом викликає необхідність створення відповідних математичних моделей, що дозволить отримати необхідні данні щодо поведінки різних матеріалів в реальних умовах експлуатації теплообмінників скловарних печей. Таким чином, все це свідчить про необхідність проведення нових комплексних досліджень щодо моделювання роботи теплообмінного обладнання з урахуванням експлуатаційних властивостей нових матеріалів вогнетривкої насадки регенераторів.

Література

1. Кошельнік О.В. Перспективні типи насадок регенеративних теплообмінників скловарних печей / О.В. Кошельнік, С.Б. Гойсан // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2021. – № 1. – С. 3–10.
2. Бекман Г. Тепловое аккумуляирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли. – Москва : Мир, 1987. – 272 с.
3. Fleischer Amy S. Thermal energy storage using phase change materials. In: Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology // Amy S.Fleischer. – Springer, 2015. – P. 1–5.

4. Rathod M. Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems :a review. // M. Rathod, J. Banerjee. – Renew Sustain Energy. – 2013. – Rev. 18. – P. 246–258.
5. High temperature thermal stability of molten salt materials. Int J Energy // Peng Q, Wei X, Ding J, Yang J, Yang X. – 2008. – Res. 32 – P. 1164–1174.
6. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве : монография / Товажнянский Л.Л., Кошельник В.М., Соловей В.В., Кошельник А.В. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с.
7. Волков. А.И. Большой химический справочник // А.И. Волков, И.М. Жарский. – Москва : Сов. школа, 2005. – 608 с.
8. Maru H.C. Molten salt thermal energy storage system: salt section. Report C00-2888-1 // Maru, H.C. et al. – US/ERDA Springfield, 1976. – 130 p.
9. Birchenall E: Heat storage in alloy transformations. DOE/NASA/3184-2 NASA CR-165355 // E. Birchenall et al. – University of Delaware, 1981. – P. 73–78.
10. Nemecek J. Demand sensitive energy storage in molten salts solar energy // Nemecek J.J. et al. // Solar Energy. – 1978. – Vol. 20, № 3. – P. 213–217.
11. Kenisarin Murat M. High-temperature phase change materials for thermal energy storage // Murat M. Kenisarin // Renewable and Sustainable Energy. – 2010. – Rev. 14. – P. 955–970.
12. Experimental research on a kind of novel high-temperature phase change storage heater // Wang X, Liu J, Zhang Y, Jiang Y. – Energy Convers Manage. – 2006. – V. 47(15–16). – P. 2211–2222.

Bibliography (transliterated)

1. Koshelnik O.V. Perspektyvni typy nasadok reheneratyvnykh teploobminnykh sklovarnykh pechei / O.V. Koshelnik, S.B. Hoisan // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia – 2021. – № 1. – P. 3–10.
2. Bekman H. Teplovoe akkumulyrovanye enerhyy / H. Bekman, P. Hylly. – Moskva : Myr, 1987. – 272 p.
3. Fleischer Amy S. Thermal energy storage using phase change materials. In: Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology // Amy S.Fleischer. – Springer, 2015. – P. 1–5.
4. Rathod M. Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems :a review. // M. Rathod, J. Banerjee. – Renew Sustain Energy. – 2013. – Rev. 18. – P. 246–258.
5. High temperature thermal stability of molten salt materials. Int J Energy // Peng Q, Wei X, Ding J, Yang J, Yang X. – 2008. – Res. 32 – P. 1164–1174.
6. Yntehryrovannie enerhosberehaiushchye teplotekhnolohyy v stekolnom proyzvodstve : monohrafyia / Tovazhnianskyi L.L., Koshelnyk V.M., Solovei V.V., Koshelnyk A.V. – Kharkov : NTU «KhPY», 2008. – 628 p.
7. Volkov. A.Y. Bolshoi khymycheskyi spravochnyk // A.Y. Volkov, Y.M. Zharskyi. – Moskva : Sov. shkola, 2005. – 608 p.
8. Maru H.C. Molten salt thermal energy storage system: salt section. Report C00-2888-1 // Maru, H.C. et al. – US/ERDA Springfield, 1976. – 130 p.

9. Birchenall E: Heat storage in alloy transformations. DOE/NASA/3184-2 NASA CR-165355 // E. Birchenall et al. – University of Delaware, 1981. – P. 73–78.

10. Nemecek J. Demand sensitive energy storage in molten salts solar energy // Nemecek J.J. et al. // Solar Energy. – 1978. – Vol. 20, № 3. – P. 213–217.

11. Kenisarin Murat M. High-temperature phase change materials for thermal energy storage // Murat M. Kenisarin // Renewable and Sustainable Energy. – 2010. – Rev. 14. – P. 955–970.

12. Experimental research on a kind of novel high-temperature phase change storage heater // Wang X, Liu J, Zhang Y, Jiang Y. – Energy Convers Manage. – 2006. – V. 47(15–16). – P. 2211–2222.

УДК 666.1.031.2; 620.97

Кошельник О.В., к.техн.н., доцент, Гойсан С.Б., аспірант, Пугачова Т.М., к.техн.н., професор, Круглякова О.В., к.техн.н., доцент, Павлова В.Г., к.техн.н., ст. викладач

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В РЕГЕНЕРАТИВНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

Підвищення температури повітря горіння в регенеративних теплообмінниках є одним з найбільш ефективних засобів підвищення ККД скловарних печей та зниження витрати палива в них. Величина втрат із димовими газами в печах залишається доволі високою і становить 25–40 %. Внаслідок цього виникає питання у модернізації утилізаторів димових газів скловарних печей, мета якої – збільшення кількості відібраної теплоти від димових газів без суттєвої зміни габаритних розмірів, а також аеродинамічних характеристик теплообмінників. Одним із таких заходів є використання теплоакумуючих елементів з фазовим переходом в насадці регенераторів. Особливістю таких матеріалів є наявність «залишкової» теплоти фазового переходу, тобто така насадка буде отримувати та передавати більше теплоти на цю величину в порівнянні з традиційною. Однак при вирішенні цього завдання виникає питання вибору плавкої вставки, яка б задовольняла умовам роботи насадки регенеративних теплообмінників скловарних печей. В роботі проаналізовані теплофізичні властивості деяких неорганічних речовин, характеристики яких дозволяють використовувати їх в якості плавкої вставки для елементів насадки. Однак, на даний момент, практичного використання для високотемпературних установок (регенеративні теплообмінники доменних печей металургійного виробництва) набули неорганічні сполуки сульфату барію $BaSO_4$ та сульфату натрію Na_2SO_4 в поєднанні із магnezитовими та периклазовими вогнетривами. Такі матеріали показали хорошу температурну стабільність та стійкість при циклічних теплових навантаженнях. Дослідження можливості використання матеріалів з фазовим переходом для теплоакумуючих елементів насадок пов'язано з необхідністю математичного моделювання складних теплообмінних процесів в робочому просторі регенеративних теплообмінників за умов квазістаціонарного режиму їх роботи. Тому остаточні висновки щодо ефективності модернізації регенеративних теплообмінників шляхом використання насадки з фазовим переходом можливо зробити тільки за результатами додаткових до-

сліджень, в яких буде визначено вплив цілого комплексу різних факторів, що впливають на експлуатаційні характеристики теплоакуючих елементів даної конструкції.

Ключові слова: скловарна піч, утилізація теплоти, регенеративні теплообмінники, теплоакуючий елемент, фазовий перехід, ефективність.

Кошельник А.В., Гойсан С.Б., Пугачова Т.Н., Круглякова О.В., Павлова В.Г.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ В РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Повышение температуры воздуха горения в регенеративных теплообменниках является одним из наиболее эффективных средств повышения КПД стекловаренных печей и снижение расхода топлива в них. Величина потерь с дымовыми газами в печах остается довольно высокой и составляет 25–40 %. Вследствие этого возникает вопрос в модернизации утилизаторов дымовых газов стекловаренных печей, цель которой – увеличение количества отобранной от дымовых газов теплоты без существенного изменения габаритных размеров, а также аэродинамических характеристик теплообменников. Одним из таких мероприятий является использования теплоаккумулирующих элементов с фазовым переходом в насадке регенераторов. Особенностью данных материалов является наличие «остаточной» теплоты фазового перехода, т.е. такая насадка будет получать и передавать больше теплоты на эту величину в сравнении с традиционной. Однако при решении этой задачи возникает вопрос выбора плавкой вставки, которая бы удовлетворяла условиям работы насадки регенеративных теплообменников стекловаренных печей. В работе проанализированные теплофизические свойства некоторых неорганических вещества, характеристики которых позволяют использовать их в качестве плавкой вставки для элементов насадки. Однако, на данный момент, практическое использование в высокотемпературных уставновках (регенеративные теплообменники доменных печей металлургического производства) приобрели неорганические соединения сульфата бария $BaSO_4$ и сульфата натрия Na_2SO_4 в соединении с магнезитовыми и периклазовыми огнеупорами. Такие материалы показали хорошую температурную стабильность и стойкость при циклических тепловых нагрузках. Исследование возможности использования материалов с фазовым переходом для теплоаккумулирующих элементов насадки связаны с необходимостью математического моделирования сложных теплообменных процессов в рабочем пространстве регенеративных теплообменников в условиях квазистационарного режима их работы. Поэтому окончательные выводы относительно эффективности модернизации регенеративных теплообменников путем использования насадки с фазовым переходом возможно сделать только по результатам дополнительных исследований, в которых будет определено влияние целого комплекса разных факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики теплоаккумулирующих элементов данной конструкции.

Ключевые слова: стекловаренная печь, утилізація теплоти, регенеративні теплообмінники, теплоаккумулюючий елемент, фазовий перехід, ефективність.

Koshelnik O., Hoisan S., Pugacheva T., Kruglyakova O., Pavlova V.

