

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Інноваційні
дослідження у наукових
роботах студентів**

№ 18 (1294) 2018

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series:
Innovation researches in
students' scientific work**

No. 18 (1294) 2018

Collection of Scientific papers

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2018

Kharkiv
NTU "KhPI", 2018

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Innovation researches in students' scientific work: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2018. — № 18 (1294) 2018. — 100 с. — ISSN 2220-4784.

Видання присвячене освітленню наукових та навчальних досягнень в галузі інтегрованих технологій, процесів та апаратів хімічної та харчової інженерії. Публікуються статті, що стосуються розробки технологій комплексного інноваційного навчання і науково-технічної творчості студентів; безперервного розвитку бази фундаментальних і професійних знань, а також організаційних навичок в процесі інноваційного проектування і розробки технологічних об'єктів різного рівня складності. Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців галузі.

The main purpose is the publication of scientific works of students, lecturers and employees of higher educational establishments, which promotes the development of technologies of innovative teaching and scientific and technical creativity of students; contributes to the continuous development of the audience as a base of fundamental and professional knowledge, as well as organizational skills, in the process of innovative design and development of industrial technological objects of various levels of complexity. It's a unique opportunity for companies, organizations and researchers to contribute to the advancement and development of up-to-date and progress scientific and technical issues related of Chemical Engineering.

Державне видання.

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Наказом МОН України № 1328 від 21.12.2015 р. «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 15 грудня 2015 року».

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів включений до зовнішніх інформаційних систем, індексується Google Scholar; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://vestnik.kpi.kharkov.ua/idnrs>

Засновник
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Головний редактор

Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ», Україна

Заст. головного редактора

Марченко А. П., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Секретар

Горбунов К. О., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Редакційна колегія серії

Відповідальний редактор:

Бухкало С. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний секретар:

Бухкало С. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

Гладкий Ф. Ф., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Куценко О. С., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Єфимов О. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Арсеньєва О. П., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Самородов В. Б., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Ткачук М. А., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Капустенко П. О., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Мілих В. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Й. Клемеш, проф., університет Паннонії, Венгрія

П. Варбанов, РНД, с.н.с., технологічний

університет, Брно, Чеська республіка

П. Стехлик, РНД, проф., технологічний

університет, Брно, Чеська республіка

А. Месарош, РНД, проф., технологічний

університет, Братислава, Словачька республіка

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 6 від 06 липня 2018 р.

Editor-in-chief

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Deputy editor-in-chief

Marchenko A. P., dr. tech. sc., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Secretary

Gorbunov K. O., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff

Associate editor:

Bukhkalov S. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Executive secretary:

Bukhkalov S. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

Gladky F. F., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Kutsenko O. S., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Efimov A. V., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Arsenyeva O. P., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Samorodov V. B., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Tkachuk M. A., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Kapustenko P. A., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Milykh V. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Jiří Jaromír Klemeš, Professor at the University of Pannonia, Veszprém, Hungary and the Institute of Science and Technology Manchester, UK

Petar Sabej Varbanov, Senior Researcher, Sustainable Process Integration Laboratory, Brno University of Technology, Czech Republic

Petr Stehlik, Professor of Process Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic.

A. Mészáros, Professor of Chemical/Control Engineering, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic.

УДК 378.65.011.56

*С. І. БУХКАЛО, О. І. ОЛЬХОВСЬКА, С. П. ІГЛІН, М. М. ЗІПУННІКОВ***МОЖЛИВОСТІ РОЗВИТКУ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНИХ ЕКОЛОГІЧНОБЕЗПЕЧНИХ ПРОЕКТІВ УТИЛІЗАЦІЇ-МОДИФІКАЦІЇ**

В статті наведені можливості вирішення деяких задач навчання студентів НТУ «ХПІ» у межах енергетичного тижня ЄС з метою підвищення ефективності використання твердих побутових відходів та відходів різних галузей промисловості на комплексному підприємстві, яке може забезпечувати усі свої енергетичні потреби самостійно. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань як організація збирання і транспортування відходів, їх ідентифікація та методи контролю якості; вибір науково-обґрунтованих методів переробки та утилізації полімерів як частки твердих побутових відходів; розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки відходів; вибір підприємств для утилізації полімерів і виду енергетичних ресурсів для реалізації цих проектних рішень. Можливості рециклінгу представлена для комплексних проектів студентів на прикладах переробки поліетиленової плівки методами хімічного зпінювання, введенням перекису дикумила або різновидів речовин для модифікації властивостей вторинного поліетилену.

Ключові слова: комплексні енерготехнології, тара та пакування, екологічна безпека, науково-обґрунтовані методи, переробка та утилізація.

*С. И. БУХКАЛО, О. И. ОЛЬХОВСКАЯ, С. П. ИГЛИН, Н. Н. ЗИПУННИКОВ***ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОЕКТОВ УТИЛИЗАЦИИ-МОДИФИКАЦИИ**

В статье приведены возможности решения некоторых задач обучения студентов НТУ «ХПИ» в рамках энергетической недели ЕС с целью повышения эффективности использования твердых бытовых отходов и отходов различных отраслей промышленности на комплексном предприятии, которое может обеспечивать все свои энергетические потребности самостоятельно. Исследования направлены на изучение таких вопросов, как организация сбора и транспортировки отходов, их идентификация и методы контроля качества; выбор научно-обоснованных методов переработки и утилизации полимеров как части твердых бытовых отходов; разработка необходимых технологических схем и оборудования для переработки отходов; выбор предприятий для утилизации полимеров и вида энергетических ресурсов для реализации этих проектных решений.

Ключевые слова: комплексные энерготехнологии, тара и упаковка, экологическая безопасность, научно-обоснованные методы, переработка и утилизация.

*S. I. BUKHKALO, O. I. OLKHOVSKA, S. P. IGLIN, M. M. ZIPUNNIKOV***POSSIBILITIES OF DEVELOPMENT OF COMPETENCIES OF COMPREHENSIVE ECO-FRIENDLY PROJECTS OF RECYCLING-MODIFICATION**

The materials by students of NTU «XPI» are presented the possibilities of solving problems of improving the use of wastes of different industries on a complex enterprise that can provide all its energy needs alone. The problem of wastes utilization and recycling is present as complex research and analysis of energy- and resource saving processes for treatment of polymer wastes of various origin. The investigation are focused in researching such problems as organization of waste collection, transportation and identification of wastes according to adapted polymers classification; selection of scientific based methods of wastes to be utilized or recycled; the development of appropriated process flow sheets and choice of modifications additives and equipment for polymers waste recycling. The recycling technic is demonstrated on examples of recycling the polyethylene film by chemical foaming and injection moulding methods. The choice of appropriate plants with selected energy resources is very important for projects realization. The investigation are focused in researching such problems as organization of waste collection, transportation and sorting-identification of wastes according to adapted polymers classification; selection of scientific based methods of wastes to be utilized or recycled; the development of appropriated process flow sheets and choice of modifications additives and equipment for polymers waste recycling. The choice of appropriate plants with selected energy resources is very important for projects realization.

Keywords: integrated energy technologies, packaging, evidence-based methods, ecological safety, wastes recycling-modification.

Вступ. Сучасні політичні, соціально-економічні і, сподіваємось, екологічні перетворення в українській державі ставлять нові завдання перед освітньою системою країни. Вища освіта, при цьому, розглядається як сфера довгострокових фінансових інвестицій, у результаті яких Україна отримує не тільки освітній науково-технологічний, науково-технічний, інтелектуальний і кадровий потенціал для свого розвитку. Нова редакція Закону України «Про вищу освіту» розширює автономію вищих навчальних закладів (ВНЗ), зокрема щодо здійснення спільної діяльності з іншими ВНЗ (України та іноземних), вибору типів програм підготовки бакалаврів і магістрів з урахуванням спеціальних і універсальних компетентностей, а також самостійного визначення організації навчального процесу. Однак при цьому виникає нова відповідальність, наприклад, стосовно прийняття правильних не тільки технічних, технологічних, конструкційних, а також комплексних стратегічних і

тактичних рішень. А це, в свою чергу, потребує вирішення інноваційних проблем щодо розвитку наукового підґрунтя і практичних аспектів управління процесом гармонізації української технічної освіти.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Можливості розвитку компетентностей міжвузівських комплексних проектів тісно пов'язані з питаннями класифікації усіх видів взаємозв'язків дисциплін у межах курсів за навчальними програмами, а також вибір додаткових універсальних компетентностей (табл. 1).

Метою представленого у статті наукового дослідження викладачів та студентів є підвищення конкурентоспроможності української технічної освіти на світовому ринку шляхом розробки та впровадження інноваційних моделей, методів,

© Бухкало С.І., Ольховська О.І., Іглін С.П., Зіпунніков М.М., 2018

механізмів, технологій, обладнання, менеджменту, маркетингу й інформаційної технології управління проектами та програмами її гармонізації у світовий освітній процес.

Таблиця 1 – Класифікація компетенцій (навичок) студентів

Спеціальні (жорсткі) в межах конкретної професії (вибір дисциплін)	Кореляції взаємодії компетентностей	Універсальні (м'які) додаткові для різновидів діяльності
Вузкоспеціальні дисципліни	Різновиди міжвузівської взаємодії в межах виконання комплексного інноваційного проекту за представленими нижче (рис. 1 – рис. 6) схемами роботи та управління	Міжпрофесійні персональні
Ефективність типових завдань		Міжпрофесійні взаємозв'язків
Визначення методів моделювання		Менеджмент взаємозв'язків
Вибір актуальних завдань		Маркетинг взаємозв'язків
Визначення умов оптимізації		Комунікативні взаємозв'язки
Ефективність проекту		Громадські та життєві
Екологічна безпека		Когнітивні та інформаційні

Об'єкт дослідження – процеси утилізації-модифікації полімерної частки твердих побутових відходів (ТПВ), управління проектами й програмами гармонізації української технічної освіти у світовий процес комплексних технологій з утилізації ТПВ.

Предмет дослідження – фізико-хімічні, фізико-механічні, структурні та інші механізми наукового обґрунтування моделей та методів, а також забезпечення управління комплексними проектами та програмами гармонізації у світовий освітній процес.

Викладання основного матеріалу досліджень. На кафедрі ІТПА НТУ «ХП» у 2017–2018

навчальному році подовжені розробки комплексних проектів зі студентами за обраними напрямками синергетичної утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ замкнутого циклу їх використання у якості сировини та енергоресурсів за загальною функціональною схемою роботи у комплексних проектах за загальною темою «Аналіз можливостей менеджменту комплексних інноваційних проектів ресурсо- та енергозбереження». Індивідуальну схему досліджень студент обирає з урахуванням загальної схеми інноваційного дослідження та особливостями обраного напрямку (рис. 1).



Рис. 1 – Загальна функціональна схема роботи у комплексному проекті

Майже обов'язковим для студентів є здобуття базової підприємницької компетентності – від нетворкінгу (соціальна і професійна діяльність у сфері вирішення бізнес-питань) до основ фінансової грамотності й розробки інвестиційних проектів з

урахуванням факторів якості проведення комплексних проектів (рис. 2), що далі відкриває додаткові можливості працевлаштування випускників ВНЗ.



Рис. 2 – Фактори якості виконання комплексного проекту

Доповненням до розвитку і підтримки мережі зв'язків означає визначення такої мережі та оцінка привабливості, а також сприяння ефективній

діяльності з метою досягнення поставлених завдань і цілей (рис. 3).

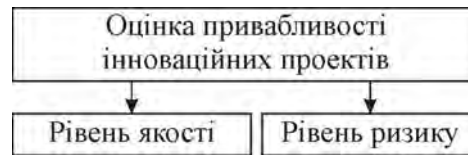


Рис. 3 – Загальна оцінка привабливості комплексних проектів

Поняття «когнітивна система» виникло в результаті широкого застосування в роботі моделі переробки інформації і побудови на її основі різного роду когнітивних моделей пізнання. Модель переробки інформації передбачає, що процес

пізнання можна розкласти на ряд етапів, кожен з яких включає набір унікальних операцій, які виконуються над вхідною інформацією. Передбачається також, що відповідна реакція на подію є результатом серії таких етапів і операцій [2].



Рис. 4 – Схема основних етапів роботи комплексного проекту

Когнітивна система забезпечує взаємозв'язок та виконання усіх етапів комплексного процесу пізнання, вона включає в себе низку підсистем, таких

як системи сприйняття, уваги, пам'яті, мислення тощо (рис. 5).



Рис. 5 – Загальна функціональна схема критеріїв впливу у комплексному проекті

Ці системи також можуть складатися з відповідних підсистем (рис. 6), а ті, в свою чергу, – з когнітивних структур, наприклад у вигляді алгоритмів. З цими структурами зазвичай пов'язують певні когнітивні процеси, які відносяться до наборів операцій та методів (функцій), що дозволяють отримувати, аналізувати, змінювати і переробляти інформацію (наприклад функції осмислення,

формування понять, розробки і т.і.). Компетентність у даному випадку визначали як динамічну комбінацію знань, вмінь та практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних та громадянських якостей, морально-етичних цінностей, яка визначає здатність особи успішно здійснювати професійну та подальшу навчальну діяльність і є результатом навчання на певному рівні вищої освіти.



Рис. 6 – Загальна функціональна схема критеріїв впливу у комплексному проекті

Нами також розроблено наукове підґрунтя стратегії, еволюції та розвитку на прикладі роз'яснення студентам взаємозв'язків синергетичних процесів утилізації-модифікації, полімерної частки ТПВ з урахуванням стадії ідентифікації-класифікації. Створені підгрупи студентів проаналізовані отримані

нами експериментальні [1, 4, 5] дослідження особливостей експлуатації полімерної тари та пакування, визначено характеристики усіх складових ідентифікації цих процесів: зміна їх структури, властивостей, можлива дії на організм людини і т.і. (рис. 8).



Рис. 8 – Загальна функціональна схема критеріїв впливу у комплексному проекті

З результатів аналітичного та виконаного нами експериментального дослідження стало відомо, що визначення зміни фізико-хімічних ($1 \rightleftharpoons 1'$), молекулярних (4), реологічних ($3 \rightleftharpoons 3'$) та фізико-механічних ($2 \rightleftharpoons 2'$) властивостей надають певні зв'язки з подальшою утилізацією полімерної тари та пакування за функціональною схемою (рис. 7).

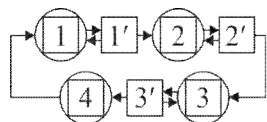


Рис. 7 – Визначення зміни властивостей тари та пакування при експлуатації

Потрібно зазначити, що поліетилен у процесі

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика зміни властивостей поліетиленової плівки у процесі експлуатації

Місце експлуатації	Час експлуатації, діб	Визначена кількість, %				ММх10 ³	δ_p , МПа	ϵ , %
		1	2	3	4			
Харків	60	1,53	0,31	0,19	35,3	43	9,6	221
	120	0,19	1,15	0,44	34,8	18	9,4	182
Сочі	60	2,10	0,72	0,91	29,4	18,4	9,4	130
	120	–	1,28	1,21	40,8	14,2	9,3	212
Олайн	60	1,10	0,57	0,30	28,5	26,6	9,7	134
	120	0,04	0,90	0,61	39,4	18,1	9,5	151
Лівні	60	1,20	0,20	0,28	22,8	22,4	9,8	340
	120	0,03	1,10	1,26	29,7	18,3	9,5	300

Теорія синергетичного механізму утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ представлена у проекті з умов виявленої нами спільної дії сукупності факторів для обраних науково-обґрунтованих моделей виробництва вторинних полімерних матеріалів. Для досягнення загальних цілей процесів утилізації-модифікації, використовували принципи, що ціле (вторинний полімер) представляє за властивостями щось більше, ніж сума його частин.

Синергетика у даному дослідженні представлена як інноваційний науковий напрямок технології полімерних матеріалів, який сприяє дослідженню зв'язків між елементами структури (підсистеми), що утворюються в відкритих системах, завдяки інтенсивному (потокковому) обміну властивостями сировини, обраними речовини з синергетичними можливостями та механізмами взаємодії з навколишнім середовищем в нерівноважних умовах.

Загальний еволюційний процес як процес самоорганізації, незважаючи на його можливу стихійність, має певну спрямованість: проходить зростання цільових різновидів механізмів різноманітних форм, складності структур та властивостей. Тобто, одна з задач синергетики у даному випадку – з'ясування законів побудови організації, виникнення упорядкованості. Тут акцент робиться на принципах побудови організації, її виникнення, розвитку та самоускладнення.

експлуатації набуває нових властивостей (табл. 1). Це визначена нами кількість киснеутримуючих груп: 1 – складнофірні, 2 – карбоксильні, 3 – гідроксильні; 4 – кількість гель-фракції; δ_p – руйнівне напруження при розтяганні; ϵ – відносне подовження при розриві, які далі у процесах повторної переробки, наприклад поліетилену, надають неізотермічність його розплаву, але й нові синергетичні властивості для отримання вторинних полімерних матеріалів.

Аналіз ряду наших досліджень (табл. 1) показав, що адсорбція кисню відбувається в неупорядкованих областях поверхневого шару, а дифузія кисню відбувається також через неупорядковані області.

Суттєвою відмінністю стратегій технологічної діяльності синергетичної утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ є освоєння принципово нових типів об'єктів та процесів, що представляють досить складні макросистеми.

В таких відкритих системах виникають кооперативні явища, що базуються на енергетичних, інформаційних, матеріальних потоках. Таким чином, синергетика передбачає наявність у собі усі значимих для дослідження процесів самоорганізації, теоретичних та методологічних висновків з системних досліджень.

До єдиного інформаційного простору управління та реалізації представлених коротко у загальному вигляді вище як комплексні інноваційні проекти студентів з утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ [1–3] при оформленні об'єктів інтелектуальної власності (ІВ) включено: внутрішню інформаційну систему управління освітньою, науковою та інноваційною діяльністю ВНЗ, що відповідає вимогам інформаційної безпеки; доступ до зовнішніх інформаційних ресурсів, а також оперативну актуальну інформацію про розвиток науки, техніки, технологій.

І внутрішня, і зовнішня компоненти єдиного інформаційного простору задіяні у всіх основних процесах управління ІВ:

1) технологічний аудит, оцінка комерційного потенціалу проводиться з використанням внутрішніх баз даних експертів, інформації, і т.д.

2) правова охорона ІВ за всіма показниками: патентні дослідження проводяться з використанням баз даних різних країн, оформлення заявочної документації, відстеження термінів сплати зборів за підтримання охоронних документів залежно від ступеня розвитку системи управління ІВ у ВНЗ.

У студентів формуються знання про ІВ: основні поняття комплексної системи правової охорони – міжнародної та в Україні; об'єкти та суб'єкти ІВ; алгоритм правової охорони об'єктів патентного права (винаходів, корисних моделей, промислових зразків); алгоритм правової охорони засобів індивідуалізації учасників цивільного обороту (торговельних марок, фірмових найменувань і т.д.); алгоритм правової охорони нетрадиційних об'єктів інтелектуальної власності; алгоритм правової охорони об'єктів промислової власності в іноземних державах; алгоритм правової охорони об'єктів авторського права; права та обов'язки власників охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності; вартість права на об'єкти права ІВ; факт порушення прав власників чинних охоронних документів та заявників на об'єкти промислової власності; процедуру захисту прав ІВ в разі їх порушення.

Таким чином, заняття зі студентами та їх самостійна робота формують вміння при формулюванні висновків з проведеної роботи, наприклад, оформлення об'єктів ІВ: класифікація об'єктів права інтелектуальної власності відповідно до діючого законодавства; обирання найбільш доцільного для кожного окремого випадку способу охорони права; оформлення відповідної документації в галузі охорони прав інтелектуальної власності. При цьому у студентів виробляються необхідні навички: користування комп'ютерною технікою з метою виявлення закономірностей процесів та методів дослідження; проведення патентного пошуку та реалізації отриманих результатів; публічний захист

наукової розробки, аналітичний компетентнісний аналіз наукової та прикладної частини і т.і.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. У результаті подовження роботи [1–13] за вищевказаними напрямками дослідження комплексних інноваційних синергетичних технологій студенти причасні до злому звичних виробничих ланцюжків у перероці полімерної частки ТПВ, які обумовлюють наступний етап розвитку світової цивілізації.

Досягнуті наступні конкретизовані результати за деякими питаннями з теми інноваційних досліджень:

1) основна мета представленої розробки – освоєння нових компетентнісних навчальних технологій з організації, виконання та упровадження комплексного міжвузівського інноваційного проектування для забезпечення активізації технічної творчості студентів на усіх напрямках навчання (табл. 1);

2) за результатами комплексного інноваційного проектування з метою розповсюдження інформації про інноваційні методи навчання готуються до друку у 2017–2018 навчальному році чотири статті сумісно зі студентами, що приймають участь у виконанні та захисті проекту;

3) учасниками проекту прийнято рішення про подовження цього етапу розробки ще на два семестри з метою розв'язання теми за стандартами ЄС та розповсюдження ідей серед широкого кола населення України;

4) результати дослідження вказують на необхідність та можливість виконання представлених проектів у співпраці з ВНЗ України, що поширить змістовні характеристики проектів з урахуванням особливостей розвитку регіонів.

Список літератури

1. Бухкало С.І., Соловей В.М., Іглін С.П., Ольховська О.І. та ін. Складові розрахунку параметрів очищення стічних вод комплексних підприємств. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II.* / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХПІ». 202 с.
2. Бухкало С.І., Соловей В.М., Іглін С.П., Ольховська О.І. Деякі особливості розрахунку параметрів ефективного очищення стічних вод комплексних підприємств. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II.* / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХПІ». 203 с.
3. Бухкало С.І., Соловей В.М., Іглін С.П., Ольховська О.І. та ін. Алгоритм управління ефективним очищенням стічних вод комплексних підприємств. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II.* / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХПІ». 204 с.
4. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II.* / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХПІ». 205 с.
5. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II.* / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХПІ». 206 с.
6. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II.* / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХПІ». 201 с.
7. Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II.* / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХПІ». 208 с.

8. Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І., Соловей В.М. Комплексні методи навчання як основа розвитку фахових компетентностей ВНЗ в НТУ «ХПІ» // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Х.: НТУ «ХПІ». 2017. № 18. С. 9–19.
9. Бухкало С.І., Іглін С.П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХПІ», 2016. № 3. С. 52–57.
10. Бухкало С.І. и др. Математическое моделирование как инструмент модификации отходов полимеров. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2010. Вип. 32. С. 52–59.
11. Бухкало С.І. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХПІ», 2005, № 2. С. 29–33.
12. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Х.: НТУ «ХПІ». 2014. № 16. С. 3–11.
13. Бухкало С.І. Синергетичні процеси утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ. *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Х.: НТУ «ХПІ». 2017. – № 41 (1263). С. 17–27.
2018. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 205 p.
5. S. Buhkalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 206 p.
6. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 201 p.
7. Buhkalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 208 p.
8. Buhkalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I., Solovej V.M. Kompleksni metodi navchannja jak osnova rozvitku fahovih kompetentnostej VNZ v NTU «KhPI» // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2017, no. 18 (1240), pp. 9–19.
9. Buhkalo S.I., Iglin S.P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri ekspluatcii polimernih virobiv. *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2016, no. 3, pp. 52–57.
10. Buhkalo S.I. i dr. Matematicheskoe modelirovanie kak instrument modifikacii othodov polimerov. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2010. Vup. 32, pp. 52–59.
11. Buhkalo S.I. K vo-prosu jenergosberezenija processa aglomerirovanija polimernoj upakovki. *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja*. Kharkov : NTU «KhPI», 2005, no. 2, pp. 29–33.
12. Buhkalo S.I. Udokonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishhiv navchal'nih zakladiv. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2011, no. 16, pp. 3–11.
13. Buhkalo S.I. Sinergetichni procesi utilizacii-modifikacii polimernoj chastki TPV. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2017, no. 41 (1263), pp. 17–27.

References (transliterated)

1. Buhkalo S.I., Solovej V.M., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Skladovi rozrahunku parametriv ochishhennja stichnih vod kompleksnih pidpriemstv. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 202 p.
2. Buhkalo S.I., Solovej V.M., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. Dejaki osoblivosti rozrahunku parametriv effektivnogo ochishhennja stichnih vod kompleksnih pidpriemstv. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 203 p.
3. Buhkalo S.I., Solovej V.M., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Algoritm upravlinnja effektivnim ochishhennjam stichnih vod kompleksnih pidpriemstv. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 204 p.
4. S. Buhkalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 205 p.
5. S. Buhkalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 206 p.
6. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 201 p.
7. Buhkalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018*, 16–18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 208 p.
8. Buhkalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I., Solovej V.M. Kompleksni metodi navchannja jak osnova rozvitku fahovih kompetentnostej VNZ v NTU «KhPI» // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2017, no. 18 (1240), pp. 9–19.
9. Buhkalo S.I., Iglin S.P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri ekspluatcii polimernih virobiv. *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2016, no. 3, pp. 52–57.
10. Buhkalo S.I. i dr. Matematicheskoe modelirovanie kak instrument modifikacii othodov polimerov. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2010. Vup. 32, pp. 52–59.
11. Buhkalo S.I. K vo-prosu jenergosberezenija processa aglomerirovanija polimernoj upakovki. *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja*. Kharkov : NTU «KhPI», 2005, no. 2, pp. 29–33.
12. Buhkalo S.I. Udokonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishhiv navchal'nih zakladiv. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2011, no. 16, pp. 3–11.
13. Buhkalo S.I. Sinergetichni procesi utilizacii-modifikacii polimernoj chastki TPV. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2017, no. 41 (1263), pp. 17–27.

Надійшла (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Buhkalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Ольховська Оксана Ігорівна (Ольховская Оксана Игоревна, Olkhovska Oksana Igorivna) – ст. викладач, кафедра менеджменту і опадаткування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002->; e-mail: bis.khr@gmail.com

Іглін Сергій Петрович (Иглин Сергей Петрович, Iglin Sergii Petrovich) – кандидат технічних наук, професор кафедри прикладної математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9144-7427>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Зіпунніков Микола Миколаєвич (Зипунников Николай Николаевич, Zipunnikov Mykola Mykolaevich) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, відділ водневої енергетики, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0579-2962>; e-mail: zipunnikov_n@ukr.net

УДК 621.311.22

А. С. МАЗУРЕНКО, А. Е. ДЕНИСОВА, В. В. КАНДЕЕВА, Л. Б. ГУБАРЬ

ПАРОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА ПОВЫШЕННОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ НЕОБРАТИМОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В КОТЛЕ УТИЛИЗАТОРЕ

Максимально достижима ефективність парогазових енергетичних установок визначається, в першу чергу, початковими і кінцевими параметрами (тиском, температурою) комбінованого циклу. В даний час, практично вичерпані технічні та доцільні техніко-економічні можливості істотного розширення діапазону цих параметрів. Викликає певний інтерес можливість підвищення показників ПГУ з котлами-утилізаторами за рахунок зниження незворотності в процесі теплообміну між продуктами згоряння і робочим тілом (вода, пара) паротурбінної частини. Застосування паралельного потоку газів в котлі-утилізаторі дозволяє досягти поставленої мети і дещо підняти ефективність ПГУ без суттєвого її ускладнення і подорожчання.