FEATURES OF THE APPLICATION OF HEAT STORAGE ELEMENTS WITH A PHASE TRANSITION IN THE REGENERATIVE HEAT EXCHANGERS OF GLASS FURNACES

Increasing the air temperature in regenerative heat exchangers is one of the most effective means of increasing the efficiency of glass furnaces and reducing their fuel consumption. The value of losses with flue gases in furnaces remains quite high and amounts to 25–40 %. As a result, the question arises in the modernization of flue gas utilizers of glass furnaces, the purpose of which is to increase the amount of heat extracted from flue gases without a significant change in overall dimensions, as well as the aerodynamic characteristics of heat exchangers. One such measure is the use of heat storage elements with a phase change in the packing of regenerators. A feature of such materials is the presence of «residual» heat of the phase transition, i.e., such a packing will receive and transfer more heat by this amount compared to the traditional one. However, when solving this problem, the question arises of choosing a fusible material that satisfies the operating conditions of the packing of regenerative heat exchangers of glass furnaces. The paper analyzes the thermophysical properties of some inorganic substances, the characteristics of which make it possible to use them as a fusible material for packing elements. However, at the moment, inorganic compounds of barium sulfate BaSO_4 and sodium sulfate Na_2SO_4 in combination with magnesite and periclase refractories have acquired practical use for high-temperature installations (regenerative heat exchangers of blast-furnace metallurgical production). Such materials have shown good thermal stability and stability under thermal cycling. The study of the possibility of using materials with a phase transition for heat storage elements of packings is associated with the need for mathematical modeling of complex heat exchange processes in the working space of regenerative heat exchangers under conditions of a quasi-stationary mode of their operation. Therefore, the final conclusions about the effectiveness of the modernization of regenerative heat exchangers by using packing with a phase change can only be made based on the results of additional studies, which will determine the influence of a whole complex of various factors that affect the performance of heat storage elements of this design.

Keywords: glass furnace, heat recovery, regenerative heat exchangers, heat storage element, phase transition, efficiency.

Khavin G.L., Doctor of science, professor, Hou Zhiwen, post-graduate student

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT SLIDING FRICTION VALUE IN THE CONTACT THE CUTTING TOOL-COMPOSITE

National Technical University "Kharkov polytechnic institute", Kharkov

Keywords: friction coefficient, abrasive wear, filler content, reinforcement direction, tool wear.

Introduction. The problem formulation. One of the characteristic features mechanical processing polymer composite materials (PCM) is the intense wear of the tool cutting edge. This fact is primarily the result of a physical, chemical and thermo mechanical phenomena combination in the process of cutting the composite. At the same time, in its appearance, wear is a pronounced abrasive nature. In the process of interaction the zone of transition from the rake to the flank surface of the tool cutting edge its intensive wear occurs (the tool tip material removal). In fact, there is continuous contact with sliding between the high strength tool tip with an inhomogeneous material that is significantly inferior in its strength characteristics, but has high abrasive properties.

This circumstance leads to deterioration in the product processing quality and the replacement or tool regrind. Numerous theoretical, experimental and numerical studies were devoted to the study of the abrasive wear problem, in which the issues of predicting tool wear were considered.

Like any physical process, wear in the contact of the tool tip-PCM must obey a certain law (wear law), which describes the removal of material in time and makes it possible to predict the tool's performance (durability or tool life). Numerous theoretical and experimental studies show that the wear rate depends on various factors in the process of interaction. These include the interacting body's materials physicochemical properties, surfaces roughness, the presence of lubricant, the load-speed regime, the temperature and composition of the environment, etc. All these factors, to one degree or another, must be taken into account in the wear law. One of the variants in the form of a hereditary aging model is presented in [1].

According to the proposed formulation it is assumed that wear is abrasive, i.e. the harder material is removed by cutting or splitting another less hard material. For the abrasive wear law is proposed relation for the change (removal) rate the tool tip material volume in time (the density is considered constant) in the form

$$\frac{dv(t)}{dt} = K_{wear} \cdot \frac{\mu \cdot F_n}{[\tau_{sh}]} \cdot \frac{HV_{fill}}{HV_{tool}} \cdot V \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T}}, \quad (1)$$

where dv/dt – tool tip volume removal rate, m^3/s , F_n – normal component of the cutting force in contact (can be determined experimentally), N; μ – friction coefficient in contact; $[\tau_{sh}]$ – filler material allowable shear stress, N/m^2 ; HV_{fill} , HV_{tool} – the hardness of the filler material (reinforcement element) and the material of the cutting tool, N/m^2 ; V – relative sliding speed (tool tip movement), m/s ; Q – activation energy, J/mol ; R – universal gas constant,

$J/(\text{mol}\cdot^\circ\text{K})$; T – temperature in the cutting zone, $^\circ\text{K}$; t – time, c; K_{wear} – volume wear coefficient, which determines the shape and intensity of the tool surface wear over time.

In the presented ratio preference is given directly to the time parameter and not to some other parameter, such as the number of drilled holes. This is a more general approach as it directly takes into account the tool operating time, regardless of the operation type and the quantitative equivalent of each operation it performs.

Taking into account such a physical effect as friction and determining the friction coefficients in mathematical models of contact interaction composites with the tool material differs most significantly from the determination of friction coefficients in the processing of the homogeneous materials. The structure heterogeneity and the anisotropy of the composites properties make it impossible to apply the classical contact theory. The friction coefficient, in addition to the juvenile contact surface, is also determined by the presence of destruction products of the binder and filler in contact at a sufficiently high temperature. As a result, the contact interaction occurs through the existing elastic-porous or viscoelastic layer due to the molten binder.

A contact interaction model construction, undertaken for example in [2], between bodies, one of which is a composite, allowed us to conclude that the friction coefficient mainly affects the size of the contact spot. However, most studies do not answer the main question – what is this value and how it changes in the process of contact interaction (product processing).

In the present work, it is assumed that the value of the friction coefficient depends on the following factors. First of all, the filler orientation in the composite and its total amount, as well as the magnitude of the contact pressure, the mutual slip rate and the temperature in the contact interaction area. The study of the nature and magnitude of the friction coefficient in the contact tool-cut layer is a separate and extremely difficult task.

State of the art and publications of the problem. When constructing real mathematical models of PCM cutting processing, it is impossible to do without taking into account the physical friction factor and determining the friction coefficients. The heterogeneity of the PCM structure and the anisotropy properties make it impossible to apply the classical contact theory and use the Coulomb-Amonton relationship.

The traditional approach to determining the friction coefficient is to assign it equal to some constant empirical quantity, which is recommended to be calculated from experiments. However, the experimental studies described below have shown that the friction coefficient is not a constant value and depends on many factors.

In fact, we can say that the first proven numerical values for the friction coefficient were obtained on the basis of the experiments processing in [3]. Three types of composite materials were considered: unidirectional carbon fiber with 60% filler content; Kevlar-49 / Epoxy with 65% content of reinforcing elements and two-dimensional fiberglass reinforced with microfiber. The friction coefficient was measured for unidirectional carbon fiber with four directions of composite reinforcement: $\theta = 0, 30, 45$ and 90° , Fig.1.

The presented results showed an increase in the friction coefficient of more than 2.5 times for the normal orientation of the fibers, which the authors refer to as $\theta = 0^\circ$, compared with the longitudinal $\theta = 90^\circ$. On the other hand, the experimental studies shown in [6] show an inverse relationship when the coefficient of friction increased from $\mu = 0.3$ at $\theta = 0^\circ$ to $\mu = 0.88$ at $\theta = 90^\circ$.

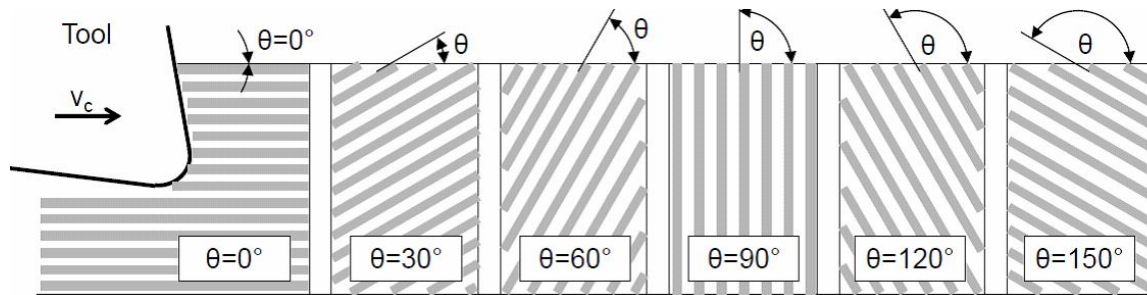


Figure 1 – Determination of the reinforcing fibers orientation in accordance with [4,5] adopted in this article

On the one hand, this contrast is explained by the fact that, in principle, with all the quality of the use of laboratory tribometers, their interaction conditions do not reflect the contact conditions during processing and do not use juvenile, just generated surfaces typical for continuous processing [7, 8]. On the other hand [5], it was concluded that experiments to determine the friction coefficient [6] carried out on a pin-on-disk setup with variable orientation of PCM fibers sliding on high-speed steel (HSS) under a normal load of 120 N provides more accurate modeling than presented in work [3] modeling on the device "pin on a ring" for different orientation of graphite-epoxy fiberglass fibers on steel. The author believes that in [3] and [6] the opposite definition of the fibers orientation relative to the sliding direction is used. If this discrepancy is corrected, then the friction coefficient will increase from $\mu = 0.3$ at $\theta = 0^\circ$ (longitudinal) to $\mu = 0.88$ at $\theta = 90^\circ$ (normal), which means that the normal orientation of the fiber relative to the sliding surface has more high frictional resistance.

The cutting force in macromechanical parameters [6] is in good agreement, but the axial force has a significant discrepancy compared to the measured one. In fact, we can say that the existing methods of determining the friction coefficient on closed tribometers such as "pin on disk" or "pin on ring" do not quite accurately simulate the conditions of continuous sliding contact typical for machining with continuous removal of material by the tool.

In [9], using an analytical solution in a closed form for an anisotropic half-plane, the contact characteristics of unidirectional reinforced continuous composites are investigated when interacting with a rigid parabolic stamp. The influence of the PCM material, friction coefficient, fiber material, fiber orientation and volume fraction on the surface contact pressure is considered. The results obtained are evaluated by comparison with experimental data and the results of the finite element method. Based on the analytical results, several important trends in the change in the contact wear characteristics of reinforced plastics are explained and discussed. It was concluded that the friction coefficient of composites has little effect on the contact pressure for different fiber orientations. The value of the friction coefficient has a really significant effect on the symmetry of the contact patch, except for the orientation $\theta = 0^\circ$.