Ключові слова: парогазова установка, енергетична ефективність, незворотність теплообміну, котел-утилізатор.

А. С. МАЗУРЕНКО, А. Е. ДЕНИСОВА, В. В. КАНДЕЕВА, Л. Б. ГУБАРЬ

ПАРОГАЗОВА УСТАНОВКА ПІДВИЩЕНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ НЕЗВОРОТНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В КОТЛІ УТИЛІЗАТОРІ

Максимально достижимая эффективность парогазовых энергетических установок определяется, в первую очередь, начальными и конечными параметрами (давлением: температурой) комбинированного цикла. В настоящее время, практически исчерпаны технические и целесообразные технико-экономические возможности существенного расширения диапазона этих параметров. Представляет определенный интерес возможность повышения показателей ПГУ с котлами-утилизаторами за счет снижения необратимости в процессе теплообмена между продуктами сгорания и рабочим телом (вода, пар) паротурбинной части. Применения параллельного потока газов в котле-утилизаторе позволяет достичь поставленной цели и несколько поднять эффективность ПГУ без существенного ее усложнения и удорожания.

Ключевые слова: парогазовая установка, энергетическая эффективность, необратимость теплообмена, котел-утилизатор.

A. S. MAZURENKO, A. E. DENYSOVA, V. V. KANDEEVA, L. B. GUBAR

COMBINED-CYCLE INSTALLATION INCREASED EFFICIENCY BY REDUCING THE IRREVERSIBILITY OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN WASTE HEAT BOILER

The maximum achievable efficiency of combined-cycle power plants is determined, first of all, by the initial and final parameters (pressure: temperature) of the combined cycle. At the present time, technical and feasible technical and economic opportunities for significantly expanding the range of these parameters are practically exhausted. The particular interest has the possibility of increasing of combined-cycle power plants indicators with waste heat boilers by reducing the irreversibility of heat exchange process between the combustion products and the working body (water, steam) of the steam turbine part. The use of a parallel gas flow in the recovery boiler allows achieving the set goal and increasing the efficiency of combined-cycle power plants without its substantive complication and rise in price.

Key words: combined-cycle plant, energy efficiency, heat exchange irreversibility, waste heat boiler.

Введение. В настоящее время парогазовые энергетические установки (ПГУ) обладают наивысшей эффективностью процесса преобразования тепла в работу. За счет совершенствования как цикла ПГУ, так и используемого основного и вспомогательного оборудования удается достичь значения абсолютного электрического КПД 55–60% [1]. Показатель эффективности ПГУ достаточно сильно зависит, в первую очередь, от параметров газа перед газовой турбиной и давления в конденсаторе паровой турбины. Это совершенно закономерно, поскольку

именно эти параметры определяют эффективность эквивалентного цикла Карно парогазовой установки [1–4]: $\eta_i = 1 - (T_{2m} / T_{1m})$, где T_{1m} – средняя термодинамическая температура в процессе подвода тепла к комбинированному циклу, который происходит в камере сгорания ГТУ, К; T_{2m} – средняя термодинамическая температура в процессе отвода тепла от комбинированного цикла, который происходит в основном в конденсаторе паровой турбины, а также, частично, с уходящими газами после котла утилизатора, К (рис. 1) [5].

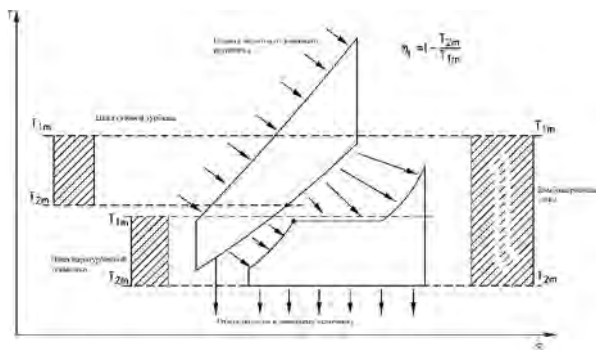


Рис. 1 – КПД эквивалентного цикла Карно парогазовой установки

© Мазуренко А.С., Денисова А.Е., Кандеева В.В., Губарь Л.Б. 2018

Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, 2018. № 18 (1294)

Постановка задачи в общем виде и ее связь с научными и практическими заданиями.

Существенное влияние параметров газа перед газовой турбиной и давления в конденсаторе паровой

турбины подтверждают результаты расчета схемы парогазовой установки трех давлений, представленной на рис. 2, с учетом контура обеспечением паром деаэратора [7–9].

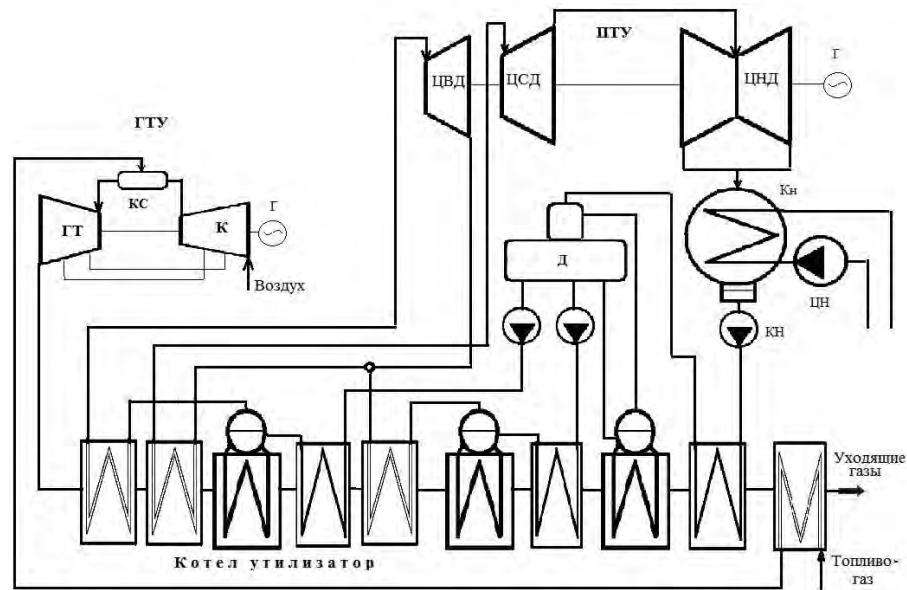


Рис. 2 – Схема парогазовой установки с котлом утилизатором и промежуточным перегревом пара

Изложение основного материала исследования. Результаты расчета парогазовой установки с котлом утилизатором и промежуточным перегревом пара представлены на рис. 3 и рис. 4 при стандартных параметрах окружающей среды, давлении пара перед паровой турбиной 8 МПа и температуре перегретого пара 500 °С, давлении промежуточного перегрева пара 0,9 МПа и температуре перегрева 451 °С, давлении в деаэраторе 0,3 МПа и давлении в конденсаторе 4 кПа. Температура уходящих газов, при этом, составляет около 130 °С. Анализ графиков (рис. 3, 4) показывает, что изменение экономичности при изменении температуры газа перед турбиной и давления пара в конденсаторе довольно существенно, оно составляет единицы процентов, поскольку именно эти параметры определяют

значения средних термодинамических температур в процессе подвода и отвода тепла к комбинированному циклу. Давление газа перед газовой турбиной в рассмотренном диапазоне изменения параметров влияет очень незначительно.

Однако, возможностей существенного повышения экономичности ПГУ за счет снижения средней термодинамической температуры в процессе отвода теплоты нет, так как снижение давления и температуры конденсации в конденсаторе ограничено условиями окружающей среды, то есть температурами воздуха или воды в водоемах. В этих условиях выбор оптимального давления в конденсаторе является чисто технико-экономической задачей [10], поскольку приближение к температуре охлаждающего источника связано со значительными затратами на конденсатор и систему циркуляционного водоснабжения.

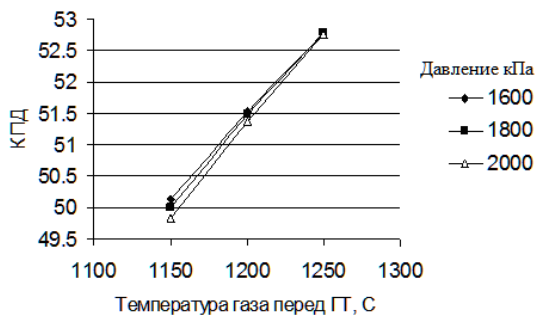


Рис. 3 – Зависимость КПД ПГУ от температуры газа перед турбиной при изменении давления газа перед турбиной от 1600 до 2000 кПа

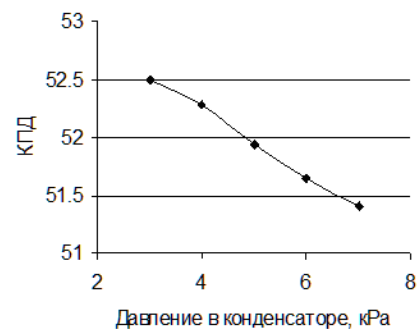


Рис. 4 – Зависимость КПД ПГУ от давления в конденсаторе паровой турбины

Существенного увеличения эффективности парогазовых установок можно достичь за счет повышения температуры газа перед турбиной и это общеизвестный путь. Однако в настоящее время уже практически достигнут предел возможных температур для современных материалов, используемых для изготовления лопаточных аппаратов газовых турбин. Дальнейшее увеличение температуры газа перед турбиной достигается огромными затратами на лопаточные аппараты, а также затратами на их охлаждение. Кроме того, интенсификация процессов охлаждения лопаточных аппаратов приводит к заметному снижению экономичности собственно газотурбинной установки ПГУ.

Если проанализировать для рассмотренной выше схемы влияние на экономичность начальных параметров паротурбинной части, представленное на рис. 5, то можно установить, что влияние промежуточных для комбинированного цикла параметров пара паровой турбины (давление и температура перед ЦВД турбины, температура промежуточного перегрева пара) очень незначительно сказываются на эффективности всего цикла. Это влияние практически на порядок меньше, чем влияние параметров рабочего тела перед газовой

турбиной, и составляет десятые доли процента. В этой части комбинированного цикла следует стремиться лишь к снижению необратимости происходящих процессов теплообмена между газами и пароводяным рабочим телом.

Резервом дальнейшего повышения экономичности современных парогазовых установок может служить совершенствование основного и вспомогательного оборудования парогазовых циклов, в первую очередь паровой турбины, а также совершенствование процессов передачи тепла от газов к пароводяному циклу с минимальными потерями эксергии тепловых потоков. На рис. 5 представлено распределение температур теплоносителей для этой схемы.

Анализ процессов теплообмена газ – пар и вода показывает, что перепады температур между греющей и нагреваемой средой значительны, иногда достигают 170–200 °С. Наблюдаются температурные перекосы, когда среда с меньшей температурой нагревается газом, имеющим более высокую температуру, а среда с более высокой температурой нагревается газом с низкой температурой. Это наблюдается, в частности, в области пароводяного тракта среднего давления и экономайзера высокого давления.

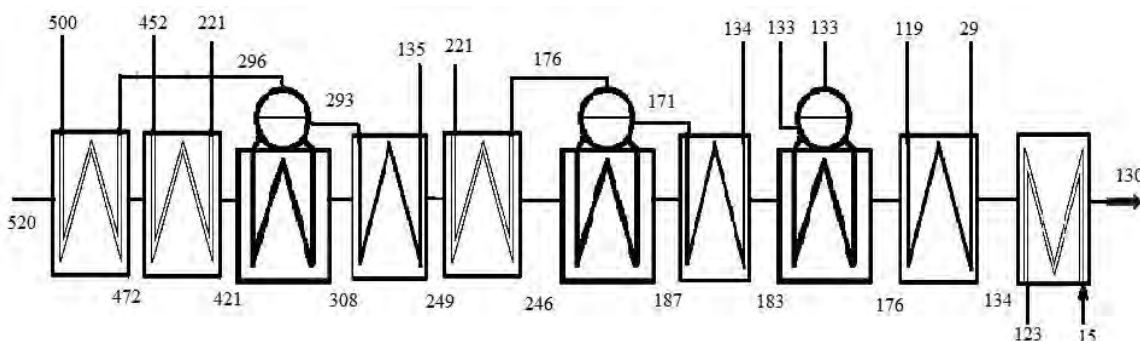


Рис. 5 – Распределение температур по газопароводяному тракту

Для снижения температурного перепада между газами и рабочим телом парового цикла, что приведет, естественно, к снижению необратимости в процессе теплообмена, предлагается использовать параллельную схему подогрева питательной воды контура высокого давления и рабочего тела (вода, насыщенный и перегретый пар) контура среднего давления. Схема такой парогазовой установки с параллельными потоками газа в котле-утилизаторе представлена на рис. 6. Для выравнивания температур газа при его смешении перед испарителем низкого давления (а значит, для снижения необратимости процесса смешения) в расчет заложен макрос, перераспределяющий, соответствующим образом, параллельные потоки газа. С этой же целью используется макрос

выравнивания температур смешения пара в смесителе после ЦВД и пароперегревателя среднего давления изменением температуры промежуточного перегрева.

Анализ результатов исследования экономичности рассматриваемой ПГУ.

Результаты исследования экономичности такой ПГУ представлены на рис. 7. Анализ полученных результатов показывает, что характер зависимостей эффективности цикла ПГУ от параметров пара изменился мало, однако введение параллельного подогрева позволило несколько повысить КПД, по сравнению с данными, полученными для схемы с котлом-утилизатором и промежуточным перегревом пара, представленной на рис. 2.

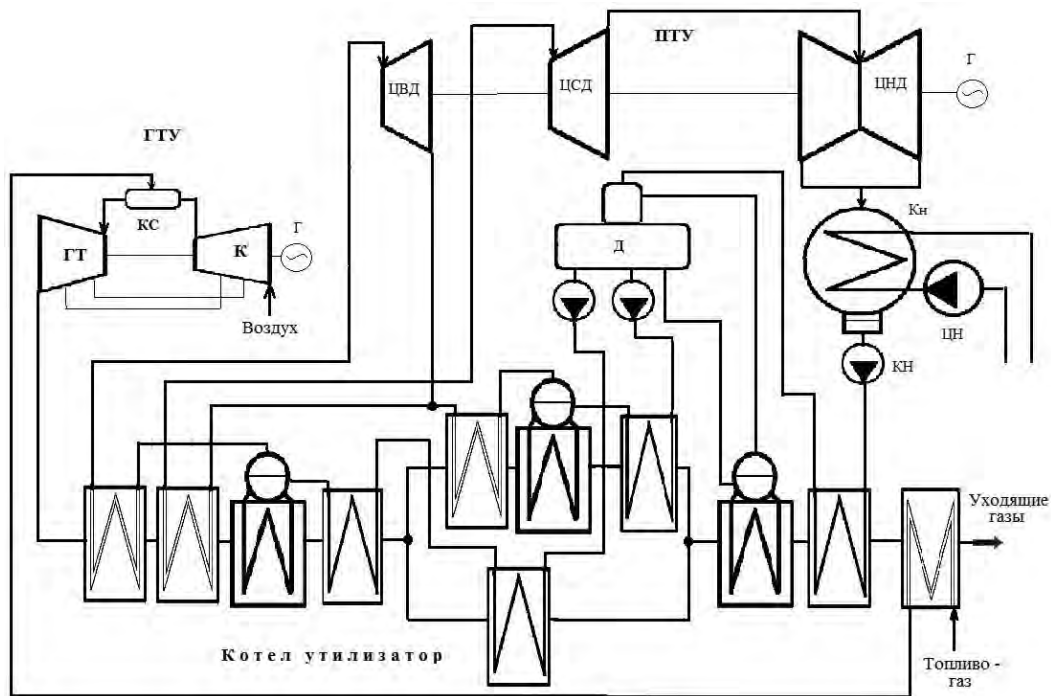


Рис. 6 – Схема парогазовой установки с параллельными потоками газа в котле утилизаторе

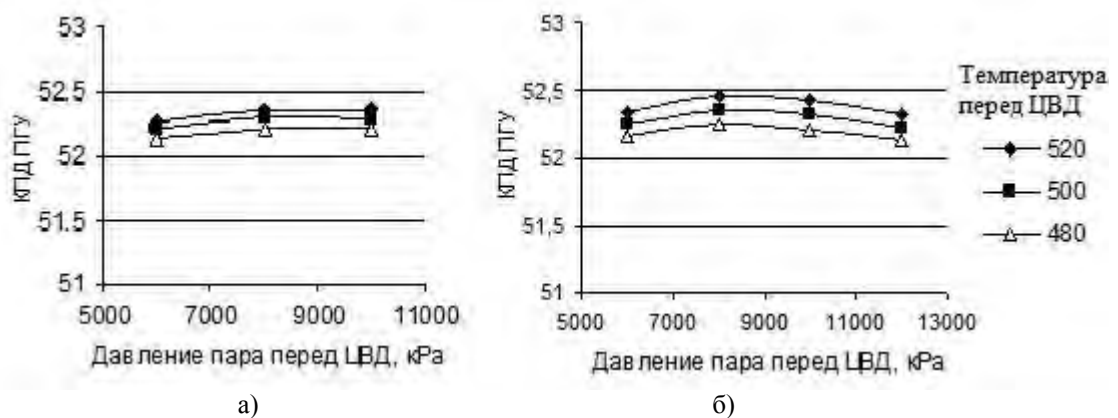


Рис. 7 – Изменение эффективности ПГУ при традиционной схеме и схеме ПГУ с параллельными потоками газа:
 а) исходная однопоточная схема при температуре промежуточного перегрева 451 °С (рис. 2)
 б) при параллельных потоках газа и температуре промежуточного перегрева 446 °С (рис. 7)

Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления

1. Реальным резервом повышения эффективности современных парогазовых установок является совершенствование основного и вспомогательного оборудования паротурбинной части.

2. Повышению экономичности ПГУ способствует совершенствование процессов передачи тепла от газа к пароводяному тракту путем снижения

температурных напоров, предотвращением смешения потоков с разным потенциалом

3. Изменение параметров пара паротурбинной части парогазовых установок за счет использования тепла газов после ГТУ не позволяет существенно повысить КПД всей энергоустановки

Список литературы:

1. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року* // Інформаційно-аналітичний бюлетень «Відомості Міністерства палива та енергетики України». Спеціальний випуск. 2006. 113 с.

2. Мазуренко А. С. Эффективность ГТУ при зміні співвідношення виробництва теплоти та електроенергії / А. С. Мазуренко, Г. А. Баласаян, Е. А. Сычева // *Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование*. 2006, № 5. С. 49–52.

3. Мазуренко А. С. Экономическая эффективность парогазовых установок на биотопливе / А. С. Мазуренко, А. Е. Денисова, Нго Минь Хиеу // *Энергетика: экономика, технологии, экология*. 2013. №1 (32). С. 15–19.
4. Семиноженко В. П. *Энергия. Экология. Будущее* / Семиноженко В. П., Канило П. М., Остапчук В. И., Ровенский А. И. – Х.: Прапор, 2003. 463 с.
5. Андриюшенко А.Н. *Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок: учебное пособие* / А. И. Андриюшенко. – 3-е изд. перераб. и доп. Высшая школа. М.: 1985. 319 с.
6. Баласанян Г. А. Повышение эффективности системы энергоснабжения на базе установки когенерации малой мощности / Г. А. Баласанян, А. С. Мазуренко, Е. А. Сычева. – К.: *Новини енергетики*, 2005. № 3. С. 34–38.
7. Мазуренко А.С. Эффективность регулирования отпуска теплоты когенерационной газотурбинной установкой / А. С. Мазуренко, Г. А. Баласанян, Е. А. Сычева // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – Х.; 2005. Вып. 6. С. 108–112.
8. Денисова А. Е. Оценка эффективности биогазовых электростанций / Денисова, А. Е., Нго Минь Хиеу // *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*, 2013, № 5–6. С.118–122.
9. Мазуренко А. С., Баласанян Г. А., Сычева Е. А.. Оцінка ефективності когенераційних ГТУ при зміні співвідношення виробництва теплоти та електроенергії // *Вісник НТУ «ХПИ»*. Сер. Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 2006. Вып. 5. С. 133–136.
10. Джордж Тсатсаронис. *Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы*. – Одесса: ООО «Студия «Негоциант», 2002. 152 с.
2. Mazurenko A. S. Efektivnist' GTU pri zmini spivvidnoshennja virobництва teploti ta elektroenergii / A. S. Mazurenko, G. A. Balasanjan, E. A. Sycheva // *Jenergeticheskie i teplotehnicheskie processy i oborudovanie*. 2006, № 5, pp. 49–52.
3. Mazurenko A. S. Jekonomicheskaja jeffektivnost' parogazovyh ustanovok na biotoplive / A. S. Mazurenko, A. E. Denysova, Ngo Min' Hieu // *Jenergetika: jekonomika, tehnologija*. 2013. №1 (32), pp. 15–19.
4. Seminozhenko V. P. *Jenergija. Jekologija. Budushhee* / Seminozhenko V.P., Kanilo P.M., Ostapchuk V.I., Rovenskij A.I. Kharkov : Prapor, 2003. 463 p.
5. Andrijushhenko A.N. *Osnovy termodinamiki ciklov teplotjenergeticheskikh ustanovok: uchebnoe posobie* / A. I. Andrijushhenko. 3-e izd. pererab. i dop. Vysshaja shkola. M.: 1985. 319 p.
6. Balasanjan G. A. Povyszenie jeffektivnosti sistemy jenergосnabzhenija na baze ustanovki kogeneracii maloj moshhnosti / G. A. Balasanjan, A. S. Mazurenko, E. A. Sycheva. K.: *Novini energetiki*, 2005. № 3, pp. 34–38.
7. Mazurenko A.S. Jefferktivnost' regulirovanija otpuska teploty kogeneracionnoj gazoturbinnoj ustanovkoj / A. S. Mazurenko, G. A. Balasanjan, E. A. Sycheva // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2005. Vyp. 6, pp. 108–112.
8. Denysova A. E. Ocenka jefferktivnosti biogazovyh jelektrostancij / Denysova, A. E., Ngo Min' Hieu // *Zbirnik naukovih prac' Nacional'nogo universitetu korablebuduvannja*, 2013, № 5–6. pp.118–122.
9. Mazurenko A. S., Balasanjan G. A., Sycheva E. A.. Ocinka efektyvnosti kogeneracijnih GTU pri zmini spivvidnoshennja virobництва teploti ta elektroenergii // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2006. – Vyp. 5. pp. 133–136.
10. Dzhordzh Tsatsaronis. *Vzaimodejstvie termodinamiki i jekonomiki dlja minimizacii stoimosti jenergoпreobrazujushhej sistemy*. – Odessa: ООО «Студия «Негоциант», 2002. – 152 p.

Bibliography (transliterated):

1. *Energetichna strategija Ukraїni na period do 2030 roku // Informacijno-analitichnij bjuleten' «Vidomosti Ministerstva paliva ta energetiki Ukraїni»*. Special'nij vipusk. 2006. 113 p.

Поступила (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мазуренко Антон Станіславович (Mazurenko Anton Stanislavovich, Mazurenko Anton Stanislavovich) – доктор технічних наук, професор кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0165-3826>; e-mail: antmaz46@gmail.com

Денисова Алла Євсїївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsiiivna) – доктор технічних наук, професор кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3906-3960> ; e-mail: alladenysova@gmail.com

Кандєєва Віра Валерїївна (Kandeeva Vsra) – кандидат економічних наук, доцент кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8707-0700> ; e-mail: vkandeeva@gmail.com

Губар Лілія Борисїївна (Губарь Лилия Борисовна, Gubar Lily Borysivna) – спеціаліст, ст викладач кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2884-6668> ; e-mail: lilygubar1@gmail.com

UDC 378.014.5.018.43(485)

AGEICHEVA ANNA, KOMAROVA OLEKSANDRA, BABASH LARYSA**DISTANCE LEARNING REFORMING SWEDISH EXPERIENCE IMPLEMENTATION INTO UKRAINIAN HIGHER EDUCATION SYSTEM**

The article deals with the conceptual ideas of distance education in the European Higher Education Area and future prospects definition in distance learning implementation into higher education system of Ukraine. Development system of higher education and distance learning development stages are analyzed. The main goal of creating distance education in Ukraine is to increase the level of education of the society and the quality of education, as well as the formation of a single educational space. It is necessary to address such major challenges as the formation of legal, organizational, teaching, information and telecommunications, logistics, personnel, economic and financial support. The development of distance education will not only provide our population access to quality education, but also provide an opportunity to take a place on the global education market.

Keywords: distance learning, higher education, information and communication technology, reforming trends

А. А. АГЕЙЧЕВА, О. І. КОМАРОВА, Л. В. БАБАШ**РЕФОРМУВАННЯ ШВЕДСЬКОГО ДОСВІДУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В УКРАЇНСЬКУ СИСТЕМУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Стаття присвячена дослідженню концептуальних ідей дистанційної освіти в Європейському просторі вищої освіти та визначенню подальших перспектив розвитку вітчизняної практики впровадження дистанційного навчання в систему вищої освіти України. Проаналізовано систему розвитку вищої освіти та етапи розвитку дистанційного навчання

Ключові слова : дистанційне навчання, вища освіта, інформаційно-комунікаційні технології, дистанційна освіта

А. А. АГЕЙЧЕВА, О. І. КОМАРОВА, Л. В. БАБАШ**РЕФОРМИРОВАНИЕ ШВЕДСКОГО ОПЫТА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В УКРАИНСКУЮ СИСТЕМУ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Статья посвящена исследованию концептуальных идей дистанционного образования в Европейском пространстве высшего образования и определению дальнейших перспектив развития отечественной практики внедрения дистанционного обучения в систему высшего образования Украины. Проанализировано систему развития высшего образования и этапы развития дистанционного обучения.

Ключевые слова: дистанционное обучение, высшее образование, информационно-коммуникационные технологии, тенденции реформирования

Introduction.

Every year, distance learning Swedish experience is becoming increasingly relevant to higher education institutions in Ukraine.

Existing practices and methods systematization and analysis of for ensuring distance learning quality provide the necessary background for scientific research.

The difference between the distance education of Ukraine and Sweden is that in Ukraine it is at the development stage. Developing distance learning process in Ukraine is constrained by several reasons:

- Insufficient legal and normative provision of the distance learning process;
- Limited participants amount in the experiment on distance learning system introduction;
- Lack of unified approaches while creating electronic teaching and learning complexes;
- Lack of electronic teaching and learning complexes in foreign languages development;
- Lack of special programs for socially vulnerable groups of people and persons with disabilities distance learning;
- Insufficient financing of the distance learning system of Ukraine at the expense of budget funds;
- Master distance learning process problems.

Problem research. Pedagogical literature analysis enables to trace some general tendency in approaches to the allocation of didactic principles and their classification by different researchers. R. Tostein [1] in Swedish distance education studies emphasizes the importance of continuous innovation. B. Holmberg [2]

notes the need to use the most advanced methods in the process of distance learning. The purpose of the paper is to form a pedagogical community positive outlook regarding the feasibility and necessity to introduce remote technology in the higher education system.

Main material. Sweden is far ahead of Ukraine in implementing information and communication technologies. The comparative analysis is based on sources of information collected and analyzed using Swedish standards for monitoring colleges and universities. Swedish researchers and scientists work to improve the distance education system. It is necessary to note the practical contribution of L. Alekson into distance higher education development. Scientific works by C. Nilsson are of great practical importance for countries that take Swedish distance learning experience [3]. According to the Swedish National Agency for Higher Education, the process of integration into the European space is quite successful. An important role is played by the Swedish student's fluency in English.