On the other hand, experimental work [10] on the woven epoxy glass wear and carbon fiber reinforced plastics in the normal load range of 20-80 N and speeds of 2–5 m/s showed that the samples weight loss and friction coefficient significantly increase with increasing load and tends to a slight decrease with increasing slip rate for both materials. It was concluded that, in general, CFRP has a lower friction coefficient than fiberglass, which has material characteristics that contribute to frictional properties. At the same time, the wear during sliding of woven CFRPs is significantly superior to that of fiberglass.

Separately, there are experimental studies devoted to the determination of the friction coefficient between glass or carbon fiber and diamond tools in real cutting conditions [11–13]. Here we can only talk about the values of the friction coefficient exclusively in special cases. For example, in [11], data are presented for the friction coefficient, which varies for lubrication conditions during the interaction of single crystal diamond and carbon fiber reinforced plastic, depending on different contact pressures and interaction rates. The data on the friction coefficient between single-crystal diamond and CFRP are presented depending on different contact pressures, sliding speeds (20 m/min and 40 m / min), the CFRP layer orientation, and the use of a cutting fluid is considered. Experimental friction coefficients for CFRP-diamond are significantly less than any other value reported in the literature and range from 0.08 to 0.12 for dry and 0.06 to 0.07 for lubrication conditions. Due to the CFRP shape probe (sheet material) and the absence of unidirectional material, the effect of fiber orientation was not analyzed.

In [12], the temperature effect on the friction coefficient between epoxy carbon fiber and single-crystal diamond at low sliding speeds is considered. The authors obtained values for the friction coefficients $\mu = 0.125$ for a fiber orientation of 0° and $\mu = 0.175$ for a normal orientation of 90° . With increasing temperature, the friction coefficient increases to $\mu = 0.4$ at 125°C and decreases sharply when the glass transition temperature is exceeded due to changes in the epoxy resin properties.

On the other hand, [13] analyzes the effect of very high sliding speeds (up to 800 m/min) on the friction coefficient between polycrystalline diamond (PCD) and arbitrarily structured CFRP. Values are given from $\mu = 0.05$ to $\mu = 0.08$ or less, which is lower than those obtained between single-crystal diamond and carbon fiber reinforced plastic in [11]. Note that different CFRP materials have been tested. For high speeds (> 100 m/min), the effect of sliding speed on the friction coefficient is small.

Objective. To develop a theoretical model for determining the friction coefficient, which makes it possible to take into account the composite fibers orientation, the fibers total content, the contact pressure magnitude, the temperature in the contact zone, the contact interaction rate, etc. The main goal is to propose and show the feasibility of using the proposed mathematical model for calculating the friction coefficient in relation (1).

The main part. The available experimental literature data are extremely scanty and the overwhelming majorities are devoted to the study of the influence of any one material factor on the value of the friction coefficient, for example, the fibers orientation in unidirectional epoxy carbon composite [6]. At the same time, such a factor as the filler volumetric content and its properties were not considered. On the other hand, experimental data for an epoxy composite with 60% volumetric filler content are presented in [3]. In the majority of numerical studies by the finite element method (FEM) [14, 15], a constant value of the friction coefficient of 0.2 or 0.3 is used, which is in no way justified.

In almost all experimental studies and FEM numerical calculations, the conditions under which the data on the friction coefficient were obtained were limited. These conditions were quite different from the real ones, and when processing the results, traditional simplifications of the type were accepted:

- the material of the composite is anisotropic, but locally homogeneous;
- the cutting tool is considered to be absolutely solid and does not experience deformations;
- the process is considered as quasi-static, whence the analysis of its modeling follows;

- the effect of heat generation during processing simulation is not taken into account (since it is considered that the cutting speed is limited to a small value);
- the effect of discrete contact between the flank of the tool cutting edge and the cut material on the friction coefficient is not taken into account.

In [6], the results in the value of the friction coefficient change depending on the fibers orientation are presented, Fig. 2. The general orientation in the range of fiber tilt angles from 0 to 90° has a character close to linear.

It is proposed to take the following priority of the various factors influence the friction coefficient value: fiber orientation, total fiber content, temperature in the contact zone, and interaction speed. At the first stage, it is proposed to calculate the friction coefficient from the ratio

$$\mu = (k_{\mu} \cdot \theta / \theta_{90} + \mu_0) \cdot K_{vr}, \quad (2)$$

where θ – angle of reinforcing elements inclination ($\theta=0$) – longitudinal reinforcement, $\theta_{90}=90$ – normal reinforcement, degree, but not more 90 in absolute terms); k_{μ} – constant coefficient determined from experimentation or experiences; K_{vr} – coefficient taking into account the effect of the reinforcing elements volumetric content in the composite on the friction coefficient; μ_0 – accepted initial value of the friction coefficient for conditions of longitudinal reinforcement ($\theta=0$). For reinforcement at $\theta > 90$, relation (2) will be written in the form $\mu = (k_{\mu} \cdot (180 - \theta) / \theta_{90} + \mu_0) \cdot K_{vr}$.

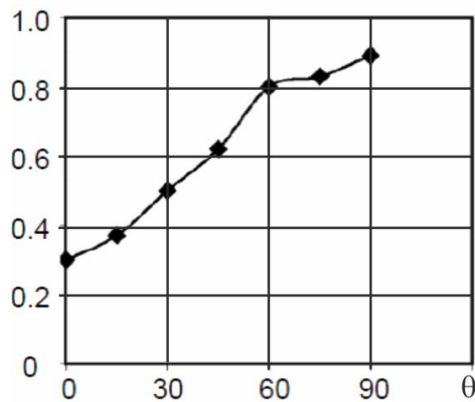


Figure 2 – Dependence of the friction coefficient on the reinforcement angle θ for epoxy fiberglass with 65 % volumetric fiber content [6]

From general considerations, it can be assumed that the friction coefficient will be influenced not only by the laying direction the reinforcing elements, but also by their volumetric content. However, there is no systematic information on this, as well as reliable experimental data. It is logical to assume a certain linear nature of this dependence with a qualitative characteristic of the type, the more fibers in contact, the stronger the effect of the filler. For example, for normal reinforcement, it can be assumed that at 60 % reinforcing fibers, the number of tool contacts will be twice as large as at 30 % reinforcement. However, this is most likely not the case, since destruction products are involved in the interaction process, and the reinforcing elements are not cut at the same height.

The coefficient taking into account the effect of the reinforcing elements volumetric content in the composite on the friction coefficient is proposed to be taken in the form

$$K_{vr} = \mu_{x\%} / \mu_{n\%},$$

where $\mu_{x\%}, \mu_{n\%}$ – the friction coefficient for composite with the reinforcing elements volumetric content is $x\%$ and $n\%$, calculated using the law of mixing; $\mu_{n\%}$ – normalizing friction coefficient, with the filler volumetric content for which there are data on the dependence of the friction coefficient on the reinforcement angle θ° . In other words, if we have data on the dependence of the friction coefficient on the reinforcement angle for certain filler content, then the friction coefficient value for this content will be normalizing.

Therefore, to take into account the influence of this factor when calculating friction coefficient, considering the reinforcing elements effect of the volumetric content, it was proposed to use the mixing law in the form [16]

$$\mu_{x\%} = (V_r / \mu_r + V_b / \mu_b)^{-1}, \quad (3)$$

where V_r, V_b – the reinforcing elements and binder volumetric content, and $V_r + V_b = 1$; μ_r, μ_b – friction coefficients of steel on the reinforcing element and binder material.

Then coefficient K_{vr} taking into accounts the influence of the reinforcing elements volumetric content in the composite on the friction coefficient is can be represented, for example, for glass fiber 60% content in epoxy plastic as follows. Let us take the sliding friction coefficient of steel on glass $\mu_r = 0,12 - 0,14$ and friction coefficient of steel on epoxy resin $\mu_b = 0,5$ [17], then $\mu_{60\%} = 0.197$, for 30% glass fiber content $\mu_{30\%} = 0.282$, then $K_{vr} = \mu_{30\%} / \mu_{60\%} = 1.435$.

The dependence on the interaction speed is extremely difficult to assess. However, the information given in experimental studies [10] shows that a significant change in the friction coefficient takes place either at very low or at very high processing speeds. Therefore, we will assume that the presented ratio is still valid in a certain average range of speeds, in which there is no significant change in the value of the friction coefficient from the interaction speed.

As indicated in [5], the friction coefficient sharply decreases when the temperature in the fracture site is exceeded, the glass transition temperature of the binder, in particular, epoxy resin. It is assumed that the processing is carried out in the range of feeds and other technological parameters that ensure the contact temperature is below the glass transition temperature and there is no significant change in the friction coefficient value due to the temperature effect.

Case study. Let's calculate the coefficients in the formula (2) using the data presented in the work [6]. First, let us determine the volumetric content of reinforcing elements in the material for which the experimental data are obtained in Fig. 2. The modulus of elasticity along the fibers from [6] fiberglass is $E_c = 48$ GPa, $E_f = 72.5$ GPa is the reinforcing glass fibers modulus of elasticity, $E_m = 3.1$ GPa is the epoxy binder modulus of elasticity. According to the law of mixtures, the fiberglass modulus of elasticity

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m,$$

substituting the values of the terms, we obtain $V_f = 0,65$ and $V_m = 0,35$.

Linear regression of the data in Fig.2 gives: $\mu_\theta = 0,645 \cdot \theta / 90 + 0,295 = 0,725$ and for the reinforced angle $\theta = 60^\circ$, the volumetric content of reinforcing elements 65 %, $K_{vr} = 1,051$, then $\mu = 0,762$. Using formulas (2) and (3), for example, for CFRP with 45 % reinforcing elements and fiber orientation $\theta = 45^\circ$ will get $K_w = 1,238$, $\mu = 0,617 \times 1,238 = 0,764$. Thus, it can be assumed that CFRP with a reinforcing component of 65 % and a reinforcement angle of 60° will have approximately the same friction coefficient with CFRP with a reinforcing component of 45% and a reinforcement angle of 45° .

Conclusion. An attempt to leave the contact interaction calculation of a tool and a composite material from the traditional consideration of the friction coefficient as a constant value, the value of which is often given without any reason is considered. It is proposed through this value to take into account the volumetric content and the inclination angle of the reinforcing elements when considering the contact interaction of the tool tip and the unidirectional composite in time (wear law). The ratio is based on the use of limited experimental information provided by various authors. The model does not take into account the effect of contact pressure, mutual sliding velocity and temperature on the value of the friction coefficient, which will be the subject of further research in this direction.

References

1. Khavin G.L. Formulirovka zakona iznashivaniya instrumenta pri rezanii polimernikh kompozitov // Integrirovannye tekhnologii i ehnergosberezhenie. 2021. 3. P. 36–45.
2. Ning X., Lovell M.R. On the sliding friction characteristics of unidirectional continuous FRP composites // Journal of tribology. 2002. 124(1). P. 5–13.
3. Sung N.-H., Suh N.P. Effect of fiber orientation on friction and wear of fiber reinforced polymeric composites // Wear. 1979, 53(1). P. 129–141.
4. Henerichs M. Bohrbearbeitung von CFK unter besonderer Berücksichtigung der Schneidkantenmikrogeometrie, (Diss.) Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), 2015. Nr. 22629, Zürich.
5. Voss R. Sc. Fundamentals of Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) Machining // Doctor of sciences of ETH Zurich, 2017.
6. Nayak D., Bhatnagar N., Mahajan P. Machining studies of UD-FRP composites part 2: finite element analysis // Machining Science and Technology. 2005. 9(4). P. 503–528.
7. Miller J. Drilling graphite/epoxy at Lockheed // American Machinist & Automated Manufacturing. 1987. 131(10). P. 70–71.
8. Puls H., Klocke F, Lung D. A new experimental methodology to analyse the friction behaviour at the tool-chip interface in metal cutting // Production engineering. 2012. 6(4–5). P. 349–354.
9. Ning X., Lovell M.R. On the sliding friction characteristics of unidirectional continuous FRP composites // Journal of tribology. 2002. 124(1). P. 5–13.
10. Friction and Wear Characteristics of Carbon-epoxy and Glass-epoxy Woven Roving Fiber Composites / B. Suresha, G. Chandramohan, P. Samapthkumarah, S.

Seetharamu, S. Vynatheey // Journal of reinforced plastics and composites. 2006. 25 (7). P. 771–781.

11. Mondelin A., Furet B., Rech J. Characterisation of friction properties between a laminated carbon fibres reinforced polymer and a monocrystalline diamond under dry or lubricated conditions // Tribology International. 2010. 43(9). P. 1665–1673.

12. Study on friction coefficient between carbon/epoxy composites and a monocrystalline diamond under different temperatures / B. Wang, H. Gao, S.P. Zhang, Y.J. Bao // Advanced Materials Research. 2012. 565. P. 627–632.

13. Characterization of friction properties at the work material/cutting tool interface during the machining of randomly structured carbon fibers reinforced polymer with Poly Crystalline Diamond tool under dry conditions / G. Chardon, O. Klinkova, J. Rech, S. Drapier, J.-M. Bergheau, // Tribology International. 2015. 81. P. 300–308.

14. Arola D., Ramulu M. Orthogonal cutting of fiber-reinforced composites: a finite element analysis // International journal of mechanical sciences. 1997. 39(5). P. 597–613.

15. Arola D., Sultan M.B., Ramulu M. Finite element modeling of edge trimming fiber reinforced plastics // Journal of manufacturing science and engineering. 2002. 124(1). P. 32–41.

16. Tsukizoe T., Ohmae N. Friction and Wear Performance of Uni-Directionally Oriented Glass, Carbon, Aramid and Stainless Steel Fiber Reinforced Plastics, Friction and Wear of Polymer Composites // Friction and Wear of Polymer Composites. 1986. P. 205–231.

17. Khopin P., Shishkin S. Tribologiya. Uchebnik dlya vuzov. Moskva: Yurajt, 2021. 236 p.

УДК 621.91

Хавін Г.Л., д.т.н., професор, Хоу Джівень, аспірант

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ В КОНТАКТІ РІЖУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ-КОМПОЗИТ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Однією з найважливіших характеристик при розрахунку зносу ріжучого інструменту при контактній взаємодії при обробці композиту, є коефіцієнт тертя. У більшості розрахунків, у тому числі і методом скінчених елементів, коефіцієнт тертя зазвичай задається як постійна величина, значення якої часто приймається з досвіду без жодної підстави. Однак при механічній обробці армованих композитів є дуже багато факторів механічного і технологічного характеру, які дуже сильно впливають на величину коефіцієнта тертя. Цей вплив пов'язаний не лише з початковою неоднорідністю композиту, а й постійною фактичною зміною умов контакту у часі, що викликано зносом різальної частини інструмента. Значення величини коефіцієнта тертя в реальних умовах контактної взаємодії має дуже складний фізичний вміст через присутність в контакті продуктів руйнування волокон і сполучного, часткового розплавлення сполучного при температурі контакту, присутності нерівномірно зрізаних волокон.

У цій статті представлено формулювання, що дозволяє розраховувати величину коефіцієнта тертя в залежності від об'ємного вмісту та кута нахилу елементів армування. Запропоновано розраховувати значення коефіцієнта тертя як добуток двох спів-

множників, один з яких відповідає за об'ємний вміст наповнювача, а інший за орієнтацію елементів армування. У розрахунках застосовуються співвідношення теорії сумішей. Подані вирази для розрахунків базуються на використанні обмеженої експериментальної інформації, представленої різними авторами. Наявні дані часто мають суперечливий характер і стосуються, як правило, прогнозування якості обробленої поверхні односпрямованих скло- та вуглепластиків. У той же час величина коефіцієнта тертя в розрахунках значно впливає на уявлення зношування і стійкості інструменту. Модель не враховує вплив на величину коефіцієнта тертя контактного тиску, швидкості взаємного ковзання і температури, що буде предметом подальших досліджень у цьому напрямку.

Ключові слова: коефіцієнт тертя, абразивний знос, вміст наповнювача, напрямок армування, зношування інструменту.

Хавин Г.Л., д.т.н., професор, Хоу Дживень, аспірант

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ В КОНТАКТЕ РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ-КОМПОЗИТ

Одной из важнейших характеристик при расчете износа режущего инструмента при контактном взаимодействии с обрабатываемым композитом является коэффициент трения. В большинстве расчетов, в том числе и методом конечных элементов, коэффициент трения традиционно задается как постоянная величина, значение которой часто принимается из опыта без всякого на то основания. Однако при механической обработке армированных композитов имеется слишком много факторов механического и технологического характера, которые оказывают очень сильное влияние на величину коэффициента трения. Это влияние связано не только с начальной неоднородностью композита, но и постоянным фактическим изменением условий контакта во времени, вызванным износом режущей части инструмента. Значение величины коэффициента трения в реальных условиях контактного взаимодействия имеет очень сложное физическое содержание из-за присутствия в контакте продуктов разрушения волокон и связки, частичного расплавления связующего при температуре в контакте, неравномерности присутствия срезанных волокон.

В настоящей статье представлена формулировка, позволяющая рассчитывать величину коэффициента трения в зависимости от объемного содержания и угла наклона армирующих элементов. Предложено рассчитывать значение коэффициента трения как произведение двух сомножителей, один из которых отвечает за объемное содержание наполнителя, а другой за ориентацию армирующих элементов. В расчетах используются соотношения теории смесей. Представленные выражения для расчетов базируются на использовании ограниченной экспериментальной информации представленной различными авторами. Имеющиеся данные зачастую носят противоречивый характер и касаются, как правило, прогнозирования качества обработанной поверхности однонаправленных стекло- и углепластиков. В то же время величина коэффициента трения в расчетах оказывает значительное влияние на представление изнашивания и стойкости инструмента. Модель не учитывает влияние на величину коэффициента трения контактного давления, скорости взаимного скольжения и температуры, что будет являться предметом дальнейших исследований в данном направлении.

Ключевые слова: коэффициент трения, абразивный износ, содержание наполнителя, направление армирования, износ инструмента.

Khavin G.L., Doctor of science, professor, Hou Zhiwen, post-graduate student

**DETERMINATION OF THE COEFFICIENT SLIDING FRICTION VALUE
IN THE CONTACT THE CUTTING TOOL-COMPOSITE**

National Technical University "Kharkov polytechnic institute", Kharkov

One of the most important characteristics in calculating the cutting tool wear in contact with the processed composite is the friction coefficient. In most calculations, including the finite element method, the friction coefficient is traditionally set as a constant, the value of which is often taken from experience without any reason. However, when machining reinforced composites, there are too many mechanical and technological factors that have a very strong effect on the friction coefficient value. This influence is associated not only with the initial heterogeneity of the composite, but also with the constant actual change in the contact conditions over time, caused by the wear of the tool cutting part. The friction coefficient value in real conditions of contact interaction has a very complex physical content due to the presence of products of fibers and binder destruction in the contact, partial a binder melting at a temperature in contact, and the unevenness of the cut fibers presence.

This article presents a formulation that allows you to calculate the value of the friction coefficient depending on the volumetric content and the inclination angle of the reinforcing elements. It is proposed to calculate the friction coefficient value as the product of two factors, one of which is responsible for the filler volumetric content, and the other for the reinforcing elements orientation. The calculations use the mixtures theory relations. The presented expressions for calculations are based on the use of limited experimental information presented by various authors. The available data are often contradictory and relate, as a rule, to predicting the processed surface quality of unidirectional glass and carbon fiber reinforced plastics. At the same time, the friction coefficient value in the calculations has a significant impact on the representation of tool wear and life. The model does not take into account the contact pressure effect, mutual sliding velocity and temperature on the friction coefficient value, which will be the subject of further research in this direction.

Keywords: friction coefficient, abrasive wear, filler content, reinforcement direction, tool wear.