The Swedish National Agency for Higher Education (Högskoleverket) is the central body dealing with issues dealing higher education institutions. The Swedish National Higher Education Agency (Högskoleverket) is responsible for conducting various quality assurance tests for higher education as well as for monitoring, reviewing and analyzing the entire system. The agency also evaluates the various qualifications awarded abroad, focuses on innovation and development,

© Агейчева А. О., Комарова О. І., Бабаш Л. В., 2018

and also serves as an information agency when it comes to educational issues. It is the main center for recruiting students.

The organization is structured as follows: university - chancellor - person responsible for higher education issues. In addition to the chancellor, there are eleven other board members. All these persons are appointed by the government. The government issues instructions to the agency regarding the status of the various tasks that will be investigated and how to organize the joint work of the higher education system.

Each year the government sends a directive to the agency. The directive contains provisions for the general financing of the agency from the Swedish government. In addition, the directive defines a goal in various areas of activity. The Swedish National Agency for Higher Education (Högskoleverket) has six different tasks that are presented as follows:

1. Verification of Higher Education: Audit of Higher Educational Institutions.

2. Higher educational institutions leadership examination and programs monitoring. It is done by checking educational institutions legal issues.

3. Higher education system review and analysis. The purpose of this task is to provide feedback and advice to the government on improving higher education standards.

4. Assessment of qualifications awarded abroad. Higher educational programs abroad are rated in comparison with the Swedish higher education system and are awarded the appropriate degrees.

5. Swedish higher education system continuous updating and development. Swedish government is responsible for that process.

6. Information on student training and promotion programs. Providing information on higher education programs and encouraging distance learning students. It should be emphasized that all studies in Sweden are free [4]. The only thing that students pay for is residence and textbooks. Therefore, distance learning has unquestionable advantages.

Conducting distance learning comparative analysis in Sweden and Ukraine, the importance of Scandinavian experience for the domestic education system should be highlighted. Online learning, curriculum and courses have the same structure of overseeing management and organization as the programs and courses offered in the traditional lecture format. However, due to the well-developed technological infrastructure in Sweden, programs and courses using the Internet are developing much faster than in Ukraine. The technical infrastructure in Sweden is so well developed that the Economist Intelligence Unit marks Sweden as the first of the twenty countries to be the most ready to introduce online teaching and learning. The report of the Swedish government promulgated by the Swedish National Agency for Higher Education focused on answering the question "What is the quality of online learning?" There are many details outlined and discussed in the report. The report states that there is no clearly defined online

teaching model for teaching in Sweden. Academic programs are distinguished between institutions and academic disciplines.

Distance learning in Ukraine and Sweden comparison will not be completed without a picture of the prospects of the Swedish education system. Sweden aims to develop distance learning to improve the student's qualification. Significant efforts are being made on the development of technical infrastructure, as well as efforts to organize administrative departments, and a policy of quality improvement is being implemented, which confirms the need for the development of a distant educational area. In general, Ukraine and Sweden are very similar, despite the differences in history, governance, administration and the ability to implement innovative distance learning courses and programs. At the same time, in both countries, representatives of higher educational institutions are associated with a common educational goal.

Solving the new tasks set by the processes of state formation in the system of education of Ukraine, radical changes in the socio-political life, requires the development of an adequate organizational structure of the education system, which would ensure the transition to the principle of "education throughout life." A solution to this problem can be found through the well-known worldwide distance learning system.

In the course of the study, elements of the positive experience of organizing distance learning in the system of higher education in Sweden have been identified, the implementation of which will contribute to the effective development of distance learning in Ukrainian higher education:

- Development and implementation of the state strategy for the development of distance learning;
- Provision of targeted state financial support to universities that provide educational services through distance education;
- Simplification of certification of educational services related to distance learning;
- Creation of a wide network of access points for distance courses;
- Regulation of distance learning and systematic monitoring of its quality;
- Integration of the library network into the educational space, which contributes to the effective functioning of distance learning centers;
- Creation of a unified network of educational and methodological documentation that facilitates the mobility of university studies.

Taking into account the relevance of the research, the perspective directions of the introduction of the positive experience of Sweden's distance learning in Ukraine's higher educational institutions are: the formation of a positive outlook of the pedagogical community regarding the feasibility, necessity and possibility of introducing remote technologies in the higher education system; training of pedagogical staff for distance learning; creation of centers of distance education in higher educational establishments;

development of teaching-methodical complexes of distance learning; creation of a local telecommunication network with access to the Internet; formation of experimental training groups for the adaptation of Swedish standards for distance learning.

E-learning in Ukraine is implemented through the system of distance learning, which is part of the education system of Ukraine, with the regulatory legal structure of the organization, staffing, system engineering, technical and financial support.

The positive tendency of modern educational processes is their orientation to the integration of cultures, the introduction and use of modern educational technologies, the expansion of opportunities for personal development of a person, which led to the development of distance learning. Today, distance education is a widespread phenomenon in many countries around the world, and every year its popularity is increasing. There is no single definition for distance learning. Rather, there are many approaches to understanding this term. It should also be noted that along with the term "distance education" there are concepts such as distance learning, home education, self-study, open learning, independent study, external studies, distance learning, etc.

All of them belong to one problem area, but they have different shades of values. In the 80 years of the twentieth century. The term "distance education" has spread, the main characteristic of which is the separation of a teacher from a student, and this is precisely the difference between distance education and traditional education. Distance education contains 2 subsystems: distance learning and distance learning. This type of training allows you to get education for all categories of the population. Distance learning provides an opportunity to apply the acquired knowledge immediately in practice.

With the help of distance learning, it is possible to strike a balance between the public demand for education and its offer.

All educational institutions that use information and communication technologies are in fact out of the legal field. It should be noted that today for the development of the system of distance education practically there is no regulatory and legal basis.

In universities and other organizations, electronic textbooks and libraries of them, information and educational environments are gradually being created, but there are no legal bases for using these materials placed on the network. For the effective work of educational institutions using remote learning technologies, coordination of their activities is necessary, as well as the creation of a relevant regulatory framework and the provision of distance learning for official status.

The regulatory framework of distance education should be formed in the form of a package of national acts on the organization of legal regulation of relations between objects and subjects in the field of distance education, taking into account the uniform requirements defined by the Ministry of Education and Science. The basis should be the following principles: account of constitutional norms, openness and availability of

information, protection of intellectual property rights, information security, harmonization of norms with acts of other branches of legislation, as well as with international law. If the distance education system has a regulatory framework, it will become one of the official forms of education. The lack of a legal framework for distance learning not only holds back the economic development of the country, but also forces Ukrainians to apply for the relevant services to educational institutions in Sweden and other countries [5–9].

However, it should be acknowledged that already in Ukraine there is a well-grounded and well-reasoned regulatory framework that contributes to the intensive development of remote educational technologies. To create a legal and regulatory framework for distance learning, it is necessary to:

- To organize the legal service of distance education with the corresponding legal support;

- To determine the rights, duties of students and the rules of work of the teaching staff;

- To develop requirements for the organization of units of the national structure of distance education and regulatory documents on licensing, certification and accreditation;

- To create an informational and educational environment and distance learning tools for different levels;

- To determine the requirements for the operation of telecommunication networks of distance education;

- To ensure the recognition of documents of distance education;

- To develop the requirements and conditions for international activities in the field of distance education.

The introduction of electronic, informational or distance educational technologies should not mean the elimination of classical educational technologies. The strategic goal of distance education is the free access to the possibility of obtaining education of any level at the place of residence or professional activity. The achievement of this goal is achieved through the dissemination of knowledge through information technology. The analysis of the experience of developing distance learning models in Sweden allows us to identify their characteristic features related to national traditions, educational policy and to conclude that it is impossible to directly copy these models to Ukraine. The great and incomprehensible experience of domestic pedagogy makes it possible to build distance learning, taking into account the Swedish progressive experience. In general, the development of distance learning in Ukraine contains all the achievements and principles of both modern and foreign pedagogy.

The state of development of distance education in Ukraine does not fully meet the requirements of the information society, as Ukraine lags behind Sweden in introducing distance learning information technology. In addition, there is a significant backlog of telecommunication data networks characterized by lack of bandwidth, reliability of communication and its low quality. Implementation of distance learning technologies

in institutions with scientific and methodological, personnel and production potential, information resources and technologies, telecommunication infrastructure intensifies the implementation process.

Improvement of the qualitative level of education at the expense of more active use of scientific and educational potential of leading universities, academies, institutes, branch centers of training and retraining of personnel, institutes of advanced training, other educational institutions; the opportunity to receive both basic and additional education in parallel with the main activity. Expansion of the educational environment in Ukraine for the most complete satisfaction of needs and human rights in the field of education; integration and improvement of the education system. Creating conditions for continuing education provides fundamentally new level of educational accessibility while preserving its quality.

Distance learning should contribute to solving such socially important tasks as: raising the level of education of the society and the quality of education; realization of the needs of the population in educational services; satisfaction of the needs of the country in well-trained specialists; increase of social and professional mobility of the population, its entrepreneurial and social activity, level of self-awareness, expansion of the horizons; Preservation and increase of knowledge, personnel and material potential accumulated by the Ukrainian high school; the development of a single educational space within the framework of the international community, which implies the possibility of obtaining education at any point in the educational space; solution of geopolitical tasks.

The benefits of distance education are becoming evident, and the development of distance learning is of particular relevance to the educational system of Ukraine under the influence of the following processes:

- Continuation of economic reforms that put forward new requirements for education;
- Formation of new needs of the population in the new content and technologies of education;
- Political changes that contribute to the growth of international relations, including in the field of education;
- The emergence and rapid development of qualitatively new technical means of information exchange between participants in the educational process;
- Growth of international integration in education with increasing competition in world markets for educational services;
- Adequate and flexible response to the needs of society;
- Implementation of the constitutional right to education of every citizen of the country.
- Satisfaction of the population demand for educational services of the higher school on disciplines unsafe by traditional systems of studying;
- New types of educational institutions based on distance education.

The technologies used today by distance education can be divided into three broad categories:

- Non-interactive (printed materials, audio, video);
- Means of computer training (electronic textbooks, computer testing and knowledge control, advanced multimedia);
- Videoconferences - developed telecommunication facilities through audio channels, video channels and computer networks.

Means of operative access to information from computer networks have added qualitatively new possibilities of distance learning. In Ukrainian high school, they are actively developing in the form of the use of electronic textbooks and technology for the exchange of text information using asynchronous e-mail.

Developed telecommunication facilities, the use of satellite communication channels, the transfer of video images from computer networks only recently began to be applied in the practice of distance education. This is due to the lack of developed communications infrastructure, the high cost of communication channels used. E-mail economically and technologically is the most effective technology that can be used in the learning process to deliver a substantial part of the training courses and provide feedback from the student with the teacher. At the same time, it has a limited pedagogical effect because of the impossibility of implementing a "dialogue" between the teacher and the students. However, if students have permanent access to a personal computer with a modem and a telephone channel, e-mail allows for a flexible and intensive consultation process.

Operational access to information resources allows you to get interactive access to remote databases, information reference systems, and libraries when studying a specific discipline. This access mode ONLINE allows for a few seconds to transfer the necessary training material, computer programs using computer systems from major scientific and educational centers, and from local nodes Internet. As the first factor (integrated characteristics) of the university distance learning, the type of information technology used in the educational process is considered. An important integral factor of the typology of remote universities is a set of pedagogical methods and techniques.

Conclusions. It is important to note first of these requirements - the requirement to ensure high standards and quality of distance education through the use of advanced scientific and reasonable psycho-pedagogical and other technologies. The implementation of, in particular, promising psycho-pedagogical teaching technologies is impossible without the implementation of effective management of educational activities.

The main goal of creating distance education in Ukraine is to increase the level of education of the society and the quality of education, as well as the formation of a single educational space. It is necessary to address such major challenges as the formation of legal, organizational, teaching, information and telecommunications, logistics, personnel, economic and financial support.

The development of distance education will not only provide our population access to quality education, but also provide an opportunity to take a place on the global education market. In the field of software, which is a prerequisite for distance learning, there is a gradual shift from information orientation to interactive. In multimedia educational programs the user is given an increasingly active role, implying free choice of action and obtaining individual results. The development of interactive curricula will complement the tools and capabilities of distance learning technologies, will increase the creative component of modern education. Distant forms of learning solve a significant number of psychological problems associated with student communication and allow them to be more open to

learning. The organizational structure of distance education in Ukraine should unite all components of distance learning and be based on the following major components: organizational, managerial, legal, teaching, information and telecommunications, economic and financial. Distance learning has a number of advantages over traditional forms of knowledge acquisition. It is - to use advanced educational technology, comprehensive software methodological support, individual character studies, involving educational process eminent scientists who do not have the possibility to lecture classes, flexible Counseling, broad availability to all segments of the population, the lower the cost of education compared to similar traditional study programs.

Список литературы:

1. Willén, B. *Distance Education at Swedish universities* / B. Willén. Uppsala : Uppsala University 2014.
2. Rovai, A. P. Why some distance education programs fail while others succeed in a global environment / A. P. Rovai, J. R. Downey // *Internet and Higher Education*. 2010. № 13. P. 141–147.
3. Roberts, C. Implementing Educational Technology in Higher Education : a Strategic Approach / C. Roberts // *The Journal of Educators Online*. 2008. № 5 (1). P. 1–16.
4. HSV Frihetens pris – ett gränslöst arbete. En tematisk studie av de akademiska lärarnas och institutionsledarnas arbetssituation. Högskoleverkets rapportserie, 2008. 22 p.
5. Brattlund, Åsa *What Role of God and National Curriculum in School life? A Comparative Study of Schools with a Muslim Profile in England and Sweden* / Åsa Brattlund ; IE. – Stockholm University, 2009.
6. Агейчева А.О., Комарова О.І., Бухкало С.І. Деякі проблеми науково-технічного перекладу для інноваційних проєктів студентів. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. Х.: НТУ «ХПІ». Ч. III, с. 16.
7. Агейчева А.О., Бухкало С.І. Деякі особливості розвитку дистанційної освіти Швеції. *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. Вип. 55. С. 162–168.
8. A. Ageicheva, O. Komarova, S. Bukhhalo. Distance learning main trends. XXVI Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 16-18 мая 2018. Х.: НТУ «ХПІ». Ч. II, с. 205.
9. S. Bukhhalo, O. Aheicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. XXVI Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 16–18 мая 2018. Х.: НТУ «ХПІ». Ч. II, с. 206.

Bibliography (transliterated):

1. Willén, B. *Distance Education at Swedish universities* / B. Willén. Uppsala : Uppsala University 2014.
2. Rovai, A. P. *Why some distance education programs fail while others succeed in a global environment* / A. P. Rovai, J. R. Downey // *Internet and Higher Education*. 2010, no. 13. P. 141–147.
3. Roberts, C. Implementing Educational Technology in Higher Education : a Strategic Approach / C. Roberts // *The Journal of Educators Online*. 2008. no. 5 (1). P. 1–16.
4. HSV Frihetens pris – ett gränslöst arbete. En tematisk studie av de akademiska lärarnas och institutionsledarnas arbetssituation. Högskoleverkets rapportserie, 2008. 22 p.
5. Brattlund, Åsa *What Role of God and National Curriculum in School life? A Comparative Study of Schools with a Muslim Profile in England and Sweden* / Åsa Brattlund ; IE. Stockholm University, 2009.
6. Ageicheva A.O., Komarova O.I., Bukhhalo S.I. Dejakі problemi naukovо-technichnogo perekladu dlja innovacijnih proektiv studentiv. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17–19 maja 2017. Kharkov : NTU «KhPI». Ch. III, p. 16.
7. Ageicheva A.O., Bukhhalo S.I. Dejakі osoblivosti rozvitku distancijnoi osviti Shvecii. Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2013, vip. 55. P. 162 – 168.
8. Ageicheva A.O., Komarova O.I., Bukhhalo S.I. Distance learning main trends. XXVI Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 16–18 maja 2018. Kharkov : NTU «KhPI». Ch. II, p. 205.
9. S. Bukhhalo, O. Aheicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. XXVI Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 16–18 maja 2018. Kharkov : NTU «KhPI». Ch. II, p. 206.

Поступила (received) 25.05.18

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Агейчева Анна Олександрівна (Агейчева Анна Александровна, Ageicheva Anna), PhD, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри іноземної філології та перекладу, заступник декана гуманітарного факультету з наукової та міжнародної діяльності Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389->, ageycheva@i.ua

Комарова Олександра Іванівна (Комарова Александра Ивановна, Komarova Oleksandra) – викладач кафедри іноземної філології та перекладу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389->, ageycheva@i.ua

Бабаши Лариса Володимирівна (Бабаши Лариса Владимировна, Babash Larisa) – викладач кафедри іноземної філології та перекладу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389->, ageycheva@i.ua

УДК 536.248.2:532.529.5

Л. В. ИВАНОВА**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ ВОДООХЛАДИТЕЛИ. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Разработано принципиальные решения выпарных водо- и воздухоохлаждающих непрямого типа с заниженным пределом охлаждения. Новые решения позволяют снизить предел выпарного охлаждения средовещей в охлаждающих чиллерах от температуры мокрого термометра до температуры точки росы. Насадка тепло-массообменных аппаратов пленочного типа выполнена на основе моноблочных многоканальных композиций из полимерных материалов. Выполнено, на основании экспериментальных данных по эффективности процессов тепло-массообмена, сравнительный анализ возможностей разработанных водоохлаждающих, подтвердивший высокую эффективность новых решений. Выполнен сравнительный энерго-экологический анализ СКВ традиционного типа (парокомпрессионной) и разработанной альтернативной солнечной системы кондиционирования воздуха ССКВ, что показал значительные преимущества новых решений.

Ключевые слова: непрямо выпарное охлаждение, воздухоохлаждающий чиллер, водоохлаждающий чиллер, тепло-массообменный аппарат, Полный Жизненный Цикл.

Л. В. ИВАНОВА**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНИ ВИПАРНІ ВОДООХЛАДЖУВАЧІ. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ І ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Разработаны принципиальные решения испарительных водо- и воздухоохлаждающих непрямого типа со сниженным пределом охлаждения. Новые решения позволяют снизить предел испарительного охлаждения сред в охладителях-чиллерах от температуры мокрого термометра поступающего в охладитель воздуха до температуры точки росы. Насадка тепло-массообменных аппаратов пленочного типа выполнена на основе моноблочных многоканальных композиций из полимерных материалов. Выполнен, на основании полученных экспериментальных данных по эффективности процессов тепло-массообмена, сравнительный анализ возможностей разработанных водоохлаждающих, подтвердивший высокую эффективность новых решений. Выполнен сравнительный энерго-экологический анализ СКВ традиционного типа (парокомпрессионной) и разработанной альтернативной солнечной системы кондиционирования воздуха ССКВ, показавший значительные преимущества новых решений.

Ключевые слова: непрямо испарительное охлаждение, воздухоохлаждающий чиллер, водоохлаждающий чиллер, тепло-массообменная аппаратура, Полный Жизненный Цикл.

L. V. IVANOVA**LOW-TEMPERATURE EVAPORATIVE WATER COOLERS. ANALYSIS OF OPPORTUNITIES AND ENVIRONMENTAL-ENERGY CHARACTERISTICS**

Basic solutions for evaporative water and air coolers of indirect type with a reduced cooling limit have been developed. New solutions allow to reduce the evaporative cooling limit of the fluids in the chiller chillers from the temperature of the wet thermometer entering the air cooler to the dew-point temperature. The nozzle of heat-mass-exchange apparatus of film type is made on the basis of monoblock multichannel compositions made of polymer materials. Based on the experimental data on the efficiency of heat-mass transfer processes, a comparative analysis of the capabilities of the developed water coolers was confirmed, which confirmed the high efficiency of the new solutions. A comparative energy-ecological analysis of the traditional type of SCR (vapor compression) and the developed alternative solar air conditioning system SACS, which showed significant advantages of new solutions.

Keywords: indirect evaporative cooling, air-cooler-chiller, water-chiller, heat-mass transfer equipment, Full Life Cycle.

Введение. Интерес к возможностям испарительного охлаждения сред в последние годы неуклонно возрастает, что обусловлено их малым энергопотреблением и экологической чистотой [1–7, 9, 13]. Широкое практическое применение находят испарительные охладители ИО прямого типа (воздухоохладители и водоохладители-градирни ГРД, cooling tower, СТВ) и непрямого типов (воздухо- и водоохладители НИО, indirect evaporative cooling, ИЕС). Возможности таких охладителей по достижению температурного уровня охлаждения ограничены температурой наружного воздуха по мокрому термометру t_m , являющейся естественным пределом охлаждения, их эффективность существенно зависит от местных климатических условий.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. Разработка схемных решений СКВ на основе низкотемпературных испарительных водо- и воздухоохлаждающих. Значительный интерес в последние годы вызывают ИО со сниженным пределом испарительного охлаждения сред [10–12]. Снижение температурного уровня охлаждения

обеспечивает и общее уменьшение количества воды, используемой в ИО, что для современных энергетических систем означает реальное уменьшение количества воды, требуемое для компенсации потерь на испарение. Рассмотрим схемные решения СКВ на основе низкотемпературных испарительных водо- и воздухоохлаждающих, в т.ч. особенности схемных решений СКВ, основанные на низкотемпературном воздухоохладителе – чиллере Chg (рис. 1). Рассмотрены два варианта СКВ: на основе разработанного воздухоохлаждателя Chg (рис. 1, А и В) и Chg* (1, Б и Г). Во втором случае (эта схема менее энергозатратна, поскольку в помещение поступает весь обработанный в воздухоохладителе воздушный поток) в помещение подается охлажденный и увлажненный воздушный поток, что сужает возможную область практического использования таких решений по уровню начального влагосодержания наружного воздуха с точки зрения обеспечения требуемых комфортных параметров воздуха в помещении.

© Иванова Л. В., 2018

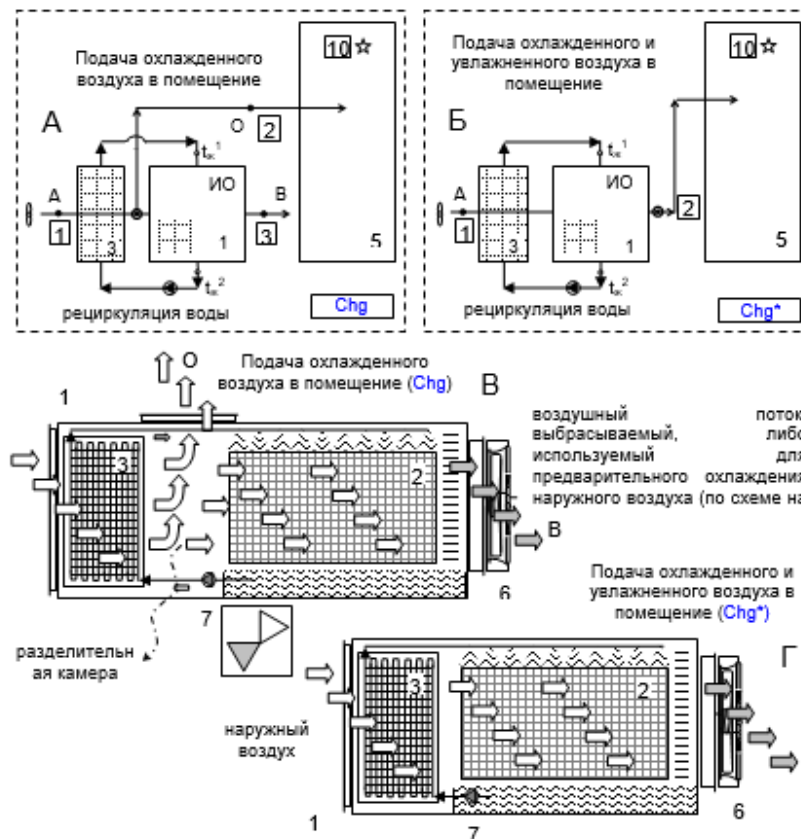


Рис. 1. Принцип компоновки (А и Б) системы кондиционирования воздуха СКВ на основе испарительного воздухоохладителя (В, чиллер Chg; Г, чиллер Chg*), с подачей в помещение охлажденного (А и В), или охлажденного и увлажненного (Б и Г) воздуха: 1 – Chg (ИО); 1* – Chg* (ИО); 2 – насадка поперечноточного теплообменного аппарата; 3 – водо-воздушный теплообменник; 5 – помещение; 6 – вентилятор; 7 – насос. А – наружный воздух.

Выделенными номерами точек обозначены параметры потоков воды и воздуха

Насадочная часть ИО представляет собой многоканальную структуру из полимерного материала; схема контактирования потоков в аппарате может быть, как противоточной, так и поперечноточной. Выбор режимных параметров и геометрии насадочной части ИО рассмотрен в работах авторов [1–7].

Решения для альтернативных систем кондиционирования воздуха СКВ, основанное на низкотемпературном водоохладителе – чиллере Chw приведены на рис. 2. Здесь охлажденная вода поступает в расположенный в водо-воздушный теплообменник (fan-coil), обеспечивая конвективное охлаждение воздуха в обслуживаемом помещении. В расчетах производительности системы следует учитывать обновление воздуха в помещении, то есть поступление свежего наружного воздуха. Выбрасываемый из низкотемпературного ИО воздушный поток (3) может использоваться для предварительного охлаждения в теплообменнике 3* поступающего в ИО наружного воздуха.

Изложение основного материала исследований. Анализ работы СКВ на основе воздухоохладителя Chg. На Н-Х диаграмме влажного воздуха (рис. 3), на основе полученных в работе экспериментальных данных, приведен анализ работы

воздухоохладителя Chg (схема по рис. 4. А и В) при различных начальных влагосодержаниях воздуха $x_{r,1}$ (при одинаковом во всех случаях соотношении воздушных потоков $l = G_o/G_B = 1,0$). Полный воздушный поток охлаждается при неизменном влагосодержании в теплообменнике 7 и здесь делится на «основной» поток (О), поступающий в помещение и «вспомогательный» поток (В), поступающий в испарительный воздухоохладитель ИО. Линия изменения состояния «основного» потока (1 – 1«О», 2 – 2«О», 3 – 3«О») протекает при постоянном значении влагосодержания воздуха. Для степени приближения к пределу охлаждения $\Delta t^{**} = (t_o - t_p)$, получены результаты:

$$x_{r,1} = 16 \text{ г/кг: } t_o = 24,3 \text{ }^\circ\text{C}, \Delta t^{**} = 4,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$x_{r,1} = 11 \text{ г/кг: } t_o = 19,5 \text{ }^\circ\text{C}, \Delta t^{**} = 5,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$x_{r,1} = 9 \text{ г/кг: } t_o = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}, \Delta t^{**} = 6,0 \text{ }^\circ\text{C},$$

то есть: – со снижением начального влагосодержания воздуха уровень охлаждения основного воздушного потока значительно снижается, но при этом уменьшается и степень приближения к пределу охлаждения.

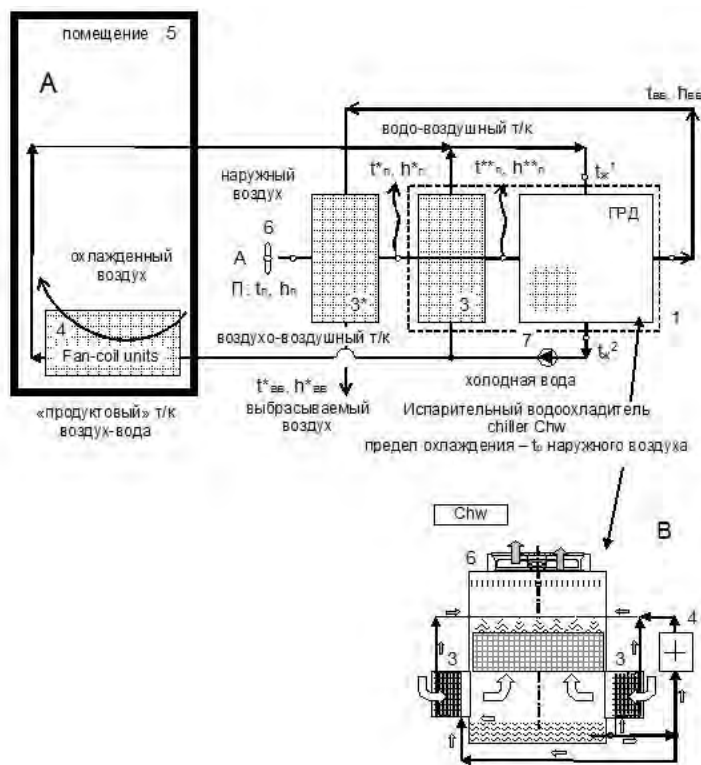
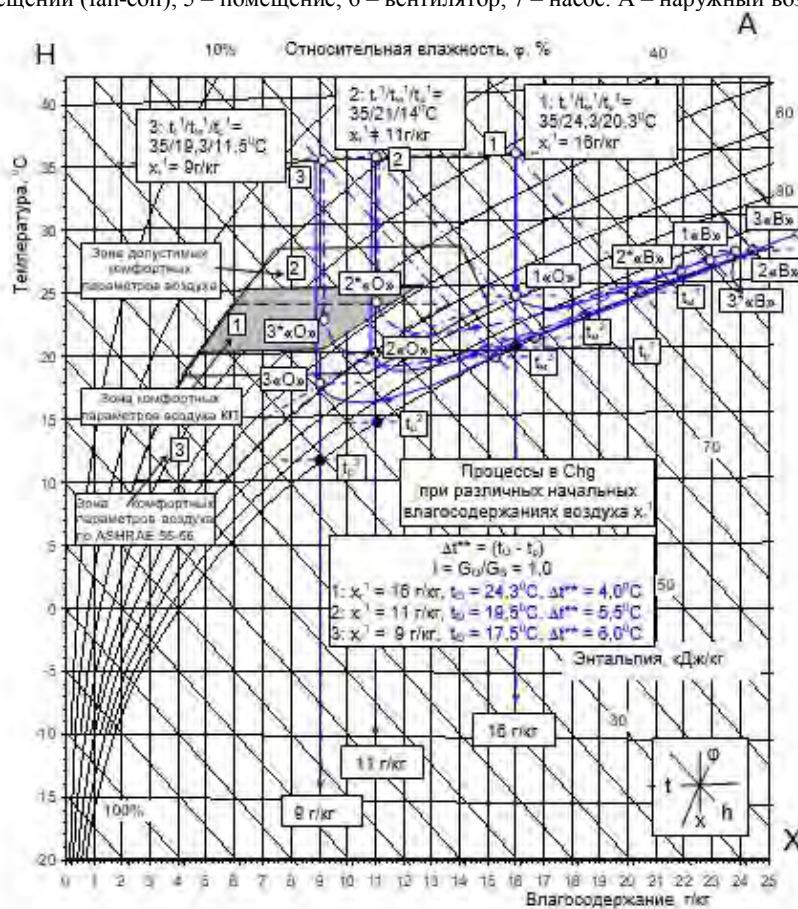


Рис. 2 – Принцип компоновки (А) системы кондиционирования воздуха СКВ на основе испарительного охладителя воды (В), чиллера (Chw), с подачей в помещение холодной воды и использованием холодного увлажненного воздушного потока, покидающего испарительный водоохладитель для предварительного охлаждения наружного воздуха, поступающего в Chw: 1 – Chw в составе градирни ГРД и теплообменников 3 и 3*; 4 – водо-воздушный т-к в охлаждаемом помещении (fan-coil); 5 – помещение; 6 – вентилятор; 7 – насос. А – наружный воздух



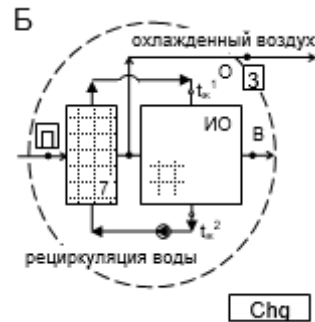


Рис. 3 – Анализ работы СКВ (по рис. 4 А и В) на основе воздухоохлаждителя Chg при различных начальных влажосодержаниях воздуха x_{r1} (при $l = G_0/G_V = 1,0$). Процессы 2-2*(O)-2*(B) и 3-3*(O)-3*(B) приведены для соотношения основного и вспомогательного воздушных потоков $l = G_0/G_V = 0,8$. На рисунке выделена зона комфортных (1 – зачернена), допустимых комфортных параметров воздуха (2) и зона комфортных параметров воздуха по ASHRAE 55-56 (3 – выделена пунктирными линиями) в помещении

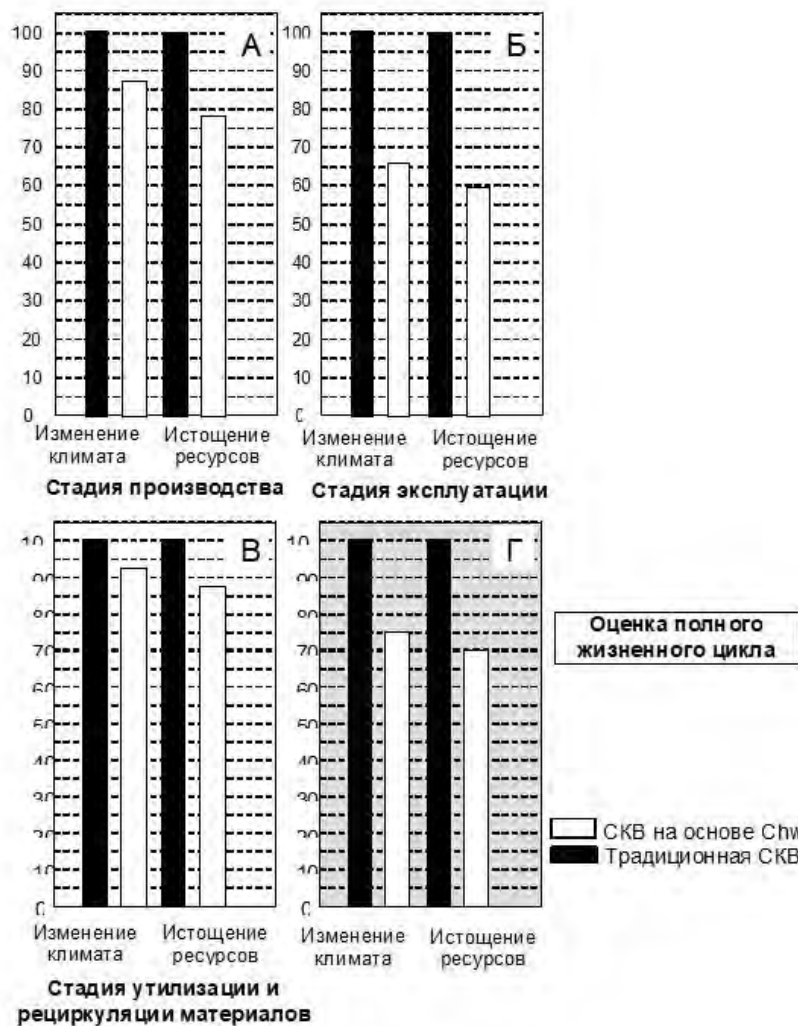


Рис. 4 – Сравнение экологического воздействия на стадиях: производства (А), в период эксплуатации оборудования (Б), утилизации оборудования (В) и в полном жизненном цикле сравниваемого оборудования (Г) для традиционной СКВ парокомпрессионного типа (воздушный кондиционер CAAE/CAEN-51, Франция) и разработанной СКВ на основе Chw

Кривая изменения состояния вспомогательного воздушного потока G_V последовательно выгибается в сторону острого «угла» Н-Х диаграммы влажного воздуха, как бы «упираясь» в предел охлаждения

(линии изменения состояния вспомогательного воздушного потока в чиллере «1O» – «1B» ... «3O» – «3B») и изменение состояния потока «B» в дальнейшем протекает непосредственно вдоль

равновесной кривой $\phi = 100\%$, то есть этот поток полностью насыщается еще до выхода из аппарата; – возможно, будет целесообразно при переходе к реализации испарительного охлаждения в Chg на малых величинах начальных влагосодержаний, снижать соотношение потоков $l = G_O/G_B$. На рисунке выполнен такой анализ и видно, что для получения комфортных параметров основного воздушного потока, поступающего в помещение можно увеличить расход основного воздушного потока (процессы 2-2*(O) -2*(B) и 3-3*(O) -3*(B) приведены для соотношения основного и вспомогательного воздушных потоков $l^* = G_O/G_B = 0,8$), что снижает реальные энергозатраты в СКВ. При этом видно, что линии изменения состояния вспомогательного воздушного потока в чиллере «2*O» – «2*B» и «3*O» – «3*B» протекают уже не по равновесной кривой $\phi = 100\%$, то есть вспомогательный воздушный поток до выхода из насадки ТМА не насыщен и опасность «реконденсации» в нем, а, следовательно, и снижения эффективности процесса отсутствует.

Сравнительный эколого-энергетический анализ разработанных СКВ и систем кондиционирования традиционного типа.

Этот раздел посвящен анализу полного жизненного цикла двух сравниваемых систем предназначенных для кондиционирования воздуха: традиционной и альтернативной, выполненный на основе методологии «оценки полного жизненного цикла» системы. Методология «Полный жизненный цикл» (ПЖЦ, Life Cycle Assessment, LCA) по определению SETAC [8, 14] – это: оценка экологического воздействия продукции (процесса), путем установления и количественного определения всех используемых за полный жизненный цикл продукции (процесса) энергии и материалов, и соответствующих вредных выбросов в окружающую среду; оценка возможности снижения экологического воздействия анализируемой продукции (процесса). Методология LCA разработана в соответствии со стандартами ISO 14040 (ISO 14040, 14041, 14042 и 14043). Методику расчета экологических индикаторов за полный жизненный цикл системы применяют для сравнения различных альтернативных систем (продуктов, технологий и т.п.) с целью выбора системы, оказывающей наименьшее влияние на окружающую среду. Рассчитанные в рамках методологии LCA критерии можно использовать также для выявления потенциальных возможностей снижения антропогенной нагрузки рассматриваемого оборудования. Выполнение оценки с помощью метода LCA позволяет проанализировать антропогенное воздействие на стадиях производства, использования и утилизации рассматриваемого объекта, то есть в пределах полного жизненного цикла существования продукта. В самом общем случае, при анализе, учитываются: расход энергии и

выделения вредных веществ при производстве конструкционных материалов для рассматриваемого объекта; потребление энергии и других расходных материалов (например, хладагента в СКВ традиционного типа) при эксплуатации объекта; дополнительные затраты энергии при утилизации объекта (либо получение энергии при рециркуляции материалов утилизируемого объекта) и все сопутствующие выбросы вредных веществ.

Для оценки перспективности применения альтернативных систем СКВ были выбраны эколого-энергетические критерии, которые, при нынешнем состоянии промышленности, определяют направления ее дальнейшего развития: влияние полного жизненного цикла сравниваемых систем на: – глобальное изменение климата (соответствует полной эмиссии парниковых газов); – истощение природных ресурсов при создании, эксплуатации и утилизации систем (соответствует полному потреблению органического топлива и минеральных ресурсов за полный жизненный цикл системы); ущерб, наносимый окружающей природной среде, т.е. соответствующие данному ущербу эко-индикаторы (отдельно может учитываться ущерб человеческому здоровью, экосистеме и истощение природных ресурсов). Расчет всех выбранных критериев основан на методологии ECO-INDICATOR 99. Этот метод был разработан по Dutch NOH программе совместного проекта с Philips Consumer Electronics, NedCar (Volvo/Mitsubishi), Océ Copiers, Schuurink, CML Leiden, TU-Delft, IVAM-ER and CE Delft [14]. В соответствии с широко распространенной в настоящее время методикой оценки полного эквивалента глобального потепления, влияние на изменение климата принято выражать через кг CO₂.

При расчетах влияния на изменение климата, учитываются все выбросы CO₂: имевшие место при производстве энергии и материалов, а также при эксплуатации оборудования и его утилизации. Кроме того, учитываются выбросы всех других парниковых газов на всех стадиях полного жизненного цикла.. Вклад парниковых газов в изменение климата также вычисляется в кг CO₂ (пересчитывается с помощью специальной величины GWP парникового газа, кг/кг CO₂). Вклад в истощение ресурсов выражается в мДж (показывает дополнительные затраты энергии, необходимые в будущем для извлечения руды и топлива более низкого качества). Эта величина прямо пропорциональна количеству потребленных энергоресурсов на создание, эксплуатацию и утилизацию рассматриваемого объекта.

Три основные категории ущерба: влияния на здоровье человека, качество экосистемы и истощение ресурсов, оцениваются в эко-единицах. Шкала, в которой сравнивается относительное воздействие на окружающую среду, выбрана таким образом, чтобы 1 Pt (эко-единица) представляла одну тысячную часть

ежегодной нагрузки на окружающую среду, проистекающая от одного среднестатистического жителя Европы (это значение рассчитывается отношением общей нагрузки на окружающую среду, связанной с полными выбросами какого-либо вредного вещества в Европе, к общему количеству жителей Европы и умножением на 1000). Здесь так же следует отметить те вредные воздействия, которые отвечают за перечисленные выше три категории ущерба.

В настоящее время разработана обширная база данных для определения качества и количества различных вредных воздействий и выбросов при производстве определенных материалов, необходимая для выполнения расчетной программы LCA. Следует отметить, что первым и обязательным шагом при выполнении такого анализа является определение всех использованных ресурсов на всех стадиях жизненного цикла рассматриваемой системы. Это является стандартной процедурой в анализе LCA. При оценке эко-индикаторов (эко-индикаторов-99) после выполнения первой стадии осуществляется последовательно следующие два шага: расчет вредного влияния всех этих потоков на здоровье человека, качество экосистемы и ресурсы; определение веса каждой этой категории вреда.

После учета весовых коэффициентов и суммирования всех вредных воздействий получается экоиндикатор, имеющий размерность Pt (эко-единица), который можно использовать для сравнения альтернативных объектов. Следует отметить, что наиболее критическим и спорным моментом является именно определение веса каждой категории. Ведь некоторые из них имеют разные размерности (влияние на изменения климата – кг CO_2 , на разрушение озонового слоя – кг $R11$, влияние на образование кислотных дождей – кг SO_2). Оценить какой из этих факторов является более важным, сложно, а рассматривать каждый из них в отдельности невозможно для получения однозначного результата анализа.

В нашей работе этот этап анализа выполнялся с использованием базы данных программы «SIMAPRO-6». Сравнительный экологический анализ солнечных систем тепло- и хладоснабжения был выполнен на примере «полного жизненного цикла» СКВ традиционного и нового типа. Метод LCA используется в качестве инструмента для выбора оптимального направления разработок и может использоваться для определения времени возврата энергии, затраченной на производство и установку солнечных систем и их отдельных элементов.

В модели LCA была рассчитана полная используемая энергия и выбросы, связанные с производством, перевозкой и получением 1 кг материала, использованного при изготовлении каждого ТМА холодильной системы как традиционного, так и нового типа. Все стадии цикла жизни были включены в модель и оценены.

Стадия уничтожения материалов также включает потребление энергии. Для большинства материалов эта энергия и выбросы увеличиваются во время разборки изделия и перевозки материалов и при переработке или уничтожении, однако, большая часть материалов может быть переработана.

В модели LCA было сделано допущение о том, что 50 % алюминия впоследствии перерабатываются, а 50 % пластика сжигается для производства электроэнергии.

Сравнительный экологический анализ традиционных систем кондиционирования воздуха СКВ и альтернативных СКВ на основе низкотемпературного водоохладителя Chw.

В работе последовательно выполнялась оценка перечисленных выше критериев для трех основных стадий жизненного цикла сравниваемых СКВ на стадиях: *производства, эксплуатации и утилизации*. Выполнение анализа с помощью метода «полного жизненного цикла» ПЖЦ (LCA) позволяет проанализировать все стадии двух сравниваемых установок, традиционного типа – пароконденсационной СКВ, и альтернативной СКВ, учитывая производство материалов системы, хладагента, а также упрощенные производственные процессы при создании обеих СКВ. При анализе не рассматривалась система воздухопроводов (система распределения потоков воздуха и воды) в кондиционируемом здании, поскольку для сравниваемых систем она практически (примерно) идентична.

Анализ уровня выбросов вредных веществ на стадии производства системы основан на полном жизненном цикле материалов, а это означает, что энергозатраты на производство материалов являются суммой энергозатрат на получение, обработку, подготовку и транспортировку соответствующих материалов.

Для выполнения анализа необходимо знать виды и массы материалов, из которых изготовлена система. В табл. 1. представлены данные по структуре материальных затрат на создание двух сравниваемых установок СКВ, массы материалов, а также мощности компрессора, вентилятора и водяного насоса. Для сравнения был взят крышный кондиционер французского производства CAAE/CAEN – 51, так чтобы холодопроизводительность у сравниваемых вариантов кондиционеров была примерно одинаковой (≈ 14.0 кВт). Материалы, из которых состоят рассматриваемые системы, во многих случаях производятся в различных странах.

Получить надежные данные по затратам на производство энергии и эмиссии вредных веществ в различных процессах в разных странах достаточно проблематично. Поэтому, при выполнении анализа, использовались данные по выбросам в разных процессах, как средние для стран Евросоюза (они представлены в программе «SIMAPRO-6», с использованием которой и выполнялся анализ).

Так как основной целью работы является сравнение СКВ традиционного и альтернативного типов, то принятое допущение не скажется на качестве анализа и правильности сделанных выводов. Это означает, что, несмотря на реальную структуру производства электроэнергии в стране производителе конкретных материалов, при выполнении анализа учитывались вредные выбросы, соответствующие производству энергии в странах Евросоюза. Выбросы при повторном использовании и утилизации материалов принимались такими же, как в среднем по странам ЕС.

– Стадия производства сравниваемых СКВ.

В стадии производства учитывается влияние следующих процессов: добычи сырья, включая добычу нефти и газа для производства: полимерных материалов для изготовления насадки ТМА; металлов; производства различных деталей СКВ, их сборки и транспортировки. материалов в ЕС).

Следует отметить, что, согласно методологии ПЖЦ, в данную стадию включено и повторное использование металлов. В модели принято, что 50% стали, 40% меди и 30% алюминия произведено из металлолома (это соответствует средним данными по повторному использованию материалов в ЕС).

На рис. 4 представлены основные результаты. Расчет вредного воздействия оценивался с использованием базы данных программы SIMAPRO-6 с учетом расхода энергии на изготовление установки из различных материалов (металлов, пластика) и на производство хладагента (в данном случае это R22).

Как видно из результатов анализа стадии создания оборудования (рис. 4А), по всем категориям экологического воздействия традиционная СКВ уступает альтернативной.

Таблица 1 – Технические характеристики сравниваемых СКВ

Технические характеристики рассматриваемых систем (холодопроизводительность состав, материал, вес)	Традиционная система СКВ (воздушный кондиционер СААЕ/САЕН-51, производства Франции)	Система СКВ на основе низкотемпературного испарительного охладителя воды, чиллера (Chw)
Холодопроизводительность, кВт	14.3	14.0
Компрессор:		
Корпус (сталь 45), кг	45.0	–
Провода (медь), кг	2.3	
Вентилятор:		
Двигатель (сталь 45), кг	6.0	3.6
Импеллер (алюминий), кг	2.0	2.6
Провода (медь), кг	1.1	3,0
Жидкостные насосы:		
Двигатель (сталь 45), кг	–	1.5
Провода (медь), кг		2.5
Воздушный конденсатор ХМ:		
Корпус (сталь 45), кг	6.9	–
Рёбра (алюминий), кг	9.0	
Трубки (медь), кг	9.3	
Воздухоохладитель (испаритель) ХМ:		
Корпус (сталь 45), кг	5.4	–
Рёбра (алюминий), кг	7.9	
Трубки (медь), кг	8.6	
Хладагент (R22), кг	4.0	
Осушитель воздуха:		
Корпус (сталь 45), кг	1.5	–
Алюминий, кг	3.7	
Медь, кг	4.0	
Парогенератор (нержавеющая сталь), кг	20.0	–
Фильтр, рамка, элементы фильтра (сталь), кг	100.5	96.0
Испарит. водоохладитель Chw:		
– насадка, кг;	–	4.0
– крепежная рама, кг		2.0
Теплообменники жидкость-жидкость, медь (3 шт.), кг	–	15x3
Общий вес	237.3	189.9

– Стадия эксплуатации сравнимых систем.

На стадии эксплуатации СКВ учитываются энергопотребление систем (с учетом структуры производства электроэнергии в Украине: тепловые электростанции – 49 %, атомные электростанции – 43% и гидроэнергетика – 8% [1,14]) и утечек хладагента (принимая утечки хладагента 3% от его общей массы в год для парокомпрессионной СКВ).

Потребление электроэнергии компрессором, вентилятором и водяным насосом за время эксплуатации СКВ количественно определены с учетом профиля нагрузки за сутки (при вычислении величины этой нагрузки предполагалось, что минимальная суточная производительность СКВ – 20% в рабочем режиме).

Используя данные по климатическим условиям для Одесского региона в течение года, установленную холодопроизводительность для каждой СКВ, и, принимая, что средняя продолжительность эксплуатации рассматриваемых СКВ одинакова и примерно равна 10 годам, был проведен анализ периода эксплуатации СКВ (рис. 4.Б), показавший, что по всем основным категориям экологического воздействия традиционная СКВ так же уступает альтернативной СКВ. Здесь разница еще более существенна, чем для периода производства рассматриваемых систем.

– Стадия утилизации СКВ.

Предполагается, что после окончания срока эксплуатации СКВ демонтируется и направляется на утилизацию. Металлические детали отправляются на повторное использование, а хладагент под давлением извлекается и транспортируется на утилизацию (например, его разрушают пиролизом с получением в качестве конечного продукта веществ, содержащих аргон, диоксид углерода и водяной пар). При оценке влияния этой стадии на общее экологическое воздействие учитывалась также транспортировка (на расстояние 100 км для металлолома и 300 км для утилизации хладагента, – это усредненные параметры, принятые для ЕС). Как видно из приведенных результатов (рис. 4.В), и на этой стадии преимущества сохраняются за альтернативной системой.

– Экологическое воздействие за полный жизненный цикл.

Для объективной оценки и окончательных выводов по перспективам применения той или иной альтернативной системы следует оценить экологическое воздействие за полный жизненный цикл.

Общее экологическое воздействие для обеих СКВ представлено на рис. 4Г. Результаты выполненного экологического анализа традиционной и альтернативной систем кондиционирования воздуха позволяют сделать вывод о преимуществе последней.

Как видно из выполненного исследования, разработанная система СКВ оказывает существенно меньшее вредное воздействие на окружающую среду, чем традиционная по всем основным сравнимым категориям.

Альтернативная система СКВ, основанная на использовании низкотемпературного водоохладителя приводит к меньшему истощению природных ресурсов (\approx на 30%, в т.ч. и энергоресурсов), что говорит о ее большей энергетической эффективности и вносит меньший вклад в глобальное изменение климата (\approx на 25%).

Следует отметить, что высокая энергоэффективность и низкий вклад в глобальное потепление напрямую связаны друг с другом, поскольку наибольший вклад в изменение климата вносят выбросы CO_2 от потребляемой электроэнергии. Поэтому выбор альтернативного оборудования по двум анализируемым критериям (влияние на истощение природных ресурсов и вклад в глобальное потепление) будет способствовать реализации закона Украины об энергосбережении и Киотского протокола (направленного на снижение эмиссии парниковых газов).

Общее экологическое воздействие для традиционной системы так же больше, чем для альтернативной, что еще раз подтверждает преимущества последней.

Полученные результаты показывают, что наибольшее воздействие на окружающую среду производится во время эксплуатации системы. Причем наибольшее влияние в этот период связано с энергопотреблением СКВ.

Выводы.

1. Выполнен анализ принципиальных возможностей разработанных низкотемпературных испарительных воздухоохладителей Chg, показавший, что:

– со снижением начального влагосодержания воздуха уровень охлаждения основного воздушного потока в Chg значительно снижается, при этом уменьшается и степень приближения к пределу охлаждения;

– кривая изменения состояния G_B последовательно выгибается в сторону острого «угла» H-X диаграммы влажного воздуха и изменение состояния потока «В» в дальнейшем протекает непосредственно по равновесной кривой $\phi = 100\%$;

– возможно, будет целесообразно при переходе к реализации испарительного охлаждения в Chg на малых величинах начальных влагосодержаний, снижать соотношение потоков $l = G_O/G_B$;

2. Выполнен общий экологический анализ новых решений в области разработанных испарительных низкотемпературных охладителей сред с использованием методологии и базы данных «Полный жизненный цикл»; как видно из выполненного исследования, разработанная система СКВ на основе чиллера-водоохладителя Chw оказывает существенно меньшее вредное воздействие на окружающую среду, чем традиционная по всем основным сравниваемым категориям:

– альтернативная система СКВ, основанная на использовании низкотемпературного водоохладителя приводит к меньшему истощению природных ресурсов (\approx на 30%, в т.ч. и энергоресурсов), что

говорит о ее большей энергетической эффективности и вносит меньший вклад в глобальное изменение климата (\approx на 25%);

– следует отметить, что высокая энергоэффективность и низкий вклад в глобальное потепление напрямую связаны друг с другом, поскольку наибольший вклад в изменение климата вносят выбросы CO_2 от потребляемой электроэнергии;

– общее экологическое воздействие для традиционной системы так же больше, чем для альтернативной, что еще раз подтверждает преимущества последней.