Савінок О.М.,¹ к.т.н., пров.наук.співробітник, Добринін Є.В.,¹ к.т.н., начальник НДЦ,
Сушинський Д.О.,² наук.співробітник

ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДЛЯ ПРОДОВОЛЬЧОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЛОЧИСЕЛЬНИХ ГРУП В УМОВАХ РОЗТАШУВАННЯ ПОЗА МЕЖАМИ МІСЦЬ ДИСЛОКАЦІЇ

¹Науково-дослідний центр Збройних Сил України “Державний океанаріум” Інституту
Військово-Морських Сил Національного університету “Одеська морська академія”

²Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Ключові слова: загальновійськова норма, інноваційні технології продуктів харчування, продовольче забезпечення, організація харчування в польових умовах.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день харчування особового складу Збройних Сил України визначається продуктовим набором, відповідно до встановлених норм та з урахуванням спеціалізації. Медико-біологічні вимоги до харчування військовослужбовців базуються на принципах збалансованості раціонів за енергетичними витратами, вмістом і співвідношенням основних нутрієнтів: білків, жирів, вуглеводів, вітамінів і мінералів відповідно до фізіологічних рекомендацій, трьохразового режиму харчування, достатньої кількості їжі під час їх діяльності [1–2]. Особливу актуальність харчування набуває під час виконання завдань військовими підрозділами поза межами постійної дислокації.

Відповідно до норм фізіологічних потреб для військовослужбовців в основних поживних речовинах та енергії, добові енерговитрати складають від 2800 до 4300 ккал [3]. За основу розрахунків калорійності пайка за загальновійськовою нормою, приймають 3863 ккал (таке значення енергетичної потреби відповідає IV-й групі інтенсивності фізичної праці). Забезпечувати калорійність харчування повинні продукти високої біологічної цінності та багаті на есенціальні речовини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Харчування військовослужбовців здійснюється за трьома напрямками: стаціонарне (за місцем дислокації), польове (під час виконання завдань поза межами місць дислокації) та обмежене (під час участі у воєнних конфліктах різного ступеню інтенсивності, в умовах різних змін обстановки та недостатніх ресурсів, у тому числі й продовольчих) [5]. Для осіб передбачений перелік продуктів харчування, відповідно до встановлених норм [2], який включає хліб та хлібобулочні вироби, крупи, м'ясні, рибні, молочні продукти, овочі, фрукти або соки, тощо, незалежно від напрямку харчування, але з різним ступенем готовності до споживання.

До набору, за загальновійськовою нормою № 1, входять сировина та продукти різного ступеню підготовленості до подальшої термічної обробки: м'ясо в напівтушах чи відрубках, риба в тушках заморожена, овочі неочищені. Підготування сировини здійснюють перед безпосереднім використанням. Така організація процесу приготування їжі вимагає певний час на підготовчі операції та додаткові витрати води для санітарної обробки. В місцях постійної дислокації для цього використовуються стаціонарні дже-

рела водопостачання, сховища з регульованою температурою для зберігання овочів, розмежовані низькотемпературні камери для зберігання м'ясної, молочної та рибної сировини. Зберігання продуктів харчування в стаціонарних умовах, здійснюється з урахуванням їх втрат від усихання та псування.

За можливості використання свіжих – сировини та продуктів, для їх зберігання в охолодженому та замороженому вигляді в польових умовах, використовують холодильні камери. Саме об'єм цих камер, значною мірою, визначає автономність перебування малочисельних груп поза межами місць постійної дислокації.

Зберігання плодів та овочів супроводжується фізичними, біохімічними та мікробіологічними процесами, які суттєво змінюють їх якісні характеристики. Фізичні процеси обумовлені випаровуванням вологи з поверхні, послабленням тургору клітин, зниженням пружності тканин, їх в'яненню, послабленням імунітету. Біохімічні зміни обумовлені активністю тканинних ферментів, дія яких сприяє зменшенню поживних речовин. Мікробіологічне псування обумовлене життєдіяльністю бактерій, дріжджів, плісняви. Для того, щоб виключити негативні зміни якості плодоовочевої сировини, під час промислової обробки, створюють такі умови, щоб максимально уповільнити розвиток мікробіоти та протікання біохімічних процесів. Використання модифікованого газового середовища (співвідношення O_2 – 7–10 %, N_2 – 84–89 %, CO_2 – 4–6 %), або вакууму, в поєднанні із бар'єрними плівковими матеріалами, наприклад, мікропористої плівки і плівки ПЕНП/ОПП для модифікованих середовищ [6], дозволяє подовжити строки зберігання овочів до 5–15 діб. Загальна тривалість зберігання залежить від складу середовища, плівкових матеріалів і наявності сорбентів в упаковці. Природні сорбенти – силікатні гелі, діоксид кремнію, активоване вугілля, цеоліти використовують для подовження строків зберігання упакованих овочів. Перераховані сорбенти поглинають крапельну вологу, яка утворюється в упаковці, знижують масову частку етилену в 1,2–1,5 разів, витрати цукрів в 1,5–1,7 разів, дозволяють зберегти залишкову кількість вітаміну С в 1,8–2,2 рази [7–8]. Вдале поєднання попередньої обробки, яка включає: калібрування, миття, очищення, повторне миття, інспекцію, упакування в пакети масою від 5 до 10 кг, дозволяє в повній мірі зберегти якість плодів та овочів, їх поживну та біологічну цінність. Окрім того, при промисловій переробці овочів утворюються харчові відходи, які потребують утилізації і забруднена вода, яку необхідно очищувати. Повною мірою можна забезпечити ефективну переробку відходів і очищення стічних вод лише за використання промислових систем.

Не менш важливим є раціональний підхід у виборі м'ясної сировини. Наприклад, за загальновійськовою нормою харчування, для приготування їжі, передбачено використання м'яса на кістках. Під час обробки напівтуш, отримують відходи, частка яких залежить від вгодованості та виду сировини, наприклад, при розділюванні напівтуші яловичої 2 категорії – відходи становлять 31 % від її ваги [9]. Використання м'ясної сировини у вигляді напівфабрикатів, упакованих в умовах вакууму в бар'єрні плівки, виключить необхідність в процесах розділювання, обвалювання, порціонування та миття обладнання. Окрім того, використання напівфабрикатів дозволить раціонально використовувати об'єм холодильної камери. Строк зберігання напівфабрикатів за ДСТУ 4589:2006 [10] – 10 діб, за температури зберігання від $-1^{\circ}C$ до $+4^{\circ}C$. Деякі виробники плівкових матеріалів дозволяють збільшити термін зберігання охолоджених натуральних напівфабрикатів до 30 діб [11]. За різних ситуацій, можна використовувати м'ясні напівфабрикати в замороженому вигляді з температурою зберігання від $-10^{\circ}C$ до $-12^{\circ}C$.

До раціону харчування особового складу передбачено обов'язкове включення риби. В польових умовах використання свіжої випотрошеної риби (всіх родин та видів, вирощену в рибницьких господарствах, а також на виловлену в водоймах України) недоцільно [12]. На відміну від м'яса, строк її зберігання обмежується терміном в 1–2 доби за умови зберігання за температури від 0 до 6 °С. Для виключення появи харчових відходів і забезпечення максимального підготування до термообробки, доцільно використовувати філе рибне заморожене за ДСТУ 4379:2005 [13], або рибу у тушках оброблену [14] та запаковану в умовах вакууму в пакети з полімерних матеріалів. Використання вакуумування для пакування жирних сортів риб виключає окиснення ліпідів, багатих на ненасичені жирні кислоти і зберігає біологічну цінність сировини.

Використання хлібних заморожених напівфабрикатів високого ступеню готовності за технологією “Par-baked Frozen technology”, дозволяє забезпечити свіжим хлібом, навіть в побутових умовах. Технологія даного продукту передбачає виробництво хліба із ступенем готовності 85–95 %, заморожування заготовок, зберігання за температури -18 °С упродовж 6 місяців та допикання упродовж 5 хв. в місцях реалізації або споживання. Технології “Par-baked Frozen technology” засновані на зупинці процесу випікання хліба. Такий спосіб виробництва хліба є альтернативою подолання черствіння та мікробіологічного псування продукту [15-16]. Для нівелювання негативного впливу заморожування на структуру заготовки, науковці пропонують “покрощувачі хліба”. Функцію структуроутворювачів можуть виконувати модифіковані хімічними сполуками полісахариди, наприклад, гідроксипропілметилцелюлоза [17]. Структуроутворювачі уповільнюють процес ретроградації амілопектину, відповідно, черствіння невипеченого хліба під час його зберігання за низьких температур. Аналогічний ефект спостерігається у повністю випеченому хлібі. На ринку України є ряд компаній, які пропонують хлібні заморожені напівфабрикати високого ступеню готовності – ПрАТ “КОНЦЕРН ХЛІБПРОМ” [18], ТОВ “ХЛІБОКОМБІНАТ “КУЛИНИЧІ” [19] та інші.

Для скорочення часу на приготування їжі в польових умовах та ефективного використання енергоресурсів, наявних у малочисельних підрозділів, доцільно використовувати крупи підвищеної поживної цінності та крупи, які не потребують варіння. Крупи підвищеної поживної цінності – це швидкорозварювані пресовані вироби, які за формою і розмірами нагадують натуральні крупи [20]. Основою таких круп є борошняні продукти з рису, гречки, вівсяних круп, кукурудзи, ячменю, гороху або їх суміші з додаванням знежиреного сухого молока (молочних відвійок), сухого ячяного білка або ячяного продукту в натуральному і замороженому вигляді (білок, меланж). Крупи із борошняних сумішей, дозволяють використовувати їх для харчування особового складу в польових умовах і, тим самим, зменшити тривалість термообробки, збалансувати їх раціон.

В екстремальних умовах, за участі груп малої чисельності (до 30 осіб), у конфліктах різного ступеню інтенсивності, особливо тоді, коли вони виконують завдання окремо від основних сил та обмежені у можливості періодичного поповнення витратних ресурсів, доцільно використовувати крупи, які не потребують варіння – продукт готовий до споживання без приготування (після заливання окропом і набрякання за кімнатної температури упродовж не більше 10 хв.). Крупи на виробництві проходять повний цикл обробки: очищення, миття, варіння до повної кулінарної готовності, висушування, плющення і досушування до стандартної масової частки вологи в продукті [21–22].

Ринок круп'яних продуктів пропонує ще один варіант – швидкорозварювальні крупи. Особливістю цих круп є – зменшення витрат часу на варіння. Для такої продук-

ції на сучасних заводах використовують різні технологічні прийоми: гідротермічну обробку в поєднанні з плющенням; мікронізацію – нагрівання зерна інтенсивним інфрачервоним випромінюванням, в результаті чого внутрішньоклітинна вода закипає (при тому зерна спучуються) і розриває довгі молекули крохмалю, оброблене зерно піддають плющенню; екструзію – нагріте зерно під високим тиском пропускають через шнекову систему, на виході із-за перепаду тиску і температури, зерна втрачають вологу і збільшуються в об'ємі, набувають пористої структури [23]. Отриманий продукт – готовий до вживання після нетривалої термічної обробки, або, навіть, після заливання окропом (водою, соком).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

На даний час триває трансформація системи логістичного забезпечення Збройних Сил нашої держави. Сутність якої полягає у імплементації стандартів НАТО в процесі та процедури продовольчого забезпечення вітчизняних Збройних Сил.

Керівництвом Альянсу виділені певні напрями розвитку продовольчого забезпечення на період до 2035 року [4], одним із яких є – пошук нових способів консервування їжі та технологій її підготування до подальшої термообробки. Для його реалізації, харчова промисловість нашої держави має всі необхідні ресурси, як інтелектуальні, так і промислові.

Постановка завдання

Автономність малочисельної групи передбачає забезпеченість продуктами харчування на термін виконання поставлених завдань, або за умови періодичності отримання харчових ресурсів від постачальників. Основним завданням такої організації продовольчого забезпечення – є раціональний підбір сировини та готових продуктів, які забезпечать повноцінне харчування особового складу упродовж встановленого терміну. Відповідно, основна мета роботи полягає в аналізі інноваційних технологічних розробок щодо підготовки та зберігання продуктів, які б забезпечили повноцінне харчування осіб зі складу малочисельної групи під час виконання завдань поза межами місць дислокації, на термін, не менш встановленого.

Для реалізації поставленої мети був проаналізований ринок інноваційних технологій виробництва продуктів харчування, проведені розрахунки маси та об'єму продуктів харчування, за основу яких прийнята загальновійськова норма № 1, для малочисельного підрозділу (до 30 осіб) на термін його дій, не менш 10 діб. Відповідно до проведеного аналізу сучасних пропозицій харчової промисловості, запропоновані види сировини та напівфабрикатів, які дозволять: зменшити об'єми холодильних камер для зберігання продуктів; скоротити тривалість приготування їжі, витрати води і пального; зменшити працевитрати особового складу з числа кухарів на приготування готових страв повноцінного раціону.

Виклад основного матеріалу

Розрахунки маси та об'єму продуктів харчування за загальновійськовою нормою, встановленою Постановою [2], були проведені для малочисельної групи у складі 30 осіб на 10 діб. Для оцінки можливої ефективності від використання овочевих та м'ясних напівфабрикатів, в проведених розрахунках, були використані маси підготовленої сировини із урахуванням відходів. Густини продуктів при переведенні на об'єм – довідкові [24].

Відсоток відходів під час первинної обробки овочів, відповідно до методичних рекомендацій [9], залежить від сезону та виду сировини. Числові значення, наведені в

таблиці 1, були розраховані за максимальними нормами відходів, які визначені в період з 1 січня і становлять: для картоплі – 35 %; буряка, моркви, капусти – 25 %; для цибулі – 16 %. Відповідно до результатів розрахунків, їх об'єм, для підрозділу визначеного складу упродовж встановленого терміну, складає 0,313 м³.

Ряд компаній України, наприклад, ТОВ «Галичагропак» [25], ООО «Агрохолдинг» [26] та інші, пропонують очищені, миті та упаковані в умовах вакууму овочі, для мережі закладів громадського харчування: цибулю, буряк, моркву та картоплю. Це забезпечує зручність використання, що особливо актуально в польових умовах, де існує дефіцит води. Саме цей фактор може бути визначальним у виборі сировини для забезпечення малочисельних груп.

М'ясна сировина розрахована для яловичих напівтуш 2 категорії вгодованості, як приклад, та отриманих напівфабрикатів із напівтуш цієї ж категорії вгодованості з нормою відходів – 31 % [9].

За підсумком проведених розрахунків (таблиця 1), використання упакованих м'ясних напівфабрикатів, очищених овочів, дозволить вивільнити об'єм холодильних камер на 0,335 м³ (19,3 %) від загального об'єму. Враховуючи те, що розрахунки були проведені для забезпечення групи особового складу з 30 осіб на 10 діб, за наявності холодильного обладнання визначеного об'єму, термін автономності дій групи цієї чисельності можливо збільшити ще на дві доби, без додаткового постачання продовольства.

Таблиця 1 – Розрахунок маси та об'єму продуктів харчування за загальновійськовою нормою № 1 групи чисельністю 30 осіб на 10 діб

| Найменування продукту | Маса на одну особу на добу, г | Маса очищених продуктів, г | Маса продуктів для 30 осіб на 10 діб, кг (яйця, шт) | Густина[24], кг/м ³ | Об'єм за загальновійськовою нормою, м ³ | Об'єм продуктів із урахуванням підготовлених до термообробки, м ³ | Різниця, м ³ |
|--|-------------------------------|----------------------------|---|--------------------------------|--|--|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Хліб із суміші борошна житнього обдирного і пшеничного першого сорту | 300 | – | 90 | 540 | 0,16667 | – | – |
| Хліб із борошна пшеничного першого сорту | 350 | – | 105 | 440 | 0,23864 | – | – |
| Булочка із борошна пшеничного першого сорту | 70 | – | 21 | 370 | 0,05676 | – | – |
| Борошно пшеничне другого сорту | 15 | – | 4,5 | 900 | 0,00500 | – | – |
| Крупи різні | 120 | – | 36 | 910 | 0,03956 | – | – |
| Макаронні вироби | 40 | – | 12 | 671 | 0,01788 | – | – |
| М'ясо | 250 | 172,5 | 75 | 1070 | 0,07009 | 0,04836 | – |
| Риба | 150 | – | 45 | 1049 | 0,04290 | – | – |
| Сало-шпик | 20 | – | 6 | 995 | 0,00603 | – | – |
| Мед натуральний або джем | 20 | – | 6 | 1435 | 0,00418 | – | – |
| Жири тваринні топлені, маргарин | 15 | – | 4,5 | 890 | 0,00506 | – | – |
| Олія | 25 | – | 7,5 | 890 | 0,00843 | – | – |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------------|-----|-----|----------|------|---------|---------|--------|
| Сир сичужний твердий | 20 | – | 6 | 1094 | 0,00548 | – | – |
| Масло | 30 | – | 9 | 942 | 0,00955 | – | – |
| Яйця курячі, штук* (на тиждень), кг | 2 | – | 120*/5,4 | 1086 | 0,00497 | – | – |
| Цукор | 70 | – | 21 | 928 | 0,02263 | – | – |
| Сіль, сіль йодована | 25 | – | 7,5 | 1200 | 0,00625 | – | – |
| Чай | 1,2 | – | 0,36 | 315 | 0,00114 | – | – |
| Лавровий лист | 0,2 | – | 0,06 | 150 | 0,00040 | – | – |
| Перець | 0,3 | – | 0,09 | 550 | 0,00016 | – | – |
| Гірчичний порошок | 0,3 | – | 0,09 | 670 | 0,00013 | – | – |
| Оцет | 1 | – | 0,3 | 1050 | 0,00029 | – | – |
| Томат-паста | 6 | – | 1,8 | 1110 | 0,00162 | – | – |
| Картопля і овочі, усього | 900 | 720 | 270 | – | – | – | – |
| у тому числі: | – | – | – | – | – | – | – |
| картопля | 600 | 480 | 180 | 233 | 0,77253 | 0,50215 | – |
| капуста | 130 | 104 | 39 | 400 | 0,09750 | 0,07313 | – |
| буряки | 30 | 24 | 9 | 460 | 0,01957 | 0,01467 | – |
| морква | 50 | 40 | 15 | 450 | 0,03333 | 0,02500 | – |
| цибуля | 50 | 40 | 15 | 450 | 0,03333 | 0,02800 | – |
| огірки, помідори, зелень | 40 | – | 12 | 410 | 0,02927 | – | – |
| Сухофрукти | 20 | – | 6 | 560 | 0,01071 | – | – |
| або соки фруктові (плодово-ягідні) | 100 | - | - | - | - | - | - |
| яблучний | 100 | | 30 | 1063 | 0,02822 | | |
| виноградний | 100 | | 30 | 1056 | 0,02841 | | |
| томатний | 100 | | 30 | 1078 | 0,02783 | | |
| Разом | | | 1100,1 | | 1,7383 | 1,4033 | 0,3351 |

Під час проведення досліджень, щодо забезпечення малочисельних груп водою у польових умовах, за основу прийнято норми [2,9], які включають в себе: воду для питних (господарсько-питних) та технічних потреб. Питні потреби задовольняються за рахунок бутильованої води [2], господарсько-питні – із наявної цистерни з водою, зрідка, із зовнішніх джерел (за умови дотримання санітарних вимог і контролю за якістю води). Під час виконання поставлених завдань малочисельними групами на відокремленому напрямку, норми споживання води встановлюють в залежності від погоди (помірної – до + 25 °С; спекотної – більше + 25 °С) (таблиця 2).

Таблиця 2 – Розрахунок споживання води на господарсько-питні потреби (літрів на 30 осіб на 10 діб)

| Вид споживання | При помірній – до + 25 °С | На 30 осіб на 10 діб | При спекотній – більше + 25 °С | На 30 осіб на 10 діб |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Приготування їжі | 3 | 900 | 3,5 | 1050 |
| Випікання хліба | 1 | 300 | 1 | 300 |
| Миття кухонного інвентарю | 2 | 600 | 2,5 | 750 |
| Всього: | 6 | 1800 | 7 | 2100 |

Аналіз розрахунків, наведених у таблиці 1, свідчить про те, що частку води на приготування їжі та миття кухонного інвентарю можна значно зменшити. За максима-

льними нормами витрат води в спекотний період року, на приготування їжі передбачено 1050 л води, на миття інвентарю – 750 л. Виключення операцій з очищення та миття овочів, відповідно й миття інвентарю, дозволить зменшити частку витрат води на 60 %, тобто до 1080 л. Відповідно, використання напівфабрикатів хліба, дозволить зменшити витрати води ще на 300 л.

Підсумкова економія питної води буде складати 1380 літрів, що складає 66 % від загального об'єму, за її використання без, наведених вище, інноваційних розробок.