Список литературы:

1. Doroshenko A.V., Glauberman M.A. *Alternative energy [Alternative energy]. Refrigerating and Heating Systems*, [Odessa I.I. Mechnicow National University Press], 2012.
2. Guangming Chen, Kostyantyn Shestopalov, Alexander Doroshenko, Paul Koltun. Polymeric materials for solar energy utilization: a comparative experimental study and environmental aspects, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2015, vol. 54, pp. 796–805.
3. Foster R.E., Dijkstra E. *Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits World Wide*. [Proc. Int. Conf. “Applications for Natural Refrigerants”, Aarhus, Denmark, IIR/IIF, 1996, pp. 101–109 (In English).
4. John L., McNab, Paul McGregor. *Dual Indirect Cycle Air-Conditioner Uses Heat Concentrated Dessicant and Energy Recovery in a polymer Plate Heat Exchanger*. [Proc. 21 International Congress of Refrigeration IIR/IIF], 2003, Washington, D.C, ICR0646.
5. Stoitchkov N. J., Dimirov G.J. Effectiveness of Crossflow Plate Heat Exchanger for Indirect Evaporative Cooling. *Int. J. Refrig.*, vol. 21, no. 6, 1998, pp. 463–471.
6. Zhao, X., Liu, S., Riffat, S.B. Comparative study of heat and mass exchanging materials for indirect evaporative cooling systems. [Proc 43th Int Conf. “Building and Environment”], 2008, pp. 1902–1911.
7. Gomes E.V., Martinez F.J., Diez, F.V., Leyva, M.J., Martin, R.H. Description and experimental results of a semi-indirect ceramic evaporative cooler. *Int. Journal of Refrigeration*, 2005, vol. 28, pp. 654–662.
8. Martínez F.J., Gómez E.V., García C.M., Requena J.F., Gracia L.M., Navarro S.H, Guimaraes A.C., Gil J.M. Life cycle assessment of a semi-indirect ceramic evaporative cooler vs a heat pump in two climate areas of Spain. *Applied Energy*. 2011, vol. 88, pp. 914–921.
9. *Method and Apparatus of Indirect-Evaporative Cooling*, Patent RF, no. US 6,497,107 B2, 2002.
10. *USA Patent No.:* US 6,497,107 B2. Dec. 24, 2002. Method and Apparatus of Indirect-Evaporative Cooling.
11. Maisotsenko V., Leland Gillan, M. 2003, The Maisotsenko Cycle for Air Desiccant Cooling. [Proc. 21st Int. Cong of Refrigeration IIR/IIF], 2003, Washington, D.C, ICR0646.
12. Denis Pandelidis, Sergey Anisimov, William M. Worec. Performance study of the Maisotsenko Cycle heat exchangers in different air-conditioning applications. *Intern. Journal of Heat and Mass Transfer*, 2015, vol.81, pp. 207–221.
13. Pascal Stabat, Dominique Marchio. Simplified model for undirect-contact evaporative cooling tower behaviour. France. *Applied Energy*. 78. 9 2004. pp. 433–451.
14. Koltun, P. Life Cycle Assessment of a Conventional and Alternantive Air-Conditioning Systems. P. Koltun, S. Ramakrishnan, A. Doroshenko, M. Kontsov. 21st International Congress of Refrigeration IIR/IIF, Washington, D.C, ICR0140, 2003, pp. 45–57.

Поступила (received) 25.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Іванова Лідія Володимирівна (Иванова Лидия Владимировна, Ivanova Lidia Volodymyrivna) – магістр, асистент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет, тел.: +097 941 0226; e-mail: leesoull18@gmail.com

УДК 66.045.01

*А. А. ВАСИЛЕНКО, С. К. КУСАКОВ, И. А. БОЧАРНИКОВ, В. В. ЗОРЕНКО, О. П. АРСЕНЬЕВА***МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА КОНДЕНСИРУЕМЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ**

В статье представлена математическая модель конденсации пара из смеси с неконденсирующимся газом в каналах пластинчатого теплообменника (ПТО). Модель учитывает изменение параметров процесса вдоль поверхности теплопередачи и локальные особенности процессов тепло-массообмена в каналах ПТО с пластинами различной геометрической формы гофрировки. Она состоит из системы обыкновенных дифференциальных уравнений со значительно нелинейными правыми частями. Разработано программное обеспечение для его решения методом конечных разностей. Адекватность модели подтверждается сравнением с экспериментом по конденсации паровоздушной смеси в модели канала ПТО.

Ключевые слова: интегрированные технологии, математическая модель, теплообменные аппараты, утилизация тепла, энергосбережение, расчет теплообменников, конденсация газа, пар.

О. А. ВАСИЛЕНКО, С. К. КУСАКОВ, І. О. БОЧАРНИКОВ, В. В. ЗОРЕНКО, О. П. АРСЕНЬЄВА
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛОБМІННИКА ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА КОНДЕНСАЦІЙНИХ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

У статті представлена математична модель конденсації пари з суміші з неконденсованим газом в каналах пластинчастого теплообмінника (ПТО). Модель враховує зміну параметрів процесу уздовж поверхні теплопередачі і локальні особливості процесів тепло-масопереносу в каналах ПТО з пластинами різної геометричної форми гофрування. Вона складається з системи звичайних диференціальних рівнянь з значно нелінійними правими частинами. Розроблено програмне забезпечення для його вирішення методом кінцевих різниць. Адекватність моделі підтверджується порівнянням з експериментом по конденсації пароповітряної суміші в моделі каналу ПТО.

Ключові слова: інтегровані технології, математична модель, теплообмінні апарати, утилізація тепла, енергозбереження, розрахунок теплообмінників, конденсація газу, пар.

A. A. VASILENKO, S. K. KUSAKOV, I. O. BOCHARNIROV, V. V. ZORENKO, O. P. ARSENYEVA
MATHEMATICAL MODEL OF PLASTIC HEAT EXCHANGER FOR UTILIZATION OF HEAT OF CONDENSED GAS FLOWS

The article presents a mathematical model of steam condensation from a mixture with noncondensable gas in the channels of a plate heat exchanger (PHE). The model takes into account the change in the process parameters along the surface of heat transfer and the local features of the processes of heat and mass transfer in the channels of PHEs with plates of various geometric forms of corrugation. It consists of a system of ordinary differential equations with significantly nonlinear right-hand sides. The entire system of differential equations is given in this paper. In the mathematical model, generalized correlations of the coefficient of friction and heat and mass transfer coefficients are used. The software for its solution by the method of finite differences is developed. The adequacy of the model is confirmed by comparison with the experiment on the condensation of the vapor-air mixture in the model of the PHE channel. Divergences of calculated and measured total thermal loads did not exceed $\pm 2.8\%$ for all tests performed. The data obtained make it possible to draw a conclusion about the satisfactory accuracy of calculations based on the above model of the total thermal capacity of the PHE.

Keywords: integrated technologies, mathematical model, heat exchangers, heat utilization, energy saving, heat exchangers calculation, gas condensation, steam.

Введение. Энергосбережение является одним из наиболее важных направлений модернизации промышленных предприятий, позволяющих снизить себестоимость выпускаемой продукции, сократить потребление дорогостоящих энергоносителей и снизить вредные выбросы в окружающую среду при генерации энергии [1]. Значительное количество энергии, потребляемой в промышленности, теряется в качестве отработанного тепла при сбросе отходящих газовых потоков в окружающую среду. Значительная часть тепла теряется в виде скрытой теплоты конденсирующихся паров, выделяющихся в смеси газов, исходящих после сжигания топлива, после процессов высушивания различных материалов и других выхлопных газов в промышленности [3]. Многие процессы, такие как: извлечение летучих органических соединений, конденсация аммиака при его синтезе. Газы после реакций также включает в себя тепло, которое теряется при его отводе. Для эффективного использования тепла во всех таких случаях существует потребность в теплообменном оборудовании, которое способно эффективно и экономично утилизировать тепловую энергию. Пластинчатый теплообменник (ПТО), как один из

современных эффективных типов компактных теплообменников [11] хорошо соответствует этой цели. Компактная конструкция, состоящая из пакета гофрированных пластин, штампованных из тонкого металлического листа и интенсивный тепло-массообмен в их каналах, позволяет значительно уменьшить площадь, размер и вес теплопередающей поверхности в сравнении с обычными трубчатыми теплообменниками для работы в тех же условиях [2].

Оптимальное применение эффективного теплообменного оборудования во многом определяет не только экономические характеристики отдельных производственных процессов, но и производственных комплексов в целом [15], а также сказывается на объеме инвестиций при реализации таких проектов [6]. Для повышения эффективности применения ПТО в различных областях промышленности в настоящее время все более широко используются современные методы интегрированных технологий, такие как пинч-анализ [21].

© Василенко А. А., Кусаков С. К., Бочарников И. О., Зоренко В. В., Арсеньева О. П. 2018

Это позволило значительно расширить область применения этого оборудования в промышленности [20]. Этому способствовала разработка надежных методов расчета ПТО для однофазных сред с применением математического моделирования [18], а также надежный учет всех особенностей процесса теплопередачи, включая снижение термического сопротивления загрязнений в каналах ПТО [16].

Для успешного экономически обоснованного применения ПТО в процессах рекуперации тепла из газовых смесей необходим надежный метод их расчета и оптимальная конструкция. Процесс конденсации в присутствии неконденсирующихся газов существенно усложняется дополнительным сопротивлением массопереносу конденсирующегося пара к поверхности конденсации, где уже сконденсированная жидкость также создает тепловое сопротивление для отвода тепла к охлаждающей среде. Обзор публикаций, посвященных изучению процессов теплообмена в трубчатых конденсаторах в присутствии не конденсирующегося газа, представлен в работе [8].

Сложность процесса и существенное изменение всех его рабочих параметров вдоль поверхности теплообмена требуют использования математического моделирования процесса для его адекватного описания [10]. Он должен быть дополнен данными экспериментальных исследований процесса с учетом изменения его локальных параметров, особенно когда рассматриваются поверхности с интенсификацией процессов тепло- и массопереноса [7]. В каналах ПТО процесс еще сложнее из-за трехмерной структуры турбулентного потока в каналах. Влияние падения давления во время конденсации в узких каналах может быть гораздо более важным, чем для гладких трубок [14].

Значительное влияние геометрии рифления пластины привело к разработке ряда эмпирических корреляций, применимых для конкретных исследованных коммерческих пластин в ограниченном диапазоне условий процесса [6]. Надлежащее моделирование процессов конденсации в ПТО должно учитывать изменение локальных параметров вдоль поверхности теплообмена с использованием надежных корреляций для теплообмена [2, 13].

В настоящей работе представлена математическая модель конденсации с наличием неконденсирующегося газа в ПТО, учитывающая изменение локальных параметров процесса вдоль поверхности теплообмена. Используются

обобщенные корреляции коэффициента трения и коэффициентов теплообмена. Модель подтверждена экспериментальными результатами для конденсации газовой смеси в модели канала теплообменника.

Разработка математической модели.

Математическая модель ПТО для конденсации пара в присутствии неконденсируемых газов разработана на основе следующих предположений:

1. Соотношения между параметрами процесса на малых частях длины канала одинаковы для любой длины такой же конфигурации.
2. Для условий изменения фазы в середине потока предполагается равновесная концентрация пара. В таких условиях конвективный теплообмен обуславливает изменение температуры газовой фазы, а также образование конденсата в основном потоке.
3. Конденсат смачивает поверхность металла, и образуется пленка конденсата на поверхности пластин.
4. Газопаровая смесь рассматривается как смесь идеальных газов.
5. Теплообменник имеет один ход для обоих потоков.
6. Все каналы в ПТО работают при одинаковых условиях.
7. Потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь.

На основе анализа тепловых и материальных балансов процесс конденсации пара из его смеси с неконденсирующимся газом в случае противотока с потоком охлаждающей среды может быть описан следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dG_v}{dx} = -\Pi \cdot j_v \tag{1}$$

$$\frac{dG_L}{dx} = \Pi \cdot j_v \tag{2}$$

$$\frac{dt_{cl}}{dx} = -\Pi \cdot q \tag{3}$$

$$\frac{dt_L}{dx} + \frac{dt_{mx}}{dx} + \Pi \cdot j_v \cdot r_v = \Pi \cdot q \tag{4}$$

$$\frac{dt_{mx}}{dx} = \Pi \cdot h_{cv} \cdot (t_{mx} - t_f) \tag{5}$$

$$\tag{6}$$

$$\frac{dP_{mx}}{dx} = \frac{1}{d_e} \cdot \zeta \cdot \frac{\rho_{mx} \cdot W_{mx}^2}{2} \cdot (1 + 2.9 \cdot X_n^{0.46}) - \frac{d}{dx} \left(\frac{\rho_{mx} \cdot W_{mx}^2}{2} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{\rho_{mx} \cdot g \cdot x}{2} \right)$$

Здесь G_v и G_L – массовые расходы пара и жидкого конденсата в одном канале, кг/с; t_{cl} , t_L , t_{mx} и t_f – температуры охлаждающей среды, жидкой фазы, газо-паровой смеси и поверхности пленки конденсата,

соответственно, °C; P_{mx} – давление парогазовой смеси, Па; q – удельный тепловой поток через поверхность теплообмена, Вт/м²; j_v – удельный массовый поток конденсирующегося пара на поверхность конденсации, кг/м²; r_v – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; h_{cv} – коэффициент конвективного теплообмена в газовой фазе, Вт/(м²К); ρ_{mx} – плотность парогазовой смеси, кг/м³; W_{mx} – скорость парогазовой смеси, м/с; Π – периметр канала, м; x – координата вдоль длины канала, м; d_e – эквивалентный диаметр канала, м; X_{tt} – параметр Локкарта-Мартинелли для турбулентного режима движения обеих фаз, определяемый следующим уравнением:

$$X_{tt} = \sqrt{dP_L/dP_G} \quad (7)$$

где dP_L и dP_G это изменения давления в канале, рассчитанные при движении в нем только жидкой или только газовой фазы, рассчитанные по уравнениям гидравлического сопротивления каналов ПТО при движении однофазного потока, Па.

Помимо дифференциальных уравнений существуют алгебраические уравнения, связывающие разные переменные. Соотношения между давлением насыщенного пара и его температурой $P_{sat}=P_{sat}(t)$ и $t_{sat}=t_{sat}(P)$ определяются согласно литературным данным. Температура поверхности пленки конденсата:

$$t_f = t_{cl} + q \cdot \left(\frac{1}{h_{cl}} + \frac{\delta_{wl}}{\lambda_{wl}} + \frac{1}{h_L} \right) \quad (8)$$

где δ_{wl} – толщина стенки пластины, м; λ_{wl} – теплопроводность металла пластин, W/(м К); h_L – коэффициент теплопередачи пленки от жидкой пленки к стенке. h_L определяется следующим уравнением, представленным Арсеньевой и др. (2011a):

$$h_L = \frac{\lambda_L}{d_e} Nu^* \cdot \left[1 + x_{tp} \cdot \left(\frac{\rho_L}{\rho_{mx}} \right) \right]^{0.48} \quad (9)$$

где λ_L – теплопроводность конденсированной жидкости, W/(м К); ρ_L – плотность жидкости, кг/м³; x_{tp} – качество массового пара; Nu^* – число Нуссельта для жидкости, протекающей в канале с общим расходом двух фаз.

Парциальное давление пара на поверхности жидкой пленки определяется для условий насыщения:

$$P_{vf} = P_{sat}(t_f) \quad (10)$$

Массовая доля пара на поверхности жидкой пленки:

$$y_{vf} = \left(\frac{P_{mx} - P_{vf}}{P_{vf}} \cdot \frac{M_g}{M_v} + 1 \right)^{-1} \quad (11)$$

где M_v и M_g – молярные массы

неконденсирующегося газа и пара, соответственно, кг/кмоль (для пара $M_v = 18.015$ кг/кмоль, для воздуха $M_g = 28.96$ кг/кмоль).

Массовая доля пара в ядре потока:

$$y_{vb} = \frac{G_v}{G_v + G_g} \quad (12)$$

Парциальное давление пара в ядре потока:

$$P_{vb} = \frac{P_{mx}}{\frac{M_v}{M_g} \cdot \frac{G_g}{G_v} + 1} \quad (13)$$

Здесь G_g – расход не конденсирующегося газа в канале, кг/с.

Температура насыщения в ядре потока:

$$t_{satb} = t_{sat}(P_{vb}) \quad (14)$$

При решении уравнения (5) должно выполняться условие:

$$t_{mx} \geq t_{sat}(P_{vb}) \quad (15)$$

Поперечный массовый поток конденсирующегося пара к поверхности конденсации:

$$j_v = \beta_D \cdot (y_{vb} \cdot \rho_{mx} - y_{vf} \cdot \rho_{mxf}) \quad (16)$$

Коэффициенты теплоотдачи h_{cv} и массопереноса β_D определяются с использованием аналогии тепло- и массопереноса с учетом влияния поперечного потока массы в каналах ПТО согласно [13].

$$h_{cv} = (\lambda_{mx} / d_e) \cdot \Psi_H \cdot Nu_0 \quad (17)$$

$$\beta_D = (D_D / d_e) \cdot \Psi_D \cdot Nu_{D0} \quad (18)$$

где λ_m – теплопроводность газо-паровой смеси W/(м К); D_D – коэффициент диффузии, м²/с.

(19)

Относительные законы тепло- и массопереноса:

$$\Psi_{H(D)} = 4 \cdot (1 + 0.85 \cdot b_{H(D)}) \cdot (1 + \sqrt{\rho_{mx} / \rho_{mf}})^{-2}$$

Здесь b_H и b_D – тепловой и диффузионный параметры:

$$b_H = \frac{c_{pv}}{c_{pmx}} \cdot \frac{j_v \cdot Re_{mx} \cdot Pr_{mx}}{\rho_{mx} \cdot W_{mx} \cdot Nu_0} \quad b_D = \frac{j_v \cdot Re_{mx} \cdot Pr_D}{\rho_{mx} \cdot W_{mx} \cdot Nu_{D0}} \tag{20}$$

Числа Нуссельта при отсутствии влияния поперечного массового потока определяются по уравнению для однофазного потока в основном гофрированном поле каналов ПТО, представленного в работе [9]:

$$Nu_{0(D)} = 0.065 \cdot Re^{6/7} \cdot \left(\psi \cdot \zeta / F_x \right)^{3/7} \cdot Pr_{(D)}^{0.4} \tag{21}$$

где доля потерь на трение в общих потерях давления определяется по формуле работы Арсеньевой и др. (2012):

$$\psi = \left(Re / A \right)^{-0.15 \cdot \sin(\beta)} \quad \text{at } Re > A; \psi = 1 \quad \text{at } Re \leq A \quad \text{where } A = 380 / [tg(\beta)]^{1.75} \tag{22}$$

Коэффициент трения определяется следующим эмпирическим уравнением, предложенным Арсеньевой и др. (2011):

$$\zeta = 8 \times \left[\left(\frac{12 + p2}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^3} \right]^{1/12} \tag{23}$$

$$A = \left[p4 \cdot \ln \left(\frac{p5}{\left(\frac{7 \cdot p3}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \cdot 10^{-5}} \right) \right]^{16}; \quad B = \left(\frac{37530 \cdot p1}{Re} \right)^{16}$$

где $p1, p2, p3, p4, p5$ являются параметрами, определенными в соответствии с формами гофрировки пластин следующим образом:

$$p1 = \exp(-0.157 \cdot \beta); p2 = \frac{\pi \cdot \beta \cdot \gamma^2}{3}; p3 = \exp\left(-\pi \cdot \frac{\beta}{180} \cdot \frac{1}{\gamma^2}\right); p5 = 1 + \frac{\beta}{10}; \tag{24}$$

$$p4 = \left(0.061 + \left(0.69 + tg\left(\beta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)^{-2.63} \right) \cdot (1 + (1 - \gamma) \cdot 0.9 \cdot \beta^{0.01})$$

Здесь $\gamma = 2b/S$ – коэффициент гофрирования равный отношению удвоенной высоты к шагу гофров; β – угол наклона гофр к продольной оси пластины, градусы; Re – число Рейнольдса, рассчитанное для эквивалентного диаметра канала, определенного как $de = 2b$; F_x – коэффициент увеличения площади, равный отношению фактической площади теплопередачи пластины к площади ее проекции в плане.

Уравнения (19)–(24) также используются для расчета теплопередачи и падения давления в однофазном потоке охлаждающей среды при расчете по уравнениям (6) и (9). Это позволяет учитывать в математической модели влияние геометрии гофрировки пластин на интенсивность процесса.

Уравнения (1)–(24), дополненные соотношениями для зависимостей от температуры и давления теплофизических свойств сред и геометрическими соотношениями для канала ПТО,

могут быть представлены как система обыкновенных дифференциальных уравнений с нелинейными правыми частями.

Аналитическое решение этой системы невозможно, и численное решение реализовано как программа для ПК с использованием программного обеспечения Mathcad. Используется метод конечных разностей.

Проверка адекватности модели и обсуждение результатов. Результаты расчетов по разработанной математической модели

сравниваются с данными экспериментов, проведенных для конденсации пара из паровоздушной смеси в образце канала ПТО. Экспериментальная модель состояла из четырех гофрированных пластин, сваренных вместе в один пакет с образованием трех каналов. Насыщенная паровоздушная смесь направляется в центральный канал. Там она охлаждается водой, протекающей в двух наружных каналах, теплоизолированных на внешней поверхности наружных пластин. Температуры паровоздушной смеси и охлаждающей воды измерялись с помощью медно-константановых термопар с точностью $\pm 0,1$ °C. Температуры измеряются на входе и выходе потоков и в семи точках вдоль длины канала. Давление паровоздушной смеси измеряется на входе и выходе канала с точностью $\pm 0,005$ бар при помощи манометров. Расход охлаждающей воды измеряется расходомером. Точность измерения $\pm 1\%$. Расход воздуха перед его смешиванием с паром измеряется ротаметрами с минимальной точностью $\pm 2\%$. Массовый расход конденсата измеряется объемным методом с точностью $\pm 1\%$.

Массовый расход пара рассчитывается как сумма расхода конденсата и расхода пара, выходящего из канала с выходящей паровоздушной смесью в условиях насыщения. Образец канала имеет длину 1 метр с шириной 0,225 м. Высота гофров составляет $b = 5$ мм,

толщина пластин $\delta = 1$ мм, угол наклона гофра к продольной оси пластины $\beta = 60^\circ$, коэффициент гофрирования $\gamma = 0,556$ и коэффициент увеличения площади $F_x = 1,15$. Экспериментальное исследование включало 48 испытаний с различными условиями конденсации газопаровой смеси. Абсолютное давление варьировалось от 2,95 до 1,02 бар; объемная доля воздуха в поступающей смеси от 3% до 71%; локальная скорость смеси от 45 до 4 м / с; температура смеси от 88 до 115 °C; температура охлаждающей воды от 24 до 71 °C.

Расчеты параметров процесса по разработанной математической модели выполнялись на основе условий испытаний с заданными расходами потока пара, воздуха, охлаждающей воды. Температуры и давления входящей газопаровой смеси, а также температура выхода охлаждающей воды задавались в соответствии их экспериментальными значениями. Результаты расчетов сравниваются с результатами испытаний по разработанной модели. Расхождения расчетных и измеренных общих тепловых нагрузок не превышали $\pm 2,8\%$ для всех испытаний. Различия в температуре выходящей газопаровой смеси были не больше $\pm 2,5$ °C. Это позволяет сделать вывод об удовлетворительной точности расчетов по модели общей тепловой производительности ПТО.

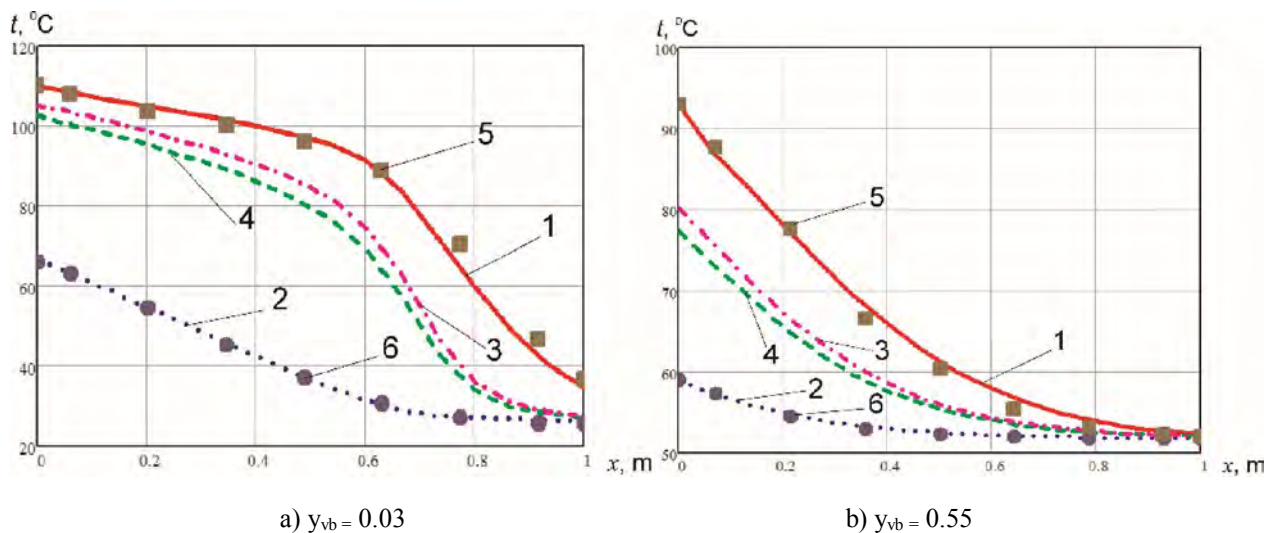


Рисунок 1 – Распределение температур в канале ПТО. Расчетные кривые: 1 – воздушно-паровая смесь; 2 – охлаждающая вода; 3 – пленка конденсата; 4 – стенка. Экспериментальные точки: 5 – воздушно-паровая смесь; 6 – охлаждающая вода.

На рис. 1 представлены результаты расчета локальных температур в каналах ПТО для двух испытаний с различным содержанием воздуха в поступающей смеси с паром. Точность расчета локальной температуры газопаровой смеси не менее $\pm 3,1$ °C. Наибольшие расхождения отмечены на участках близких к концу канала в случае низкого содержания газа на входе, когда большая часть пара

конденсируется, и относительные ошибки в вычислении оставшихся небольших количеств пара становятся более значительными. Это показывает важность расчетов по локальным параметрам для процесса со значительным изменением всех его характеристик по длине канала. Такая особенность очень важна при расчетах ПТО для утилизации тепла газообразных потоков и оптимизации стоимости

ПТО в случаях, подобных рассмотренных в статье [3]. Учет влияния параметров гофрирования на производительность ПТО также делает модель важным инструментом для оптимизации геометрий пластин ПТО для использования в процессах конденсации в присутствии неконденсирующихся газов.

Выводы. Расчеты ПТО для использования тепла конденсируемых газопаровых потоков требуют учета изменений локальных параметров процесса вдоль поверхности теплообмена. Это возможно с помощью предлагаемой математической модели, представленной системой обыкновенных дифференциальных уравнений с сильной нелинейностью. Для решения системы уравнений математической модели используется численный метод конечных разностей, реализованный на ПК. Адекватность модели подтверждена сравнением с экспериментальными данными для конденсации паровоздушной смеси в образце канала ПТО. Математическая модель учитывает влияние геометрии пластин на интенсивность процесса и может быть использована для оптимизации геометрии пластин ПТО при их применении для утилизации тепла конденсируемых газопаровых потоков в промышленности.

Список литературы

- Капустенко П. А., Кузин А. К., Макаровский Е. Л., Тovaжнянский Л. Л., Ульев Л. М., Черная Е. Б., 2004. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы. ООО Издательский дом «Вокруг цвета».
- Tovazhnyansky L. L., Kapustenko P. A., Khavin G. L., Arsenyeva O. P., 2004. Пластинчатые теплообменники в промышленности. Харьков: НТУ ХПИ.
- Arsenyeva O.P., Čuček L., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Savchenko Y.A., Kusakov S.K., Matsegora O.I., 2016. Utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process, *Front. Chem. Sci. Eng.* 10 (1) (2016) 131–138.
- Arsenyeva O.P., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Demirskiy, O.V., 2012. Heat transfer and friction factor in criss-cross flow channels of plate-and-frame heat exchangers. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 46(6), 634-641.
- Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Perevertaylenko O., Khavin, G., 2011a. Investigation of the new corrugation pattern for low pressure plate condensers. *Applied Thermal Engineering*, 31(13), 2146-2152.
- Eldeeb R., Aute, V., Radermacher R., 2016. A survey of correlations for heat transfer and pressure drop for evaporation and condensation in plate heat exchangers. *International Journal of Refrigeration*, 65, 12-26.
- Famileh, I.Z. and Esfahani, J.A., 2017. Experimental investigation of wet flue gas condensation using twisted tape insert. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, pp.1466-1480.
- Huang J., Zhang J. and Wang L., 2015. Review of vapor condensation heat and mass transfer in the presence of non-condensable gas. *Applied thermal engineering*, 89, 469-484.
- Kapustenko P., Arsenyeva O., Dolgonosova O., 2011. The heat and momentum transfers relation in channels of plate heat exchangers, *Chemical Engineering Transactions*. 25, 357-362.
- Kharangate C.R., Mudawar, I., 2017. Review of computational studies on boiling and condensation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 1164-1196.
- Klemeš J. J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L., 2015. Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Nagorna O.G., Perevertaylenko O.Y., 2004. The simulation of multicomponent mixtures condensation in plate condensers. *Heat transfer engineering*, 25(5), 16-22.
- Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., 1989. Теоретические основы расчета и разработка сварных пластинчатых холодообменников для агрегатов синтеза аммиака. *Химическая промышленность*, 8, 17-22.
- Wang L.K., Sunden B., Yang Q.S., 1999. Pressure drop analysis of steam condensation in a plate heat exchanger. *Heat Transfer Engineering*, 20(1), 71-77.
- Boldyryev, S., Varbanov, P.S., Nemet, A., Klemeš, J.J. and Kapustenko, P., 2014. Minimum heat transfer area for Total Site heat recovery. *Energy conversion and management*, 87, 1093-1097.
- Gogenko, A.L., Anipko, O.B., Arsenyeva, O.P. and Kapustenko, P.O., 2007. Accounting for fouling in plate heat exchanger design. *Chemical Engineering Transactions*. 12, 207-212.
- Nemet, A., Boldyryev, S., Varbanov, P.S., Kapustenko, P.O. and Klemeš, J.J., 2012. Capital cost targeting of total site heat recovery. *Chemical Engineering Transactions*, 29, 1447-1452.
- Arsenyeva, O.P., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko, P.O. and Khavin, G.L., 2009. Mathematical modelling and optimal design of plate-and-frame heat exchangers. *Chemical Engineering Transactions*, 18, 791-796.
- Arsenyeva, O.P., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko, P.O. and Khavin, G.L., 2011b. The Generalized Correlation for Friction Factor in Criss-cross Flow Channels of Plate Heat Exchangers. *Chemical Engineering Transactions*, 25, 399-404.
- Kapustenko, P., Boldyryev, S., Arsenyeva, O. and Khavin, G., 2009. The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), 951-958.
- Клемеш, Й., Костенко, Ю.Т., Тovaжнянский, Л.Л., Капустенко, П.А., Ульев, Л.М., Перевертайленко, А.Ю. and Зулин, Б.Д., 1999. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки. *Теорет. основы хим. технологии*, 33(4), 420-431.

Bibliography (transliterated)

- Kapustenko P.O., Kuzin A. K., Makarovskiy E. L., Tovazhnyansky L.L., Ulyev L. M., Chernaya E. B., 2004. *Alternativnaya energetika I energosberezhenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivi*. ООО Izdatelskiy dom «Vokrug tsveta».
- Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Khavin G. L., Arsenyeva O. P., 2004. *Plastinchatyie teploobmenniki v promyshlennosti*. Harkov: NTU HPI.

3. Arsenyeva O.P., Čuček L., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Savchenko Y.A., Kusakov S.K., Matsegora O.I., 2016. Utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process, *Front. Chem. Sci. Eng.* 10 (1) (2016) 131–138.
4. Arsenyeva O.P., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Demirskiy, O.V., 2012. Heat transfer and friction factor in criss-cross flow channels of plate-and-frame heat exchangers. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 46(6), 634-641.
5. Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Perevertaylenko O., Khavin, G., 2011. Investigation of the new corrugation pattern for low pressure plate condensers. *Applied Thermal Engineering*, 31(13), 2146-2152.
6. Eldeeb R., Aute, V., Radermacher R., 2016. A survey of correlations for heat transfer and pressure drop for evaporation and condensation in plate heat exchangers. *International Journal of Refrigeration*, 65, 12-26.
7. Famileh, I.Z. and Esfahani, J.A., 2017. Experimental investigation of wet flue gas condensation using twisted tape insert. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, pp.1466-1480.
8. Huang J., Zhang J. and Wang L., 2015. Review of vapor condensation heat and mass transfer in the presence of non-condensable gas. *Applied thermal engineering*, 89, 469-484.
9. Kapustenko P., Arsenyeva O., Dolgonosova O., 2011. The heat and momentum transfers relation in channels of plate heat exchangers, *Chemical Engineering Transactions*. 25, 357-362.
10. Kharangate C.R., Mudawar, I., 2017. Review of computational studies on boiling and condensation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 1164-1196.
11. Klemeš J. J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L., 2015. *Compact Heat Exchangers for Energy Transfer Intensification: Low Grade Heat and Fouling Mitigation*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
12. Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Nagorna O.G., Perevertaylenko O.Y., 2004. The simulation of multicomponent mixtures condensation in plate condensers. *Heat transfer engineering*, 25(5), 16-22.
13. Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., 1989. Theoretical foundations for design and development of welded plate cold exchangers for ammonia synthesis units. *Chemical Industry (Khimicheskaya promyshlennost)*, 8, 17-22. (In Russian).
14. Wang L.K., Sunden B., Yang Q.S., 1999. Pressure drop analysis of steam condensation in a plate heat exchanger. *Heat Transfer Engineering*, 20(1), 71-77.
14. Wang L.K., Sunden B., Yang Q.S., 1999. Pressure drop analysis of steam condensation in a plate heat exchanger. *Heat Transfer Engineering*, 20(1), 71-77.
15. Boldyryev, S., Varbanov, P.S., Nemet, A., Klemeš, J.J. and Kapustenko, P., 2014. Minimum heat transfer area for Total Site heat recovery. *Energy conversion and management*, 87, 1093-1097.
16. Gogenko, A.L., Anipko, O.B., Arsenyeva, O.P. and Kapustenko, P.O., 2007. Accounting for fouling in plate heat exchanger design. *Chemical Engineering Transactions*. 12, 207-212.
17. Nemet, A., Boldyryev, S., Varbanov, P.S., Kapustenko, P.O. and Klemeš, J.J., 2012. Capital cost targeting of total site heat recovery. *Chemical Engineering Transactions*, 29, 1447-1452.
18. Arsenyeva, O.P., Tovazhnyansky, L.L., Kapustenko, P.O. and Khavin, G.L., 2009. Mathematical modelling and optimal design of plate-and-frame heat exchangers. *Chemical Engineering Transactions*, 18, 791-796.
19. Arsenyeva, O.P., Tovazhnyansky, L.L., Kapustenko, P.O. and Khavin, G.L., 2011b. The Generalized Correlation for Friction Factor in Criss-cross Flow Channels of Plate Heat Exchangers. *Chemical Engineering Transactions*, 25, 399-404.
20. Kapustenko, P., Boldyryev, S., Arsenyeva, O. and Khavin, G., 2009. The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), 951-958.
21. Klemes, J., Kostenko, Y.T., Tovazhnyanskii, L.L., Kapustenko, P.A., Ul'ev, L.M., Perevertaylenko, A. and Zulin, B.D., 1999. The Pinch Design Method for Energy-Saving Oil-Refining Plants. *Theoretical foundations of chemical engineering*, 33(4), pp.379-390.

Поступила (received) 18.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Василенко Олександр Анатолійович (Василенко Александр Анатольевич, Vasilenko Aleksandr. Anatolevich) – аспірант кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4054-6588>; e-mail: kirgleb1969@gmail.com

Кусаков Сергій Константинович (Кусаков Сергей Константинович, Kusakov Sergey Konstantinovich) – аспірант кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7192-7784>; e-mail: sergey.kusakov@gmail.com

Бочарніков Ігор Олександрович (Бочарников Игорь Александрович, Bocharnikov Igor Olexandrovich) – аспірант кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9425-6730>, e-mail: kap@kpi.kharkov.ua

Зоренко Віктор Володимирович (Зоренко Виктор Владимирович, Zorenko Viktor Volodymirovich) – інженер-електрик, «АО Співдружність-Т», ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9425-6730>, e-mail: kap@kpi.kharkov.ua

Арсеньєва Ольга Петрівна (Арсеньева Ольга Петровна, Arsenyeva Olga Petrovna) – д.т.н. проф. кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9013-6451>; e-mail: o.p.arsenyeva@gmail.com

УДК 378.65.011.56

С. І. БУХКАЛО**СИНЕРГЕТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОБЕЗПЕЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ІДЕНТИФІКАЦІЇ-КЛАСИФІКАЦІЇ ВТОРИННИХ ПОЛІМЕРІВ**

В статті наведені можливості вирішення деяких задач у межах підвищення ефективності використання твердих побутових відходів та відходів різних галузей промисловості на комплексному підприємстві, яке може забезпечувати усі свої енергетичні потреби самостійно. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань як організація збирання і транспортування відходів, їх ідентифікація та методи контролю якості; вибір науково-обґрунтованих методів переробки та утилізації полімерів як частки твердих побутових відходів; розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки відходів; вибір підприємств для утилізації полімерів і виду енергетичних ресурсів для реалізації цих проектних рішень. Можливість рециклінгу представлена для комплексних проектів студентів на прикладах переробки поліетиленової плівки методами хімічного зпінювання, введенням перекису дикумила або різновидів речовин для модифікації властивостей вторинного поліетилену.

Ключові слова: комплексні енерготехнології, тара та пакування, екологічна безпека, науково-обґрунтовані методи, переробка та утилізація.

С. И. БУХКАЛО**СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ
ИДЕНТИФИКАЦИИ-КЛАСИФИКАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ**

В статье приведены возможности решения некоторых задач с целью повышения эффективности использования твердых бытовых отходов и отходов различных отраслей промышленности на комплексном предприятии, которое может обеспечивать все свои энергетические потребности самостоятельно. Для решения поставленных задач выбраны синергетические модели экологически безопасных процессов идентификации-классификации вторичных полимеров. Исследования направлены на изучение таких вопросов, как организация сбора и транспортировки отходов, их идентификация и методы контроля качества; выбор научно-обоснованных методов переработки и утилизации полимеров как части твердых бытовых отходов; разработка необходимых технологических схем и оборудования для переработки отходов; выбор предприятий для утилизации полимеров и вида энергетических ресурсов для реализации этих проектных решений.

Ключевые слова: комплексные энерготехнологии, тара и упаковка, экологическая безопасность, научно-обоснованные методы, переработка и утилизация.

S. I. BUKHALO**SYNERGETIC MODELS FOR ENVIRONMENTALLY SAFE PROCESSES OF IDENTIFICATION-
CLASIFICATION OF SECONDARY POLYMERS**

The materials are presented the possibilities of solving problems of improving the use of wastes of different industries on a complex enterprise that can provide all its energy needs alone. The problem of wastes utilization and recycling is present as complex research and analysis of energy- and resource saving processes for treatment of polymer wastes of various origin. The investigation are focused in researching such problems as organization of waste collection, transportation and identification of wastes according to adapted polymers classification; selection of scientific based methods of wastes to be utilized or recycled; the development of appropriated process flow sheets and choice of modifications additives and equipment for polymers waste recycling. The recycling technic is demonstrated on examples of recycling the polyethylene film by chemical foaming and injection moulding methods. The choice of appropriate plants with selected energy resources is very important for projects realization.

Keywords: integrated energy technologies, packaging, evidence-based methods, ecological safety, wastes recycling-modification.

Вступ. Сучасні негативні екологічні зміни в світі та українській державі ставлять нові завдання утилізації твердих побутових відходів (ТПВ). Цьому питанню у всіх країнах з розвиненим виробництвом і споживанням різновидів полімерів приділяється велика увага [1–12]. Найбільша частка виробництва й споживання полімерів належить поліолефінам [1–4], особливо поліетилену. З широко розповсюджених методів утилізації полімерної частки ТПВ (яка на сьогодні тільки частково виділяється у деяких країнах, що усвідомлюють її небезпеку) відходів найбільш перспективним є напрям одержання й переробки різновидів вторинної сировини з відходів. На основі вивчення властивостей відходів різного походження, їхнього складу й можливості організованого збору [2, 5] можливо розширити сировинну базу для виробництва виробів з поліетилену й підвищити ефективність його використання в народному господарстві [4–8]. А це, в

свою чергу, потребує вирішення інноваційних проблем щодо розвитку наукового підґрунтя і практичних аспектів управління синергетичним екологічнобезпечним процесом, перш за все, ідентифікації-класифікації полімерної частки ТПВ на стадії її утворення, збирання та зберігання.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Процес автоокислення вуглеводнів представлений у загальному вигляді без зв'язку з особливостями експлуатації полімерних виробів у натурних умовах за думкою багатьох авторів характеризується трьома стадіями: періодом індукції, якій відповідає стадія зародження ланцюгів; періодом, прискорення, якому відповідають стадії росту ланцюгів; періодом сповільнення, що відповідає стадії обриву ланцюгів [11, 15].

© Бухкало С.І., 2018

Відповідно до зміни властивостей полімеру, підрозділяють ці процеси на агрегативні, пов'язані із процесами зшивки, і деструктивні, пов'язані з розпадом макромолекул на більше дрібні фрагменти [66, 68]. Основою екологічної безпеки у технологіях поводження з полімерними відходами, на наш погляд, є створення нової ефективної науково-обґрунтованої, маловідходної або безвідходної технології утилізації, котра дозволяє одержувати цільові продукти для хімічної промисловості та енергоносії, а з системи мають виводитися тільки продукти, що складають біосферу. Такі інноваційні технології дозволять вирішувати два взаємозалежні завдання: 1) екологічна безпека утилізації частини ТПВ з урахуванням ресурсо- і енергозбереження, і 2) економічна доцільність, з урахуванням соціальної ефективності, що дозволяє інтенсивно розвивати галузі промисловості.

Метою представленою у статті наукового дослідження є підвищення конкурентоспроможності у сфері поводження з ТПВ на світовому ринку шляхом розробки та впровадження інноваційних синергетичних моделей, методів, механізмів, технологій, обладнання й технології управління проектами та програмами її гармонізації у світовий освітній процес. Першим кроком оцінки ризику ідентифікації-класифікації полімерної частки ТПВ є виявлення найбільш серйозних джерел небезпеки (факторів ризику) та їх ранжування з метою визначення реальної загрози для людини та навколишнього середовища. Для ідентифікації небезпеки важливі прийоми апробації, відбору, моделювання поведінки різних хімічних сполук у середовищі, моніторингу та діагностики. При цьому першим постає питання – що являє собою ця небезпека. Причини небезпеки поводження з ТПВ варто шукати не тільки на мікро-, а й на макрорівні, аналізуючи весь комплекс протиріч, які виникають у народному господарстві та пов'язані з глибокою кризою в економіці, що супроводжується кризою практично в усіх сферах життя суспільства. Аналіз

ризиків в екології включає такі етапи дослідження, наприклад, 1) вивчення ефектів впливу різних факторів на навколишнє середовище, що полягає в аналізі реакцій організмів, популяцій, екологічних систем на численні взаємодії у різних середовищах і наслідків від цієї взаємодії (хвороби, смерть окремих організмів, популяцій, екосистем); 2) кількісна оцінка ризику (етап математичного моделювання), яка є ймовірною характеристикою цієї загрози, що виникає для навколишнього середовища при можливих антропогенних забрудненнях; 3) математичне моделювання екологічних процесів і систем з метою аналізу ризику [15]. При оцінці екологічного ризику необхідно мати на увазі, що основою екологічних систем є термодинамічні структури, які можуть утворюватися та зберігатися без порушення другого закону термодинаміки [17]. Структура, функції та еволюція екосистем, що вміщують хімічні сполуки, залежать від обміну речовин та енергії з навколишнім середовищем, а також від зв'язків між процесами, які збільшують або зменшують ентропію всередині даної екосистеми [15]. При незворотних процесах характеристика будь-якої структури залежить від певних умов, а їх розвиток відбувається якісними стрибками (фазовими переходами), які відповідають проходженню певних порогових значень [15]. Зростанню локальної ентропії сприяють і хімічні перетворення речовин, причому швидкість процесів є нелінійною функцією. Очевидно, що для побудови математичних моделей оцінки ризику екологічних систем, необхідно ввести нелінійність і досліджувати їх на основі базових характеристик: ієрархічність, нелінійність, відкритість, нерівноважність, управління ризиком і т.п. На цьому етапі також визначаються еколого-економічні позиції допустимих навантажень на область, регіон з урахуванням економічних аспектів, у тому числі співвідношень витрати-вигода. Особливість цього етапу з точки зору класифікації-ідентифікації полімерної частки ТПВ має велику різноманітність (табл. 1 та 2).

Таблиця 1 – Класифікація-ідентифікація полімерної частки ТПВ

Спеціальні показники в межах конкретного класу полімерної частки ТПВ	
1	Визначення вузькоспеціальних критеріїв організації збору та ідентифікації за маркуванням
2	Визначення вузькоспеціальних властивостей різновидів полімерів після завершення процесу експлуатації
3	Визначення нових властивостей вторинних полімерів після завершення процесів експлуатації
4	Визначення нових методів контролю властивостей полімерів після завершення процесів експлуатації
5	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів багаторазової переробки
6	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів утилізації-модифікації
7	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів з введеними добавками-поліпшувачами
8	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів різновидів спінування
9	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів з суміші полімерів
10	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів з реактопластів
11	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів з полімерної тари та пакування
12	Визначення синергетичних процесів для вторинних полімерів у якості енергоресурсів
13	Вибір науково-обґрунтованих актуальних синергетичних напрямків та методів для регіонів України
14	Визначення граничних умов моделювання та оптимізації вищевказаних синергетичних процесів
15	Визначення ефективності проектів

Таблиця 2 – Класифікація-ідентифікація полімерної частки ТПВ

Універсальні додаткові показники для різновидів полімерної частки ТПВ	
1	Вузькоспеціальні міжгалузеві зв'язки за цільовими функціями
2	Визначення структурних змін полімерів після процесів експлуатації
3	Визначення нових реологічних властивостей полімерів після процесів експлуатації
4	Визначення нових фізико-хімічних властивостей полімерів після процесів експлуатації
5	Визначення нових фізико-механічних властивостей полімерів після процесів експлуатації
6	Визначення нових теплофізичних властивостей полімерів після процесів експлуатації
7	Визначення критеріїв оцінювання нових властивостей полімерів після процесів експлуатації
8	Визначення асортименту вторинних полімерів у якості сировини переробної галузі
9	Екологічна безпека для нових сировинних та енергоресурсів
10	Менеджмент взаємозв'язків галузей синергетичних напрямків та методів для України
11	Маркетинг взаємозв'язків галузей синергетичних напрямків та методів для України
12	Соціальні взаємозв'язки синергетичних напрямків та методів для України
13	Комунікативні взаємозв'язки залежно від факторів розвитку регіонів
14	Громадські та життєві функції вторинної сировини регіонів і т.д.

Нами також розроблено наукове підґрунтя стратегії, еволюції та розвитку взаємозв'язків синергетичних процесів утилізації-модифікації, полімерної частки ТПВ з урахуванням стадії ідентифікації-класифікації, проаналізовані отримані нами результати експериментальних [1, 4, 5]

досліджень особливостей експлуатації полімерної тари та пакування, визначено характеристики усіх складових ідентифікації-класифікації цих процесів: зміна їх структури, властивостей, можлива дії на організм людини, подальша утилізація-модифікація і т.і. (рис. 1).



Рис. 1 – Загальна функціональна схема критеріїв впливу у комплексному проєкті

Розвиток всіх окисних процесів відбувається з поверхні, впровадження кисню вглиб матеріалу визначається швидкістю дифузії кисню в полімери. Наявність у поверхневому шарі поліетилену або інших поліолефінів речовин, що легко вступають у взаємодію з радикалами, перешкоджає розвитку ланцюгових реакцій.

Але визначені деякі можливості окремих хімічних реакцій різними дослідниками не представляють можливим виявити навіть які з кисневмісних груп відповідальні за зміну структури й властивостей вторинного поліетилену залежно від строків експлуатації, тобто науково обґрунтувати у цілому механізми змін. Викладені дані дають неповні відомості про механізм фото- і термоокислювальної деструкції поліетилену. Велике значення має

визначення типу функціональних груп, що відповідають за визначену тривалість експлуатації і їхнє подальше перетворення. Нами не тільки показано, а й доведено різновидами наукових досліджень що окислювання поліетилену відбувається переважно в аморфній фазі полімеру (табл. 3 та 4), а зміна фізико-механічних властивостей відповідає характеру структурно-хімічних перетворень при фотоокислюванні у натурних умовах експлуатації. Експериментально обґрунтована можливість прогнозування терміну служби плівок з поліетилену й вторинного поліетилену. Це дає можливість виявити характер зшивки, але не є достатнім для вибору методу синергетичної хімічної модифікації.

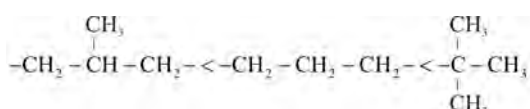
Таблиця 3 – Зміна кількості фізико-хімічних та структурних властивостей поліетиленової плівки у процесі експлуатації

Час експлуатації, діб	Кількість киснеутримуючих груп, %				Вміст гельфракції, %
	Гідроксильних	Карбоксильних	Складноэфірних	Сума	
0	0	0	0	0	0,35
30 лето	0,215	0,152	0,570	0,937	32,9
62 лето	0,194	0,306	1,530	2,030	35,3
97 лето	0,286	1,076	0,870	2,232	36,7
128 лето	0,443	1,150	0,190	1,780	34,8
30 осень	0,240	1,060	0,050	0,350	11,6
60 осень	0,250	0,080	0,400	0,370	14,5
90 осень	0,260	0,250	0,120	0,600	17,8

Таблиця 4. Зміна кількості ненасичених груп та молекулярної маси в поліетиленовій плівці у процесі експлуатації

Час експлуатації, діб	Вміст ненасичених груп на 100 атомів вуглецю					Молекулярна маса $\times 10^{-3}$
	Вінільна	Вініліденова	Трансвініленова	Підсумок	Метильна	
0	0,0142	0,0974	0,0113	0,1230	5,6720	46
30 літо	0,0192	0,0620	0,0125	0,0940	5,0910	44
62 літо	0,0583	0,0558	0,0290	0,1430	4,5210	43
128 літо	0,1385	0,0400	0,0300	0,2085	3,6980	18
30 осінь	0,0164	0,0769	0,0154	0,1087	4,9520	45
90 осінь	0,0111	0,0636	0,0145	0,0892	4,9630	43

Показано авторами, що третинний атом водню легше всього реагує з радикалом. Тому відносна стійкість полімерів поліетиленового ряду може бути оцінена в такий спосіб [11, 12, 15]:



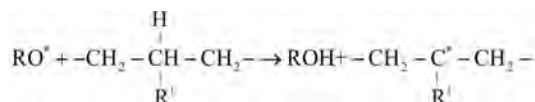
тобто найменш стійкий третинний водень.

Аналіз ряду досліджень [85, 88] показав, що адсорбція кисню відбувається в неупорядкованих областях поверхневого шару, а дифузія кисню відбувається також через неупорядковані області. Це підтверджується порівнянням поглинання кисню зразками поліетилену з різним ступенем кристалічності. Так, підвищення кристалічності з 90 до 98 % знижує поглинання кисню при температурі 100 °C за 1000 годин з 35 до 18 мл/г. Однак, при

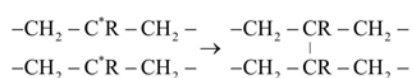
температурі 140 °C швидкість окислювання й ефективність стабілізуючої дії фенолів і ароматичних амінів не залежить від морфологічних особливостей зразків. На думку деяких авторів, це пов'язане з тим, що поблизу цієї температури відбувається повне руйнування надмолекулярної організації – повна аморфізація поліетилену. Але треба відзначити, що для експлуатації поліолефінових виробів у натурних умовах механізм зміни властивостей полімеру тісно пов'язаний також і з утворенням ненасичених (вінільних, вініліденових, трансвініленових) та метильних груп (табл. 4).

Розвитку процесу старіння запобігають з'єднання, що реагують із активними центрами старіння й з порівняно стабільними проміжними продуктами, здатними генерувати при умовах, що змінилися, активні центри. Але для кінцевої стадії експлуатації в жорстких умовах окислювальної та термічної деструкції, поліолефіни, в основному,

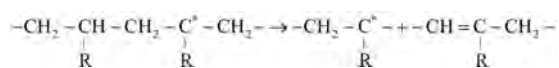
набувають нових синергетичних властивостей вторинних полімерів. Для отримання вторинного поліетилену за рахунок його синергетичних властивостей можна визначити механізм дії процесів зшивання пероксидами [12, 15], який полягає в наступному. Первинним актом є гемолітичний розрив перекису з утворенням вільних радикалів: $\text{ROOR} \longrightarrow 2\text{RO}^*$, ці радикали взаємодіють із воднем ланцюгів поліолефінів і утворюють макрорадикали:



Рекомбінація макрорадикалів веде до поперечної зшивки з утворенням вуглець-вуглецевого зв'язку:



Багаторазова рекомбінація макрорадикалів приводять до просторової зшивки. Разом з тим, макрорадикал, що утворився може почати ланцюг деструкції з утворенням фрагменту з подвійним зв'язком і радикальними фрагментами [11]



Це ускладнює характер процесу зшивки, у якому можуть взяти участь реакційно-здатні групи з подвійним зв'язком. Як відомо [11], вільні радикали мають різну активність. При розкладанні асиметричних перекисів типу $\text{RO-OR}'$ утворюються різні нестабільні радикали. В основному зшивку викликають більш стабільні радикали, що утворюються на другій стадії розкладання продуктів первинного розкладу перекису. Ефективність агента, що зшиває, визначається кількістю поперечних зв'язків, що утворюються в результаті розкладу однієї перекисної групи.

Можливе регулювання властивостей вторинного поліетилену шляхом добавки змачень і стабілізаторів, що приводить до збільшення плинності розплаву частково окисленого поліетилену, а також збільшенню його стійкості до старіння [11, 12]. При виборі змачення [11] звичайно враховується наступне: металеві мила, стеарати металів, мало сумісні з поліолефінами й діють як зовнішні змачення; довголанцюгові жирні кислоти, спирти й аміді, сумісні з полімерами, що мають полярні групи й, у цьому випадку, можуть служити внутрішніми змаченнями, але вони мало сумісні з первинними поліолефінами. Для вищевказаних процесів з використанням змачень необхідно збалансувати внутрішні й зовнішні ефекти, а також можливість розшарування й забруднення встаткування. Важливо враховувати робочі області температур і тисків при переробці для того, щоб передбачити зсув меж сумісності й швидкість

міграції змачення. У літературі [11] описане застосування окису цинку в якості ефективної світло-стабілізуючої добавки до поліетилену низької щільності.