Висновки

Відповідно до проведеного аналізу інноваційних технологій виробництва продуктів харчування та розрахунків, на основі загальновійськової норми, маси та об'єму продуктів харчування, слід відзначити, що використання очищених овочів, м'ясних напівфабрикатів, підготовлених до термічної обробки, дозволить зменшити об'єм холодильних камер для зберігання продуктів харчування на 19,3 %, виключить появу харчових відходів та брудної води, які потребують утилізації (очищення).

Використання швидкорозварюваних круп та круп підвищеної поживної цінності, зменшить тривалість процесу приготування страв з 40–60 хв. до 10–15 хв., що в польових умовах забезпечить економію паливо-мастильних матеріалів, які витрачаються для забезпечення роботи технологічного обладнання польових пунктів харчування (польових кухонь).

Випікання хліба із заморожених напівфабрикатів високого ступеню готовності забезпечить щоденну потребу осіб у свіжому хлібі та виключить загрозу споживання ураженого цвіллю продукту. Окрім того, зникне необхідність в габаритних польових пекарнях, або щоденному його отриманні від постачальників, адже для допікання такого хліба достатньо невеличкої духової печі або пароконвектавтомату.

Максимальний ступінь підготування сировини до термічної обробки, який забезпечать напівфабрикати, зменшить: працевитрати кухаря; час на приготування повноцінних раціонів; об'єми питної води та палива, необхідного для приготування їжі.

Література

1. Депутат Ю.М. Гігієнічне обґрунтування корекції загальновійськового добового раціону харчування військовослужбовців строкової служби Збройних Сил України: автореф. дис. канд. мед. наук.: 14.02.01. К. 2010. 19 с.
2. Норми харчування військовослужбовців Збройних Сил та інших військових формувань, затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 29 березня 2002 р. № 426 // Офіційний вісник України. 2002. № 14. Ст. 739; там само. 2013. № 100. Ст. 3663.
3. Основи військової гігієни. Санітарний нагляд і медичний контроль за харчуванням військ [Електронний ресурс] // Медицина. Особиста гігієна. 2013. Режим доступу: <http://www.sitesforyou.tk/chasten.html>). Назва з екрану. Общая и военная гигиена / под ред. Б.И. Жолуса. СПб: ВМА, 1996. 472 с.
4. Шаронов А.Н., Шаронов Е.А. Основные направления развития технических средств продовольственной службы стран НАТО. URL.: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42880696_71612374.pdf. (дата звернення: 26.04.2021).
5. Смоляр В.И. Рациональное питание. Киев: Наукова думка, 1991. 368 с.

6. MAPAX – упаковка в модифікованому газовому середовищі. URL.: <http://www.linde-gas.com.uk/industries/food-and-beverage/map.html>. (дата звернення: 21.12.2021).
7. Главчева С.И., Сапожников А.Н., Махачева Е.В. Индустриальное производство в общественном питании. Н: НГТН, 2018. 124 с.
8. Козлов Н.А., Карпицкий А.М. Влияние некоторых сорбентов на сохраняемость корнеплодов моркови // Белорусская гос. с.-х. акад. Агроекология. Горки, 2005. Вып. 2. С. 45–47.
9. Головнов В.Ю., Михайлик О.І., Сабецький А.М., Капустянський В.В. Методичний посібник з питань організації та здійснення контролю командиром військової частини Сухопутних військ Збройних сил України за харчуванням особового складу під час організації продовольчого забезпечення шляхом залучення суб'єктів господарювання. Затверджено: Наказ командувача Сухопутних військ Збройних Сил України, від 16.10. 2009 р. № 455. Київ, 2009. 63 с.
10. Напівфабрикати м'ясні натуральні від комплексного ділення яловичини за кулінарним призначенням. Технічні умови: ДСТУ 4589:2006. [Чинний від 2007-08-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 12 с.
11. КАТАЛОГ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ. URL.: https://plastics.ua/assets/files/catalogs/packing/Package_screen.pdf. (дата звернення: 18.12.2021).
12. Риба жива. Загальні технічні вимоги. ДСТУ 2284:2010. [Чинний від 2012-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 15 с.
13. Філе рибне заморожене Технічні умови. ДСТУ 4379:2005 [Чинний від 2006-04-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 15 с.
14. Риба, морські безхребетні, водорості та продукти їх перероблення. Терміни та визначення ДСТУ 3326-1996. [Чинний від 1997-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1997. 29 с.
15. Eveline Lopes Almeida, Caroline Joy Steel, Yoon Kil Chang Par-baked Bread Technology: Formulation and Process Studies to Improve Quality Critical Reviews in Food Science and Nutrition Volume 56. 2016 P. 70–81 <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.715603>.
16. Almeida E.L. and Chang, Y.K. Effect of proving time on the quality of frozen pre-baked French style rolls elaborated with the addition of wholegrain flour and enzymes. J. Food Sci. Technol. 2014. 51. P. 3390–3396.
17. Barcenas, Maria Eugenia, Rosell, Cristina M. Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. Food chemistry. 2007. Volume: 100. Issue: 4, P. 1594-1601 DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.12.043.
18. КОНЦЕРН ХЛІБПРОМ. URL.: <https://hlibprom.com.ua/static/about>. (дата звернення: 24.12.2021).
19. ТОВ “ХЛІБОКОМБІНАТ “КУЛИНИЧІ”. URL.: <http://wikimapia.org/11451712/ru/ООО-“Кулиничёвский-Хлебозавод”>. (дата звернення: 24.12.2021).
20. ДСТУ 2629-94 Крупи, побічні продукти і відходи. Терміни та визначення понять 01.07.1995 Дата прийняття 29.06.1994. Наказ від 23.11.1994 № 290. Київ: Київський інститут хлібопродуктів. 1995. 18 с.
21. Супрун-Крестова О.Ю. Технологія круп'яного виробництва: конспект лекцій для студ. спец. 6.091700 “Технологія зберігання і переробки зерна” заоч. форми навчання. К.: НУХТ. 2007. 74 с.

22. Шутенко Є.І., Соц С.М. Технологія круп'яного виробництва. К.: Освіта України, 2010. 272 с.
23. Експерти розповіли про сучасні методи виробництва круп. URL.: [Agravery.comhttps://agravery.com/uk/posts/show/eksperti-rozpovili-pro-sucasni-metodi-virobnictva-kруп](https://agravery.com/uk/posts/show/eksperti-rozpovili-pro-sucasni-metodi-virobnictva-kруп). (дата звернення: 18.12.2021).
24. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник. Изд. Второе, дополн. и перераб. М.: “Пищевая промышленность”. 1980. 288 с.
25. Фасовані, очищені овочі та продукція у вакуумних пакетах, Львовская обл. URL.: <https://agro-ukraine.com>; <https://agro-ukraine.com/ru/trade/m-799193/fasovani-ochishheni-ovochi-ta-produktsiya-u-vakuumnikh-paketakh/>. (дата звернення: 18.12.2021).
26. ООО “Агрохолдинг”. URL.: <https://agroholding.uaprom.net/p4187960-svezhie-ochischennye-rezannye.html>. (дата звернення: 18.12.2021).

Bibliography (transliterated)

1. Deputat Yu.M. Hihienichne obgruntuvannia korektsii zahalnoviiskovoho dobovoho ratsionu kharchuvannia viiskovosluzhbovtiv strokovoї sluzhby Zbroinykh Syl Ukrainy: avtoref. dys. kand. med. nauk.: 14.02.01. K. 2010. 19 p.
2. Normy kharchuvannia viiskovosluzhbovtiv Zbroinykh Syl ta inshykh viiskovykh formuvan, zatverdzeni Postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 29 bereznia 2002 r. № 426 // Ofitsiyni visnyk Ukrainy. 2002. № 14. St. 739; tam samo. 2013. № 100. St. 3663.
3. Osnovy viiskovoї hihieny. Sanitarnyi nahliad i medychnyi kontrol za kharchuvanniam viisk [Elektronnyi resurs] // Medytsyna. Osobysta hihiena. 2013. Rezhym dostupu: <http://www.sitesforyou.tk/chasten.html>). Nazva z ekrana. Obshchaia y voennaia hyhyena / pod red. B.Y. Zholusa. SPb: VMA, 1996. 472 p.
4. Sharonov A.N., Sharonov E.A. Osnovnye napravleniya razvytiya tekhnicheskikh sredstv prodovolstvennoi sluzhby stran NATO. URL.: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42880696_71612374.pdf. (data zvernennia: 26.04.2021).
5. Smoliar V.Y. Ratsyonalnoe pytanye. Kyev: Naukova dumka, 1991. 368 p.
6. MARAKh – upakovka v modifikovanomu hazovomu seredovyshchi. URL.: <http://www.linde-gas.com.uk/industries/food-and-beverage/map.html>. (data zvernennia: 21.12.2021).
7. Hlavcheva S.Y., Sapozhnykov A.N., Makhacheva E.V. Yndustrialnoe proyzvodstvo v obshchestvennom pytany. N: NHTN, 2018. 124 s.
8. Kozlov N.A., Karpytskyi A.M. Vliyanye nekotorykh sorbentov na sokhraniaemost korneplodov morkovy // Belorusskaia hos. s.-kh. akad. Ahroekolohyia. Horky, 2005. Vip. 2. P. 45–47.
9. Holovnov V.Iu., Mykhailyk O.I., Sabetskyi A.M., Kapustianskyi V.V., Metodychni posibnyk z pytan orhanizatsii ta zdiisnennia kontroliu komandyrom viiskovoї chastyny Sukhoputnykh viisk Zbroinykh syl Ukrainy za kharchuvanniam osobovoho skladu pid chas orhanizatsii prodovolchoho zabezpechennia shliakhom zaluchennia subiektiv hospodariuvannia. – Zatverdzheno: Nakaz komanduvacha Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy, vid 16.10. 2009 r. № 455. Kyiv, 2009. 63 p.
10. Napivfabrykaty miasni naturalni vid kompleksnoho dilennia yalovychny za kulinarnym pryznachenniam. Tekhnichni umovy: DSTU 4589:2006. [Chynnyi vid 2007-08-01]. – Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 12 p.