Спінювання для виробів з вторинного поліетилену, як і інших вторинних полімерів, здійснюється шляхом застосування хімічних пороутворювачів з синергетичними властивостями. Це речовини, які деструктують з газоутворенням у певному температурному інтервалі. Найчастіше пороутворювачі застосовуються для вільного спінювання при скиданні тиску. Іншим способом є фізичне спінювання, при якому в розплав полімеру під тиском подають газ або легколеткий розчинник, наприклад, фреон; при виході з області тиску газ, що розширюється, спінює полімер і утворює двофазну систему низької щільності. Застосування пороутворювачів – хімічне синергетичне спінювання зручніше за все при переробці пластмас шляхом пресування. Так можна одержати спінений вторинний поліетилен у вигляді плит. Фізичне спінювання найкраще сполучається з одержанням стрічки або стренг методом екструзії.

Синергетичні хімічні процеси відбуваються при гранулюванні вторинного поліетилену за допомогою додавання різновидів каталізаторів гідролізу складних ефірів, виявлених при наших дослідженнях (табл. 1 і 2). Автори припустили, що зшивка поліетилену й утворення просторово-зшитої гелфракції відбувається в результаті утворення складнофірних містків між ланцюгами. Відоме введення добавок у вторинні полімерні матеріали, спрямоване на регулювання реологічних і ряду експлуатаційних властивостей. Проведено дослідження з поліпшення властивостей вторинних поліолефінів за рахунок введення наповнювачів і спеціально підібраних добавок, що модифікують, і переробці отриманих матеріалів методом високошвидкісної екструзії в режимі стійкого пристінного ковзання

Залежність теплофізичних властивостей від строку експлуатації й молекулярних властивостей поліетилену можна описати наступними положеннями. До теплофізичних властивостей, які застосовуються під час математичного моделювання процесів переробки полімерів, відносять густину, теплопровідність, теплоємність і температуропровідність, а також лінійний та об'ємний коефіцієнти теплового розширення [1–15]. У загальному випадку теплофізичні властивості залежать від його структури, природи і параметрів компонентів, а іноді (особливо для вторинної сировини) і передісторії одержання або переробки як самих матеріалів, так і їх компонентів, які повною мірою врахувати під час аналітичного визначення цих властивостей важко або навіть неможливо [2, 8–15].

Наприклад, теплопровідність залежно від вмісту в них наповнювача у вигляді кулястих частинок визначають за залежністю [17]:

$$\lambda_{wpl} = \lambda_{pl} \left[1 + 3\varphi_n \left(1 + \frac{\varphi_n}{(1 - \varphi_n)/3 + \lambda_{pl}/(\lambda_n - \lambda_{pl})} \right) \right],$$

де λ_{wpl} , λ_{pl} і λ_n – відповідно теплопровідність термопластичного композитного матеріалу, полімеру і наповнювача; φ_n – об’ємна частка наповнювача.

У якості наповнювача для вторинних поліолефінів можна назвати гельфракцію – вона не переходить у стан текучості при умовах переробки полімерної частки ТПВ. Теплопровідність термопластичного композитного матеріалу з невпорядкованим розподілом компонентів можна визначити за формулою [11]

$$\lg \lambda_{wpl} = \sum_{i=1}^n (\varphi_i \lg \lambda_i), \text{ або } \lambda_{wpl} = \prod_{i=1}^n \lambda_i^{\varphi_i},$$

де λ_i – теплопровідність і-го компонента термопластичного композитного матеріалу.

Також для термопластичного композитного матеріалу з ізованими включеннями запропонована залежність [11]

$$\frac{\lambda_{wpl} - \lambda_n \left(\frac{\lambda_{pl}}{\lambda_{wpl}} \right)^{1/3}}{\lambda_{pl} - \lambda_n \left(\frac{\lambda_{pl}}{\lambda_{wpl}} \right)} = 1 - \varphi_n,$$

Масову теплоємність термопластичного композитного матеріалу, який складається з n компонентів, можна визначити за формулою [81]

$c_{wpl} = \sum_{i=1}^n \bar{x}c_i$, де $\bar{x}c_i$ – масова частка й масова теплоємність і-го компонента термопластичного композитного матеріалу. Температуропровідність термопластичного композитного матеріалу з хаотичним розташуванням компонентів, можна розрахувати за залежністю [81]

$$\alpha_{wpl} = \left[\sum_{i=1}^n \varphi_i / \sqrt{\alpha_i} \right],$$

α_i – температуропровідність і-го компонента термопластичного композитного матеріалу.

Експериментальні залежності коефіцієнта теплопровідності λ (рис. 2а) і коефіцієнта температуропроводности α (рис. 2б), так само як і теплоємності c_p (рис. 3) мають нелінійний характер.

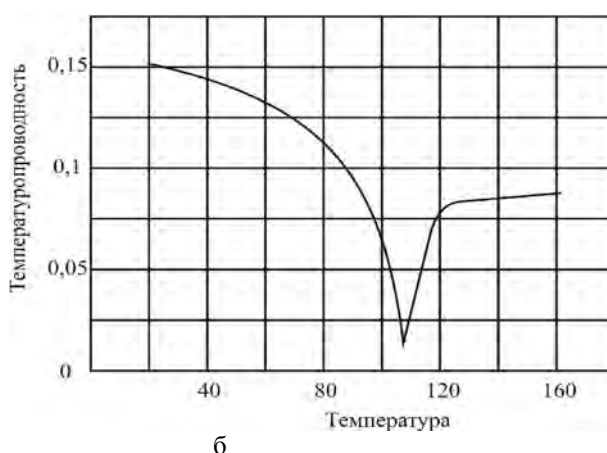
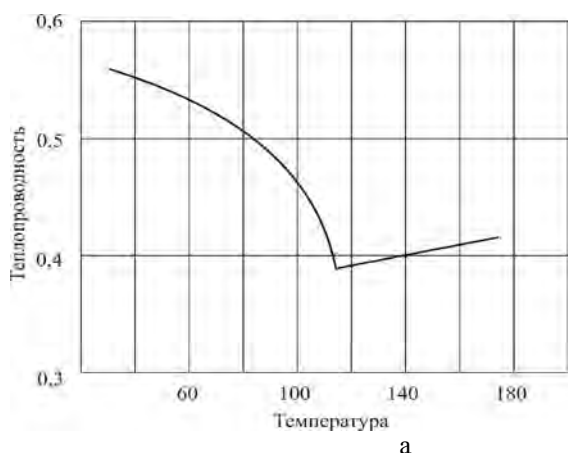


Рис. 2 – Залежність коефіцієнтів від температури для ПЕВП: а – теплопровідності; б – температуропроводности

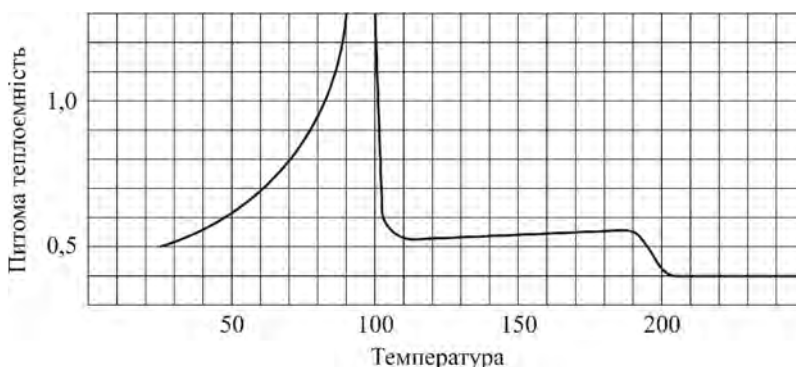


Рис. 3 – Залежність питомої теплоємності (c_p) від температури для ПЕВП

Різка зміна значень коефіцієнтів теплопровідності й температуропроводности при температурі фазового переходу пов’язана зі зміною

значень c_p у цій області, як це показано на рисунку 3. Розтягнута область переходу пов’язана з полідисперсністю полімеру й розходженнями в

здатності кристалізуватися для макромолекул різних довжин. Теорія синергетичного механізму утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ представлена у проекті з умов виявленої нами спільної дії сукупності факторів для обраних науково-обґрунтованих моделей виробництва вторинних полімерних матеріалів. Для досягнення загальних цілей процесів утилізації-модифікації, використовували принципи, що ціле (вторинний полімер) представляє за властивостями щось більше, ніж сума його частин. Синергетика у даному дослідженні представлена як інноваційний науковий напрямок технології полімерних матеріалів, який сприяє дослідженню зв'язків між елементами структури (підсистеми), що утворюються в відкритих системах, завдяки інтенсивному (потоківому) обміну властивостями сировини, обраними речовини з синергетичними можливостями та механізмами взаємодії з навколишнім середовищем в нерівноважних умовах.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. У результаті подовження роботи [1–13] за вищевказаними напрямками дослідження проблеми ідентифікації-класифікації та синергетичної утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ відходів визначено, що поліолефіни за обсягами виробництва, займають одне з перших місць. Переробка поліолефінової частки ТПВ у вторинні полімери є найбільш перспективним напрямком, що дозволяє поряд з очищенням навколишнього середовища розширювати сировинну базу полімерних матеріалів. Таким чином, на підставі наведених даних можна зробити наступні висновки:

1. Проведені дослідження виявили основні механізми й кінетичні закономірності окислювання й деструкції поліетилену при експлуатації. При цьому утворюються кисневмісні угруповання, якісний і кількісний склад яких, а також переважне протікання процесів зшивки або деструкції залежать від виду й

умов енергетичних впливів на поліетилен.

2. Роботи, проведені різними авторами з вивчення окиснення плівкового поліетилену, не дають достатньої інформації про зміну його фізико-хімічної будови при експлуатації в натурних умовах, реальних механічних впливів і інших можливих змін.

3. Не встановлені критерії оцінки синергетичних властивостей вторинного поліетилену, отриманого з поліетиленової плівки, залежно від строків її експлуатації й змін хімічної й фізичної структури в процесі експлуатації.

4. Існуючі напрямки модифікації властивостей вторинного поліетилену недостатньо враховують синергетичні особливості зміни матеріалу в процесі експлуатації.

З огляду на вищевикладене, наша робота спрямована на: дослідження особливостей зміни хімічного складу й будови поліетилену в процесі його експлуатації в натурних умовах; виявлення критеріїв якісної й кількісної оцінки ступеня окислювання поліетилену й зв'язку їх із властивостями вторинного матеріалу; дослідження ефективності методів синергетичної утилізації-модифікації, що враховують хімічний склад вторинної поліетиленової сировини і його схильність до окислювання; вибір методів спрямованої синергетичної утилізації-модифікації вторинного поліетилену з урахуванням структурно-хімічних, фізико-механічних, реологічних, молекулярних та інших змін залежно від умов і строків експлуатації плівок. Досягнуті результати за деякими питаннями з теми інноваційних досліджень: освоєння нових технологій з організації, виконання та упровадження комплексного інноваційного проектування для забезпечення ідентифікації-класифікації та синергетичної утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ.

Список літератури

- Бухкало С. І. Технології ресурсо- та енергозбереження для полімерної тари та пакування / *Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентноздатності. Матеріали V міжн. спеціалізованої науково-практичної конференції*. 14 вересня 2016 р., Київ. К. НУХТ, 2016. С. 21-23.
- Бухкало С. И.. Регулирование эффективности ресурсо- и энергосбережения на комплексных предприятиях по переработке отходов / *Бухкало С.И., Гардер С.Е., Ольховская О.И. и др. // Вісник НТУ «ХП»*. – Х.: НТУ «ХП». 2011. № 21. С. 72–80.
- Бухкало С. І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // *Вісник НТУ «ХП»*. – Х.: НТУ «ХП». 2016. № 19 (1191). С. 23–32.
- Бухкало С. И. Ресурсосберегающие технологии использования полимерных отходов. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХП», 2001, № 2. С. 106–112.
- Бухкало С. И. Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів // *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХП». 2014. № 4. С. 29–33.
- Бухкало С. І. Структура потоків комплексного підприємства / *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжн. н/практ. конф. MicroCAD-2017*, 17-19 травня 2017 // За ред. проф. Сокола Є.І. Ч.ІІІ, Х.: НТУ «ХП». С. 14.
- Бухкало С. І. Комплексна екологічно-інформаційна безпека проектів підприємства / *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжн. н/практ. конф. MicroCAD-2017*, 17–19 травня 2017 // Ред. проф. Сокола Є.І. Ч.ІІІ, Х.: НТУ «ХП». С. 15.
- Бухкало С. И. Математическое моделирование процессов ресурсо- и энергосбережения для полиэтиленовых отходов / *Бухкало С.И., Кукленко Д.В., Борхович А.А. и др. // Вісник НТУ «ХП»*. Х.: НТУ «ХП». 2010. № 32. С. 117–122.

9. Бухкало С. І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Х.: НТУ «ХПІ». 2016. № 19 (1191). С. 23–32.
10. Бухкало С. І. Деякі моделі процесів хімічного спінування вторинного поліетилену // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Х.: НТУ «ХПІ». 2017. № 18 (1240). С. 35–45.
11. Бухкало С. І. *Загальна технологія харчової промисловості: тестові завдання* (підручник з грифом МОНУ), Київ: Центр учбової літератури, 2014. 412 с.
12. Бухкало С. І., Іглін С. П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХПІ», 2016. № 3. С. 52–57.
13. Бухкало С. И. и др. Математическое моделирование как инструмент модификации отходов полимеров. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2010, вип. 32. С. 52–59.
14. Бухкало С. И. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХПІ», 2005, № 2. С. 29–33.
15. Бухкало С. І. Синергетичні процеси утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Х.: НТУ «ХПІ». 2017. № 41 (1263). С. 17–27.
16. *Вторичная переработка пластмасс* / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под ред. Г. Е. Заикова. СПб. : Профессия, 2007. 400 с.
17. Мікульонок І. О. *Переробка вторинної сировини екструзією* : монографія / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. К. : ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2006. 184 с.
18. Липатов Ю. С. *Теплофизические и реологические характеристики полимеров*. К.: Наукова думка, 1977. 244 с.
- Integrovani tehnologii ta energozberezhenja. Kharkov, NTU "KhPI". 2014. № 4, pp. 29–33.
6. Buhkalo S. I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva / *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHV mizhn. n/prakt. konf. MicroCAD-2017*, 17-19 travnja 2017. // Za red. prof. Sokola Є.І. Ch.III, – Kharkov, NTU "KhPI", pp. 14.
7. Buhkalo S. I. Kompleksna ekologichno-informacijna bezpeka proektiv pidpriemstva / *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHV mizhn. n/prakt. konf. MicroCAD-2017*, 17-19 travnja 2017 // Red. prof. Sokola Є.І. Ch.III, Kharkov, NTU "KhPI", pp. 15.
8. Buhkalo S. I. Matematicheskoe modelirovanie processov resurso- i jenergosberezhenija dlja polijetilenovyh othodov / Buhkalo S.I., Kuklenko D.V., Borhovich A.A. i dr. // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2010. № 32, pp. 117–122.
9. Buhkalo S. I. Modeli energetichnogo miksu dlja utilizacii polimernoї chastki TPV // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2016. № 19 (1191), pp. 23–32.
10. Buhkalo S. I. Dejaki modeli procesiv himichnogo spinjuvannja vtorinnogo polietilenu // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI". 2017. № 18 (1240), pp. 35–45.
11. Buhkalo S. I. *Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti: testovi zavdannja* (pidruchnik z grifom МОНУ), Київ: Centr uchbovoi literaturi, 2014. 456 p.
12. Buhkalo S. I., Iglin S. P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri ekspluataciji polimernih virobiv. *Integrovani tehnologii ta energozberezhenja*. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2016. № 3, pp. 52–57.
10. Buhkalo S.I. i dr. Matematicheskoe modelirovanie kak instrument modifikacii othodov polimerov. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2010. Vup. 32, pp. 52–59.
11. Buhkalo S. I. K voֿprosu jenergosberezhenija processa aglomerirovanija polimernoj upakovki. *Integrovani tehnologii ta energozberezhenja*. Kharkov, NTU "KhPI". 2005, № 2, pp. 29–33.
12. Buhkalo S. I. Udoskonaljvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. *Visnyk NTU «HPІ»*. Kharkiv: NTU «KhPI». 2014. № 16, pp. 3–11.
13. Buhkalo S. I. Sinergetichni procesi utilizacii-modifikacii polimernoї chastki TPV. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2017. № 41 (1263). pp. 17–27.
14. *Vtorichnaja pererabotka plastmass* / F. La Mantija (red.); per. s angl. pod red. G. E. Zaikova. SPb. : Professija, 2007. 400 p.
15. Mikul'onok I. O. *Pererobka vtorinnoї sirovini ekstruzieju* : monografija / I. O. Mikul'onok, L. B. Radchenko. – K. : IVC «Vidavnictvo Politehnika», 2006. 184 p.
16. Lipatov Ju. S. *Teplofizicheskie i reologicheskie harakteristiki polimerov*. K.: Naukova dumka, 1977. 244 p.

References (transliterated)

1. Buhkalo S. I. Tehnologii resurso- ta energozberezhenja dlja polimernoї tari ta pakuvannja / *Resurso- ta energooshhadni tehnologii virobnictva i pakuvannja harchovoi produkcii – osnovni zasadi ii konkurentnozdatnosti. Materiali V mizhn. specializovanoi naukovo-praktichnoi konferencii*. 14 veresnja 2016 r., Kiiv. K. NUHT, 2016, pp. 21–23.
2. Buhkalo S. I. Regulirovanie jeffektivnosti resurso- i jenergosberezhenija na kompleksnyh predpriyatijah po pererabotke othodov / Buhkalo S.I., Garder S.E., Ol'hovskaja O.I. i dr. // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2011. № 21, pp. 72–80.
3. Buhkalo S. I. Modeli energetichnogo miksu dlja utilizacii polimernoї chastki TPV // *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ. 2016. № 19 (1191). pp. 23–32.
4. Buhkalo S. I. Resursoberegajushhie tehnologii ispol'zovanija polimernyh othodov. *Integrovani tehnologii ta energozberezhenja*. Kharkov, NTU "KhPI", 2001, № 2, pp. 106–112.
5. Buhkalo S. I. Dejaki vlastivosti polimernih vidhodiv u yakosti sirovini dlja energo- i resursozberigajuchih procesiv //

Надійшла (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Buhkalo Svetlana Ivanovna, Buhkalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

УДК 664-49

Н. В. КОНДРАТЮК, Т. М. СТЕПАНОВА, В. Г. БУРАК, М. В. МАЛЕЦЬКИЙ**ОПТИМІЗАЦІЯ БАЗОВОЇ РЕЦЕПТУРИ ЖЕЛЕ ПЛОДОВО-ЯГІДНОГО НА ОСНОВІ УРОНАТНОГО ПОЛІСАХАРИДУ ТА СУХИХ КОНЦЕНТРАТІВ СОКІВ**

У статті описані харчові системи на основі пектину низкоестерифікованого амідованого. Даний полісахарид є не тільки харчовим волокном, що покращує рівень засвоєння глюкози та виводить токсини з організму, але й речовиною, що має потенціал до реалізації процесу іонотропного гелеутворення, у результаті якого формується консистенція готового виробу за рахунок утворення гелю кальцій галактуронату. В основу матеріалів статті покладено оптимізацію базової рецептури желе плодово-ягідних на основі сухих концентратів соків, як низькокалорійної харчової продукції оздоровчого спрямування. Проведена оптимізація рецептури желе плодово-ягідного засобами моделювання у програмі Excel методом лінійної регресії. Результати дозволили встановити раціональне співвідношення рецептурних компонентів у готовому продукті. Розроблений виріб має високі органолептичні та фізико-хімічні показники, стійку форму за рахунок задовільних показників міцності драгля. За матеріалами статті доведено доцільність використання методів оптимального планування експерименту для розробки рецептури желе плодово-ягідного на основі сухих концентратів соків з НЖСС. Описані наукові результати, що дозволяють визначити доцільність розробки технології желе плодово-ягідного на основі уронатного полісахариду – пектину низкоестерифікованого амідованого з використанням сухих концентратів соків. Приведена детальна процедура створення конкретного технологічного рішення з виробництва желе плодово-ягідних на основі уронатного полісахариду.

Ключові слова: оптимізація, математичне моделювання, уронатні полісахариди, пектин, десерти, іонотропне гелеутворення, сухі концентрати соків.

Н. В. КОНДРАТЮК, Т. М. СТЕПАНОВА, В. Г. БУРАК, М. В. МАЛЕЦЬКИЙ**ОПТИМІЗАЦІЯ БАЗОВОЇ РЕЦЕПТУРИ ЖЕЛЕ ПЛОДОВО-ЯГІДНОГО НА ОСНОВЕ УРОНАТНОГО ПОЛІСАХАРИДА І СУХИХ КОНЦЕНТРАТІВ СОКІВ**

В статье описаны пищевые системы на основе пектина низкоэтерифицированного амидированного. Данный полисахарид является не только пищевым волокном, улучшающим уровень усвояемости глюкозы и выводящим токсины из организма, но и веществом, имеющим потенциал для реализации процесса ионотропного гелеобразования, в результате которого формируется консистенция готового изделия за счёт образования геля кальций галактуроната. В основу материалов статьи положена оптимизация базовой рецептуры желе плодово-ягодных на основе сухих концентратов соков, как низкокалорийной пищевой продукции оздоровительного направления. Проведена оптимизация рецептуры желе плодово-ягодного средствами моделирования в программе Excel методом линейной регрессии. Результаты позволили установить рациональное соотношение рецептурных компонентов в готовом продукте. Разработанное изделие имеет высокие органолептические и физико-химические показатели, устойчивую форму за счет удовлетворительных показателей прочности желе. По материалам статьи доказана целесообразность использования методов оптимального планирования эксперимента для разработки рецептуры желе плодово-ягодного на основе сухих концентратов соков из ПЖСС. Описанные научные результаты, позволяющие определить целесообразность разработки технологии желе плодово-ягодного на основе уронатного полисахарида - пектина низкоэтерифицированного амидированного с использованием сухих концентратов соков. Приведена подробная процедура создания конкретного технологического решения по производству желе плодово-ягодных на основе уронатного полисахарида.

Ключевые слова: оптимизация, математическое моделирование, уронатные полисахариды, пектин, десерты, ионотропное гелеобразование, сухие концентраты соков.

N. V.KONDRATJUK, T. M. STEPANOVA, V. G. BURAK, M. V. MALETSKY**OPTIMIZATION OF BASIC COMPOSITION OF THE FRUIT-BERRY JELLY WITH URONATE POLYSACCHARIDE AND JUICE DRIED CONCENTRATES**

Today are gaining popularity jelly-like products on the basis of uronate polysaccharides (pectin and sodium alginate). Development of jelly with dietary fiber is actually today (functional ingredients is low-esterified amidated pectin). Development is carried out for industrial production jelly-make semi-finished sweet products. Low-esterified amidated pectin is increases the level of glucose assimilation. The process of ionotropic gelling which basic on calcium galacturonate gives the product the necessary consistency in result. The article based on optimization of the recipe of fruit-berry jellies with powdered juices. The investigated product can be considered the health food. Optimization of jelly recipe was made with linear regression method in MS Office Excel. The results allowed establishing the optimal ratio recipe's components. The product has high organoleptic indices, stable shape due to high jelly density. The expediency of using optimal-planned method of experience was proved for development recipe fruit-berry jelly. The optimal ratio components are proposed for making industrial examples of fruit-berry jelly with jelly-make semi-finished sweet products. Recommended part of product is 17...24%. It is depend of pH. The expediency development technology for making fruit-berry jelly with use low-esterified amidated pectin is proved by the results of work. The process of creating a technological decide for making fruit-berry jelly which based on uronate polysaccharide is described in detail.

Key words: optimization, mathematical modeling, uronate polysaccharides, pectin, desserts, ionotropic gelling, powdered juice.

Вступ. Сучасні темпи життя багатьох людей передбачають зниження фізичних навантажень і, як наслідок, зменшення потреби у висококалорійних продуктах. Однак разом з цим виникає нова проблема – скорочення споживання мікронутрієнтів. Все це вказує на необхідність створення таких продуктів, які б мали низьку калорійність і одночасно високу харчову цінність. На сьогоднішній день, серед продуктів, що мають вищеокреслені функції, особливої уваги заслуговують солодкі

страви (десерти), які користуються значною популярністю серед споживачів. Зокрема це десерти з желеподібною структурою.

Сучасний асортимент цієї групи страв потребує розширення за рахунок включення до їх складу більш корисних інгредієнтів. Основними складовими солодких страв є цукор і крохмаль, які мають певні обмеження серед населення, оскільки пригнічують

© Кондратюк Н.В., Степанова Т.М., Бурак В.Г., Малецький М.В., 2018

виділення шлункового соку та посилюють секреторну активність підшлункової залози. Під час вживання очищених (рафінованих) вуглеводів, в організмі утворюються жири, що можуть призвести до порушення обміну речовин та спричинити ожиріння. Тому, обираються різноманітні шляхи та створюються нові рецептури цієї групи продукції за рахунок використання нетрадиційної сировини, наприклад, нових видів гелеутворювачів та композицій; цукрозамінників або підсолоджувачів, концентратів соків або сухих плодово-ягідних порошків тощо.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Накопичено певний досвід дослідження проблеми розробки технології та формування основних показників якості солодких страв на основі плодово-ягідної сировини. Розроблено спосіб виробництва желе на основі водного відвару (1:30) липового цвіту, стабілізованого фруктовим пектином із додаванням натурального квіткового поліфльорного меду, нагрітого упродовж $(10-15) \times 60^2$ с до температури 42°C [1]. Запропоновано технологію желейного продукту з антимулагенними властивостями, що містить фруктово-ягідну складову, цукор та лактат натрію. В якості фруктово-ягідного компоненту використано сік із м'якоттю плодів лікарських рослин, зокрема калини, актинїди, хеномелесу, обліпихи, лимонника, дерену, бузини та яблучний пектиновий концентрат [2].

Дослідниками [3] представлено спосіб одержання желе з використанням відвару плодово-ягідної сировини із додаванням цукру або 0,2%-го розчину сахарину, розчину лимонної кислоти, яблучного пектину низькоетерифікованого, як гелеутворювача, а також насиченого розчину кальцію хлориду. Технологія, що існує, має певні обмеження, тому що застосування сахарину не надає можливості використовувати цю продукцію для деяких верств населення через певну неприйнятність окремими споживачами даної складової.

Автори [4] наводять технологію одержання желе на основі більш дешевої вітчизняної сировини – рідкого пектинового яблучного концентрату. Такий спосіб дозволяє зменшити кількість технологічних стадій (перемішування сухого желатину у воді з цукром-піском, експозиція, набрякання, розчинення), значно зменшує енерговитрати, сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу. Проте останнім часом прослідковується тенденція до збоїв у постачанні пектиново-яблучного концентрату через його відсутність на ринку України.