11. KATALOH MATERIALY DLIa PAKUVANNIa. URL.: https://plastics.ua/assets/files/catalogs/packing/Package_screen.pdf. (data zvernennia: 18.12.2021).
12. Ryba zhyva. Zahalni tekhnichni vymohy. DSTU 2284:2010. [Chynnyi vid 2012-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010. 15 p.
13. File rybne zamorozhene Tekhnichni umovy. DSTU 4379:2005. [Chynnyi vid 2006-04-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. 15 p.
14. Ryba, morski bezkhrebetni, vodorosti ta produkty yikh pereroblennia. Terminy ta vyznachennia. DSTU 3326-1996. [Chynnyi vid 1997-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1997. 29 p.
15. Eveline Lopes Almeida, Caroline Joy Steel, Yoon Kil Chang Par-baked Bread Technology: Formulation and Process Studies to Improve Quality Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016. Volume 56. P. 70-81 <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.715603>.
16. Almeida, E. L. and Chang, Y. K. Effect of proving time on the quality of frozen pre-baked French style rolls elaborated with the addition of wholegrain flour and enzymes. J. Food Sci. Technol. 2014. 51 P. 3390–3396.
17. Barcenas, Maria Eugenia, Rosell, Cristina M. Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. – Food chemistry. 2007. Volume: 100, Issue: 4. P. 1594-1601 DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.12.043.
18. KONTSEKHN KHLIBPROM. URL.: <https://hlibprom.com.ua/static/about>. (data zvernennia: 24.12.2021).
19. TOV “KHLIBOKOMBINAT “KULYNYCH”. URL.: <http://wikimapia.org/11451712/ru/OOO-“Kulynychëvskiy-Khlebozavod”>. (data zvernennia: 24.12.2021).
20. DSTU 2629-94 Krupy, pobichni produkty i vidkhody. Terminy ta vyznachennia poniat 01.07.1995 Data pryiniattia 29.06.1994. Nakaz vid 23.11.1994 № 290 Kyiv: Kyivskiy instytut khlিবoproductiv. 1995. 18 p.
21. Suprun-Krestova O.Iu. Tekhnolohiia krupianoho vyrobnytstva: konspekt lektsii dlia stud. spets. 6.091700 “Tekhnolohiia zberihannia i pererobky zerna” zaoch. formy navchannia. K.: NUKhT. 2007. 74 p.
22. Shutenko Ye.I., Sots S.M. Tekhnolohiia krupianoho vyrobnytstva. K.: Osvita Ukrainy, 2010, 272 p.
23. Eksperty rozpovily pro suchasni metody vyrobnytstva krup. URL.: [Agravery.comhttps://agravery.com/uk/posts/show/eksperti-rozpovili-pro-suchasni-metodi-virobnictva-krup](https://agravery.com/uk/posts/show/eksperti-rozpovili-pro-suchasni-metodi-virobnictva-krup). (data zvernennia: 18.12.2021).
24. Hynzburh A.S., Hromov M.A., Krasovskaia H.Y. Teplofyzicheskye kharakterystyky ryshchevyykh produktov. Spravochnyk. Yzd. Vtoroe, dopoln. y pererab. M.: “Pyshchevaia promyshlennost”. 1980. 288 p.
25. Fasovani, ochyshcheni ovochi ta produktsiia u vakuumnykh paketakh, Lvovskaia obl. URL.: <https://agro-ukraine.com>; <https://agro-ukraine.com/ru/trade/m-799193/fasovani-ochishheni-ovochi-ta-produktsiya-u-vakuumnykh-paketakh/>. (data zvernennia: 18.12.2021).
26. OOO “Ahrokholdynh”. URL.: <https://agroholding.uaprom.net/p4187960-svezhie-ochischennye-rezannye.html>. (data zvernennia: 18.12.2021).

УДК 612.3:664.8/.9[664.6/.7:637]

Савінок О.М., к.т.н., пров.наук.співробітник, Добринін Є.В., к.т.н., начальник НДЦ,
Сушинський Д.О., наук.співробітник

ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДЛЯ ПРОДОВОЛЬЧОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЛОЧИСЕЛЬНИХ ГРУП В УМОВАХ РОЗТАШУВАННЯ ПОЗА МЕЖАМИ МІСЦЬ ДИСЛОКАЦІЇ

В статті наведено аналіз загальних тенденцій продовольчого забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України. На даний час, проходить процес імплементації стандартів НАТО в процеси та процедури логістичного забезпечення вітчизняних Збройних Сил. Це стосується забезпечення військовослужбовців свіжими продуктами харчування, багатими есенціальними речовинами, максимального їх збереження при тривалому зберіганні та підготуванні перед споживанням.

Проаналізовані інноваційні пропозиції харчової промисловості, які можуть бути впроваджені в продовольче забезпечення Збройних Сил України, надані рекомендації. Для приготування страв доцільно використовувати очищені овочі, упаковані в бар'єрні плівки в умовах вакууму чи з використанням модифікованого газового середовища. М'ясну сировину бажано постачати до споживачів у вигляді упакованих натуральних напівфабрикатів. Підготовлені до термічної обробки очищені овочі та м'ясні напівфабрикати дозволять зменшити об'єми холодильних камер для їх зберігання, виключити появу харчових відходів та брудної води, які потребують утилізації (очищення). Рекомендовано використовувати швидкорозварювані крупи та крупи підвищеної поживної цінності. Такі круп'яні вироби зменшать тривалість процесу приготування страв з 40–60 хв. до 10–15 хв. Рекомендовано випікати хлібобулочні вироби із заморожених напівфабрикатів високого ступеню готовності. Це забезпечить потребу особового складу у свіжому хлібі, виключить щоденне його постачання, загрозу споживання ураженого цвіллю продукту та необхідність в габаритних польових пекарнях.

Встановлено, що раціональну організацію харчування малочисельних підрозділів забезпечать напівфабрикати із максимальним ступенем підготування до термічної обробки. Напівфабрикати зменшать: працевитрати кухаря; час на приготування повноцінних раціонів; об'єми питної води; витрати паливо-мастильних матеріалів; частку харчових відходів.

Савінок Оксана, Добрынин Евгений, Сушинский Дмитрий

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАЛОЧИСЛЕННЫХ ГРУПП ПРИ РАСПОЛОЖЕНИИ ВНЕ ПУНКТА ПОСТОЯННОЙ ДИСЛОКАЦИИ

В статье представлен анализ общих тенденций продовольственного обеспечения военнослужащих Вооруженных Сил Украины. В настоящее время проходит процесс имплементации стандартов НАТО в процессы и процедуры логистического обеспечения отечественных Вооруженных Сил. Это касается обеспечения военнослужащих свежими продуктами питания, богатыми эссенциальными веществами, максимальной их сохранности при длительном хранении и подготовке перед употреблением.

Проанализированы инновационные предложения пищевой промышленности, которые могут быть внедрены в продовольственное обеспечение Вооруженных Сил

України, предоставлены рекомендації. Для приготовления блюд целесообразно использовать очищенные овощи, упакованные в барьерные пленки в условиях вакуума или с использованием модифицированной газовой среды. Мясное сырье, желательны поставлять потребителям в виде упакованных натуральных полуфабрикатов. Подготовленные к термической обработке очищенные овощи и мясные полуфабрикаты позволят уменьшить объемы холодильных камер для их хранения, исключить появление пищевых отходов и грязной воды, требующих утилизации (очистки). Рекомендуется использовать быстрорастворимые крупы и крупы повышенной питательной ценности. Такие крупяные изделия снизят продолжительность процесса приготовления блюд с 40–60 мин. до 10–15 мин. Рекомендуется выпекать хлебобулочные изделия из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности. Это обеспечит потребность личного состава в свежем хлебе, исключит ежедневное его снабжение, угрозу потребления пораженного плесенью продукта и необходимость в габаритных полевых пекарнях.

Установлено, что рациональную организацию питания малочисленных подразделений обеспечат полуфабрикаты с максимальной степенью подготовки к термической обработке. Полуфабрикаты уменьшат: трудозатраты повара; время для приготовления полноценных рационов; объемы питьевой воды; расход горюче-смазочных материалов; долю пищевых отходов.

Ключевые слова: общевоинская норма, инновационные технологии продуктов питания, продовольственное обеспечение, организация питания в полевых условиях.

Savinok Oksana, Dobrynin Yevhenii, Sushynskiy Dmitry

IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF FOOD INDUSTRY FOR FOOD SUPPLY OF SMALL GROUPS IN THE LOCATION CONDITIONS OUTSIDE OF THE DISLOCATIONS

The article presents an analysis of general trends in food security for servicemen of the Armed Forces of Ukraine. Currently, the process of implementing NATO standards in the processes and procedures of logistical support of the domestic Armed Forces is underway. This applies to providing servicemen with fresh food, rich in essential substances, their maximum preservation during long-term storage and preparation before consumption.

Innovative proposals of the food industry that can be implemented in the food supply of the Armed Forces of Ukraine are analyzed, recommendations are given. For cooking, it is advisable to use peeled vegetables packed in barrier films in a vacuum or with a modified gaseous environment. It is desirable to supply raw meat to consumers in the form of packaged natural semi-finished products. Peeled vegetables and meat products prepared for heat treatment will reduce the volume of refrigeration chambers for their storage, eliminate the appearance of food waste and dirty water that need to be disposed (cleaned). It is recommended to use fast-cooking cereals and cereals of high nutritional value. Such cereals will reduce the duration of the cooking process from 40–60 minutes. up to 10–15 minutes. It is recommended to bake bakery products from frozen semi-finished products of a high degree of readiness. This will ensure the daily need of the staff for fresh bread, eliminate its daily supply, the threat of consumption of mold-infested products and the need for large field bakeries.

It is established that the rational organization of food of small units will be provided by semi-finished products with the maximum degree of preparation for heat treatment. Semi-finished products will reduce: labor costs of the cook; time to prepare full-fledged rations; drinking water volumes; fuels and lubricants; the part of food waste.

Keywords: general military norm, innovative food technologies, food supply, organization of food in field conditions.

«ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»**Щоквартальний науково-практичний журнал**

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

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

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

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

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ:

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

ПОРЯДОК РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ:

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

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

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

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

Тел. (057) 707-69-58.

Факс (057) 720-22-95.

Email: gor.kona2016@gmail.com

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

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

Індекс видання: **22786**

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

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

1'2022

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 21.06.2022 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,2. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–50.
Зам. № . Ціна договірна.

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

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