У роботі [5] наведено опис технології желе на основі пектину і морквяного соку. Продукт містить велику кількість природних каротиноїдів. Проте в описі відсутня інформація про органолептичні властивості готового продукту.

Подальший пошук інформації з розширення асортименту солодких страв із желеподібною

структурою, у тому числі на основі пектину, призвів до результатів досліджень, описаних у роботах [6–10]. У роботі [6] пропонується спосіб виробництва желейного продукту на основі яблучно-пектинового концентрату з додаванням пюре з плодів калини, актинї, хеномелісу, обліпихи, лимоннику, дерну, бузини, що мають лікувальні властивості. Розробники звертають увагу на те, що антимулагенні властивості пектину стануть гарним доповненням до комплексу антоціанів, фенольних сполук та інших біологічно активних речовин, що містяться в корисних ягодах. Із опису іншого способу виробництва продукту на основі натуральних соків та пюре з ягід і овочів [7] стало відомо про можливість використання обліпихи, журавлини та жимолості, а також м'якоті гарбуза та столового буряку для одержання продуктів із желейною пектиновою основою. Варто відзначити поліфункціональність цих продуктів для організму людини, але також слід наголосити на тому, що сировинна база розробок характеризується сезонністю та може негативно відобразитись на економічній ефективності технології та собівартості готового продукту.

Автори [8] запропонували харчову композицію – гель на основі пектину низькоетерифікованого амідованого (ПНЕА), що утворився в ході хімічної реакції з іонами кальцію. Композиція достатньо стійка до синерезису, не переважана вмістом простих цукрів, що вказує на статус низькокалорійного продукту. Однак, слід відмітити, що в описі недостатньо охарактеризована особливість взаємодії рецептурних компонентів та умови протікання реакції структуроутворення.

У роботі [11] було описано технологію приготування низькокалорійних желе, у яких молочна основа була замінена на сироватковий ізолят та/або соєвий білок, цукор був замінений на фруктозу, а желатин – на желюючі полісахариди або суміші: альгінат, пектин, ксантан, гуарову камедь. У розроблених желе були визначені терміни зберігання та органолептичні показники. Результати роботи вказують на можливість формування міцних драглів на основі полісахаридів, проте текстурні характеристики кардинально відрізняються від аналогів на желатині і є не зовсім звичними для споживачів.

Автори [12] зробили спробу відтворити консистенцію желатинового гелю на гелі з пектинів, замінивши частину гелеутворювача на карагенан і гідроксипропілметилцеллюлозу. Нові продукти мали більш м'яку, але пружну консистенцію.

Дослідниками [13] було вивчено вплив пектину низькоетерифікованого амідованого на текстуру молочного десерту, до складу якого входять крохмаль та карагенан. За результатами лазерної скануючої мікроскопії було встановлено динаміку зміцнення гелю та адгезії за умов збільшення концентрації пектину. Висловлено прогноз про розташування водневих зв'язків між амідними групами білків та пектину. Дані дослідження, у питаннях

вивчення структури гелів, мають більш прогнозований характер.

Таким чином, виходячи з результатів аналізу інформаційних джерел, можна зробити висновок, що пошук технологічних рішень у напрямі створення солодких страв з гелеподібною структурою, враховуючи додаткові компоненти, що підвищують харчову та біологічну цінність готових виробів ведеться дуже активно. Однак ці роботи базуються на проведенні тривалих, складних та коштовних експериментальних досліджень із підбору рецептурних компонентів та визначення якості готових виробів. Такі дослідження можуть бути удосконалені шляхом оптимізації рецептурних компонентів з урахуванням технологічних факторів та ключових параметрів встановлення якості готового продукту. Для цього нами було використано методи оптимального планування експерименту, які у подальшому дозволили використовувати математичних апарат не тільки на стадії обробки результатів вимірювань, але й під час підготовки та проведенні досліджень, що значно скоротило витрати часу та матеріально-технічних засобів на виконання дослідницьких робіт [14]. Використаний підхід дозволяє вирішити ряд проблем, пов'язаних зі створенням продукції, що має поліфункціональні властивості, оскільки дозволяє врахувати одночасно кілька факторів змінних (концентрація речовин, кислотність, тиск, температура тощо) і кілька критеріїв, що характеризують якість, наприклад, органолептичні або реологічні показники (міцність драглів, вологостримуюча здатність, пружність тощо). На основі вищенаведеного можна сказати, що інновації у технології солодких страв із желеподібною структурою, у тому числі на плодово-ягідній сировині з використанням пектину, є доцільними. А математичне моделювання є необхідним для уточнення складу рецептурної суміші або технологічних параметрів, від яких залежить ступінь використання обладнання. Такий підхід, у свою чергу, диктує необхідність створення інформаційного поля для науково-технічної творчості в межах розробки сучасних технологій желевної продукції.

Мета та завдання досліджень.

Мета представлених досліджень полягала у математичному моделюванні рецептур желе плодово-ягідних з напівфабрикатом желуючим, що містить пектин низькоетерифікований амідований та концентрати сухих соків, а також встановленні найбільш ефективного впливу НЖСС на структурно-механічні показники готових виробів.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- визначення структурно-механічних характеристик готової продукції;
- оптимізація рецептури желе плодово-ягідного на основі композиції уронатного полісахариду з сухими концентратами соків.

Викладання основного матеріалу досліджень.

Дослідження проводили з використанням уронатного полісахариду – пектину низькоетерифікованого амідованого (ПНЕА) «NECJ-A1». Напівфабрикат желуючий для солодких страв (НЖСС), одержували із використанням функціональної желеподібною системи за участі ПНЕА та іонів кальцію. Зразки, що підлягали випробуванню, наведено на рис. 1.



Рис. 1 – Зразки желе плодово-ягідного для випробування

Доповненням до розвитку і підтримки мережі Сучасний асортимент цієї групи страв потребує розширення за рахунок включення до їх складу більш корисних інгредієнтів. Основними складовими солодких страв є цукор і крохмаль, які мають певні обмеження серед населення, оскільки пригнічують виділення шлункового соку та посилюють секреторну активність підшлункової залози. Під час вживання очищених (рафінованих) вуглеводів, в організмі утворюються жири, що можуть призвести до порушення обміну речовин та спричинити ожиріння. Тому, обираються різноманітні шляхи та створюються нові рецептури цієї групи продукції за рахунок використання нетрадиційної сировини, наприклад, нових видів желеутворювачів та композицій; цукрозамінників або підсолоджувачів, концентратів соків або сухих плодово-ягідних порошоків тощо. Дослідження структурно-механічних властивостей, а саме міцності гелів зразків желе визначали за допомогою приладу Валента. Структурно-механічні властивості, у свою чергу, описують такий важливий показник желеподібних страв, як консистенція. Оскільки консистенція забезпечує швидкий контроль готового виробу, вказуючи на відповідність або навпаки, відхилення від оптимального значення, то слід враховувати, що зміна показників консистенції під впливом різних рецептурних компонентів частіше за усе відбувається дискретно. За допомогою математичного моделювання можна вирішити такі задачі, оскільки в його основі знаходиться спосіб побудови залежності впливу визначаючих факторів на параметр оптимізації.

Проектування модельних систем проводилось із врахуванням раціональних концентрацій внесених компонентів, їх впливу на якість, споживчу оцінку та технологічні характеристики готової продукції. Пошук оптимальних умов протікання процесу було здійснено за допомогою регресійного аналізу (лінійного), який дозволяє максимально точно відобразити параметричну залежність від факторів, що змінюються [15].

Методика визначення показників властивостей зразків. Міцність гелів у зразках желе плодово-ягідних здійснювали за методом Валента. Випробуваний зразок піддавали руйнуванню дією навантаження. Міцність (Р) визначалась вимірюванням навантаження на одиницю площі, необхідної для занурення стрижня з відомою площею поперечного перерізу в досліджуваний желеподібний продукт на задану глибину.

Плодово-ягідна сировина, завдяки вмісту легкозасвоєваних вуглеводів, вітамінів, мікронутрієнтів, органічних кислот, поліфенолів, фітонцидів, антиоксидантів, є досить цінною для людини [16, 17]. Серед широкого спектру біологічно-активних речовин плодово-ягідної сировини особливе місце належить вітаміну С (аскорбіновій кислоті). Відомо, що аскорбінова кислота має здатність відновлювати клітини внутрішніх органів,

ясен, кровоносних судин, кісток та зубів, сприяє засвоєнню організмом заліза та прискорює одужання, зміцнюючи імунітет.

Незважаючи на вміст цього компоненту в описаній плодово-ягідній сировині, слід урахувати смакові вподобання споживачів, адже досить багата на вітамін С сировина не завжди користується бажаним попитом серед населення. Тому досить важливим є використання саме цієї основи, що не лише матиме багатий вітамінно-мінеральний склад, але й прогнозовано стане популярною для широкого кола споживачів.

З метою максимального збереження вітамінів плодово-ягідну сировину рекомендується споживати як в натуральному виді, так і у вигляді концентратів, наприклад сокових.

Застосування в технології желе плодово-ягідного на основі НЖСС та сухих концентратів соків має низку переваг, зокрема невибагливість під час зберігання та транспортування [18].

Серія проведених досліджень показала, що використання НЖСС та сухих концентратів соків у складі рецептурної суміші для виробництва желе дозволить отримати продукт зі щільною, пружною і одночасно м'якою консистенцією. Для проведення експерименту виготовляли зразки за рецептурою, наведеною у табл. 1.

Таблиця 1 – Рецептурний склад желе плодово-ягідного з НЖСС та сухими концентратами соків – «ПіК» апельсиновий, лимонний, вишневий

Найменування сировини	Витрати сировини на 100 кг готового продукту, кг					
	Вишневий		Апельсиновий		Лимонний	
	брутто	нетто	брутто	нетто	брутто	нетто
НЖСС	x1	x'1	x2	x'2	x3	x'3
Сухий концентрат соку	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Вода питна підготовлена	95,63	95,63	95,63	95,63	95,63	95,63
Барвник «Кармін»	0,01	0,01	–	–	–	–
Барвник «Аннато»	–	–	0,01	0,01	–	–
Барвник «β-каротин»	–	–	–	–	0,01	0,01
Усього	–	95,77+ x'1	–	95,77+ x'1	–	95,77+ x'1
Вихід	–	100,00	–	100,00	–	100,00

Як видно з наведених рецептур, сталими величинами є концентрація барвника та концентрація сухого соку, оскільки кількість їх внесення рекомендована виробниками. Отже, можна варіювати тільки концентрацією НЖСС, як основним фактором, що впливає на якість готового виробу. Критерієм оцінки впливу масової частки НЖСС на якість готового виробу було обрано показник міцності (за Валентом) [19]. З цього виходить, що для математичного моделювання краще використати такий статистичний метод, як регресійний аналіз, який описує вплив одних значень (незалежних) на залежну перемінну (лінійна регресія).

Модель лінійної регресії має наступний вид: $y = a + bx$, де a та b – коефіцієнти регресії, x – змінна.

У ході попередніх досліджень було виявлено, що деякі складові НЖСС, що відповідають за якість, знаходяться у конфлікті один з одним. Так, зразок желе із внесенням НЖСС 25% характеризується високим ступенем задоволення добової потреби у пектині, але має досить щільну консистенцію.

Одержані желе плодово-ягідні досліджувалися за структурно-механічними та органолептичними показниками. На рис. 2 показана залежність міцності гелів желе плодово-ягідного «ПіК» апельсиновий (1), вишневий (2) та лимонний (3) від вмісту НЖСС.

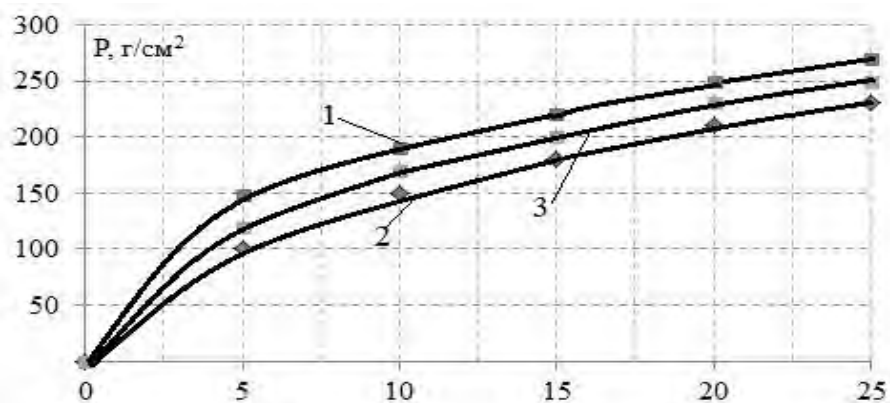


Рис. 1 Динаміка міцності (P) зразків желе плодово-ягідного «ПіК» апельсиновий (1), вишневий (2) та лимонний (3) від концентрації НЖСС-1, W_{нжсс}, %

З наведених даних можна зробити висновок, що зразки мають досить високі показники міцності гелів (P = 210–250 г/см²), що говорить про оптимальні для органолептичного сприймання структурні властивості. При цьому відмічається відсутність миттєвого синерезису. Рациональний діапазон концентрацій НЖСС припадає на значення 17–24 %.

Окремо досліджували (уточнювали) концентрацію. Для цього рецептуру желе плодово-ягідного було оптимізовано у програмі Excel за допомогою вбудованих функцій, за якими можна розрахувати параметри моделі лінійної регресії, та такими що містяться у надбудові «Пакет аналізу» (табл. 2).

Таблиця 2. Фактори та результати вимірювання

Зразок	Концентрація НЖСС, % (x)	Міцність зразків, г/см² (y)
«ПіК» апельсиновий	5	150
	10	180
	15	220
	20	250
	25	270
«ПіК» вишневий	5	100
	10	150
	15	180
	20	210
	25	230
«ПіК» лимонний	5	120
	10	175
	15	200
	20	235
	25	250

Як бачимо з таблиці 2, у показниках міцності є розбіжність. Вона відмічається тому, що концентрати сухих соків при розведенні водою у рекомендованій концентрації дають різні показники рН. Так, для апельсинового желе рН = 3,7 ± 0,1; для вишневого – 3,4 ± 0,1; для лимонного – 2,8 ± 0,1. Усі показники знаходяться у межах допустимих значень, за яких протікає процес гелеутворення. Гель був сформований за рахунок реакції іонотропного гелеутворення між вільними іонами кальцію та низькомолекулярним пектином за умов знижених рН та у присутності сахарози, які складають рецептурну суміш НЖСС. Засобами квантово-хімічного моделювання було встановлено кількісні співвідношення залишків галактуронової кислоти та іонів кальцію, здатних взаємодіяти між собою з

утворенням міцних структур [20]. Вони складають 4:1. Тобто чотири галактуронові залишки можуть зв'язатися координаційним зв'язком одним іоном кальцію. Дані співвідношення дозволили встановити кількісний вміст рецептурних компонентів напівфабрикату желуючого для солодких страв, які здатні повністю прореагувати у харчовому середовищі, що розглядається, враховуючи додаткове внесення смако-ароматичних інгредієнтів у вигляді концентрованого сухого соку та барвників. Результати структурно-механічних вимірювань дозволяють констатувати той факт, що сахароза забезпечує систему гідроксильними групами, які стабілізують зону з'єднання та збільшують кількість водневих зв'язків для іммобілізації вільної вологи. За таких умов процес іонотропного гелеутворення

протікає повільно і зразки не мають тенденції до швидкого синерезису протягом вказаного терміну зберігання (реалізації). Метод лінійної регресії дозволяє описати залежність між незалежною

змінною x (концентрацією НЖСС) та очікуваним значенням y (міцністю зразків за Валентом) при заданому значенні x . Результати регресійного аналізу наведені у табл. 3-5.

Таблиця 3. Результати регресійного аналізу даних для зразка «ПіК» апельсиновий

Регресійна статистика		Дисперсійний аналіз						
Множинний R	0,994	Регресія	df	SS	MS	F	Значимість F	
R-квадрат	0,989		1	9610	9610	262,09	0,00051	
Нормований R-квадрат	0,985	Залишок	3	110	36,67			
Стандартна помилка	6,055	Усього	4	9720				
Спостереження	5							
	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-значення	Нижні 95%	Верхні 95%	Нижні 95,0%	Верхні 95,0%
Y-перетин	121	6,35	19,053	0,00031	100,79	141,2	100,79	141,21
Змінна X1	6,2	0,383	16,19	0,00051	4,981	7,42	4,98	7,42

Таблиця 4. Результати регресійного аналізу даних для зразка «ПіК» вишневий

Регресійна статистика		Дисперсійний аналіз						
Множинний R	0,987	Регресія	df	SS	MS	F	Значимість F	
R-квадрат	0,973		1	10240	10240	109,71	0,0019	
Нормований R-квадрат	0,965	Залишок	3	280	93,33			
Стандартна помилка	9,661	Усього	4	10520				
Спостереження	5							
	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-значення	Нижні 95%	Верхні 95%	Нижні 95,0%	Верхні 95,0%
Y-перетин	78	10,132	7,698	0,0045	45,754	110,25	45,754	110,25
Змінна X1	6,4	0,611	10,47	0,0019	4,456	8,345	4,456	8,34

Таблиця 5. Результати регресійного аналізу даних для зразка «ПіК» лимонний

Регресійна статистика		Дисперсійний аналіз						
Множинний R	0,98	Регресія	df	SS	MS	F	Значимість F	
R-квадрат	0,96		1	10240	10240	71,442	0,0035	
Нормований R-квадрат	0,95	Залишок	3	430	143,33			
Стандартна помилка	11,97	Усього	4	10670				
Спостереження	5							
	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-значення	Нижні 95%	Верхні 95%	Нижні 95,0%	Верхні 95,0%
Y-перетин	100	12,557	7,964	0,0041	60,0395	139,96	60,04	139,96
Змінна X1	6,4	0,757	8,452	0,0035	3,9903	8,81	3,99	8,81

Отримані дані математичного моделювання (табл. 3-5) дозволили визначити такі статистичні дані, як R-квадрат та коефіцієнти. R-квадрат – це коефіцієнт детермінації, який вказує на скільки модель узгоджується з емпіричною інформацією, на підставі якої її побудовано. Для усіх трьох зразків, як бачимо, коефіцієнти детермінації дорівнюють: 0,988; 0,973; 0,960 відповідно. Це означає, що розрахункові параметри наведених моделей на 98,8; 97,3 та 96,0% пояснюють залежність між параметрами, що вивчаються. Найякіснішою можна вважати модель для зразка «ПіК» апельсиновий.

Коефіцієнти y -перетину, тобто коефіцієнти a у рівнянні регресії доводять, що значення y будуть дорівнювати 121; 78 та 100 відповідно до наведеного переліку зразків, якщо усі перемінні у розглянутих моделях дорівнюватимуть 0. Це означає, що на величину параметра, що аналізується, впливають й

інші фактори, такі, що не описуються у моделі. Такими можуть бути кислотність та кількість сахарози. Коефіцієнти b дорівнюють 6,2; 6,4 та 6,4 відповідно. Позитивні величини вказують на пряму залежність. Тобто, чим більший вміст НЖСС, тим міцніше система. Проте, криві на рис. 2 доводять, що така динаміка небезкінечна.

З наведених даних видно, що коефіцієнти при перемінних (P-значення) мають значення менше 0,05, тобто усі коефіцієнти мають вплив на залежну змінну. З урахуванням цього рівняння регресії для кожного з досліджуваних зразків мають вигляд:

Для зразків «ПіК» апельсиновий: $y = 121 + 6,2x$; вишневий: $y = 78 + 6,4x$; лимонний: $y = 100 + 6,4x$.

Наступним етапом інтерпретації результатів є встановлення достовірності за рівнем значення критерія Фішера (Значимість F). Усі значення

критерія Фішера значно менші показника 0,05, тобто усі моделі вважаються значимими.

Таблиця 6. Рецептурний склад желе плодово-ягідного з НЖСС та сухими концентратами соків - «ПіК» апельсиновий, лимонний, вишневий

Найменування сировини	Витрати сировини на 100 кг готового продукту, кг					
	Вишневий		Апельсиновий		Лимонний	
	брутто	нетто	брутто	нетто	брутто	нетто
НЖСС	23,8	23,8	17,6	17,6	20,3	20,3
Сухий концентрат соку	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Вода питна підготовлена	95,63	95,63	95,63	95,63	95,63	95,63
Барвник «Кармін»	0,01	0,01	–	–	–	–
Барвник «Аннато»	–	–	0,01	0,01	–	–
Барвник «β-каротин»	–	–	–	–	0,01	0,01
Усього	–	119,57	–	113,37	–	116,07
Вихід	–	100,00	–	100,00	–	100,00

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Таким чином, за результатами проведеного регресійного аналізу, враховуючи те, що зразки мають стійкість до синерезису та високі органолептичні властивості при міцності 230 г/см² за рівняннями регресії було визначено, що значення x_1 дорівнюють 17,6; 23,8 та 20,3 відповідно для зразків апельсинового, вишневого та лимонного.

Математичне моделювання дозволило скорегувати рецептури (табл. 6) від запропонованих раніше із сталою для усіх зразків величиною концентрації НЖСС – 17,6%. У випадку скорегованих рецептур враховується показник рН та кількість сахарози, за яких консистенція гелів є пружною та міцною і такою, що не піддається швидкому синерезису. При цьому втрачається необхідність проведення додаткових експериментів.

Аналіз органолептичних показників дозволив констатувати, що нова продукція здатна задовільнити попит широкого кола покупців, які прагнуть оздоровитися за рахунок споживання корисних харчових продуктів.

Описані дані дозволяють спрогнозувати розширення асортиментної лінійки солодких страв з використанням уронатних полісахаридів. Розробки желюваних систем планується проводити на основі молока та кисломолочних продуктів.

Список літератури

1. Бондарчук Л. І. Пат. 17415, Україна. № 20060419. *Спосіб отримання медового желе «Тіліа» з імуномодельючими властивостями*. 2006.
2. Крапівницька І. О. Пат. 34049, Україна. № 200802507. *Желейний продукт антимутагенний*. 2008.
3. Перцевий Ф. В. Пат. 35721, Україна. № 200706815. *Спосіб отримання желе*. 2007.
4. Крапівницька І. О. Пат. 71804, Україна. № 20031212552. *Спосіб отримання желе*. 2003.
5. Бандуренко Г. М. Пат. 55071, Україна. № 201004332. *Морквяне желе*. 2014.
6. Крапівницька І. О. Пат. 85803, Україна. № 200802506. *Желейний продукт*. 2008.
7. Мацейчик И. В., Ломовский И. О., Корпачева С. М. Разработка технологии и рецептур желированных масс функционального назначения. *Вестник КрасГАУ*. 2014, № 7. С. 190–195.
8. Тагерсен А. Б. Пат. 2385626, РФ. № 2007117731/1. *Гелеобразующий агент, включающий комбинацию пектинов, для низкокалорийных гелей*. 2005.
9. Fraeye I., Colle I., Hendrix M. Influence of pectin structure on texture of pectin–calcium gels // *Innovative food science & emerging technologies*. 2010. V. 11, Iss. 2. P. 401–409.
10. Capel F., Nicolai T., Langendorf V. Calcium and acid induced gelation of (amidated) low methoxyl pectin // *Food Hydrocolloids*. 2006. V. 20. P. 901–907.
11. Nepovinnikh N. V., Kliukina O. N., Ptichkina N. M. Hydrogel based dessert of low calorie content // *Food Hydrocolloids*, 2018. V. 76. P. 260–271.
12. Balaghi S. Structural development of semi-solid dairy desserts influenced by hydrocolloids and temperature: Rheology and particle size distribution // *International Dairy Journal*. 2014. V. 39, Iss. 1. P. 184–192.
13. Arltoft D. Relating the microstructure of pectin and carrageenan in dairy desserts to rheological and sensory characteristics. *Food Hydrocolloids*. 2008. V. 22, Iss. 4. P. 660–673.
14. Міхнева Є. Г. Математичне моделювання рецептур продуктів із молюсків // *Продовольча індустрія АПК*. 2015. № 3. С. 15–19.
15. Семенов С. А. *Планирование эксперимента в химии и химической технологии*. Москва: ИПЦ МИТХТ, 2001. 193 с.
16. Nile S. H. Edible berries: Bioactive components and their effect on human health // *Nutrition*. 2014. V. 30, Iss. 2. P. 134–144.
17. Shinwari K.J., Rao P.S. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2018. V. 75. P. 181–193.
18. Bhandari B. *Handbook of Food Powders. Processes and Properties*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2013. 682 p.
19. Ларионова Е. И. Оптимизация рецептуры сахарного печенья с красной и черноплодной рябиной // *Ползуновский вестник*. 2017. № 2. С. 37–40.

20. Kondratjuk N. V. Quantum chemical modeling of uronate polysaccharides dimmers in the strategy of creating food biodegraded coating // *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»*. 2017. № 41 (1263). С. 47–51.

References (transliterated)

- Bondarchuk L. I. *Sposib otrymannja medovogo zhele «Tilia» z imunodeljuchymy vlastyvoztjamy* [Method of production of the honey jelly “Tilia” having immunomodulating properties]. Patent Ukraine, no. 17415, 2006.
- Krapyvnytska I. O. *Zhelejnyj produkt antymutagenyj* [Antimutagenic jelly product]. Patent Ukraine, no. 34049, 2008.
- Pertsevii F.V. *Sposib otrymannja zhele* [Method for making jelly]. Patent Ukraine, no. 35721, 2008.
- Krapyvnytska I. O. *Sposib otrymannja zhele* [Method for making jelly]. Patent Ukraine, no. 71804, 2003.
- Bandurenko G.M. *Morkvjane zhele* [Carrot jelly]. Patent Ukraine, no. 55071, 2014.
- Krapyvnytska, I. O. *Zhelejnyj produkt* [Jelly product]. Patent Ukraine, no. 85803, 2009.
- Macejchuk I. V., Lomovskii I. O., Korpacheva S. M. *Razrobotka tehnologii i receptur zhelirovannyh mass funkcional'nogo naznachenija* [Development of gelled masses technologies and composition with functional purpose]. *Vestnik KrasGAU*. 2014, vol. 5, pp. 190–195.
- Tagersen A. B. *Geleobrazujushhij agent, vključajushhij kombinaciju pektinov, dlja nizkokalorijnyh gelej* [Gelling agent including combination of pectins for low caloric gels]. Patent Russian Federation, no. 2385626, 2010.
- Fraeye, I., Colle, I., Hendrix, M. Influence of pectin structure on texture of pectin–calcium gels. *Innovative food science & emerging technologies*. 2010, no. 11, pp. 401–409.
- Capel F., Nicolai T., Langendorf V. Calcium and acid induced gelation of (amidated) low methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*. 2006, no. 20, pp. 901–907.
- Nepovinnykh N. V., Kliukina O. N., Ptichkina N. M. Hydrogel based dessert of low calorie content. *Food Hydrocolloids*. 2018, vol. 76, pp. 260–271.
- Balaghi S. Structural development of semi-solid dairy desserts influenced by hydrocolloids and temperature. Rheology and particle size distribution. *International Dairy Journal*. 2014, vol. 39, pp. 184–192.
- Arltoft D., Madsen F., Ipsen R. Relating the microstructure of pectin and carrageenan in dairy desserts to rheological and sensory characteristics. *Food Hydrocolloids*. 2008, vol. 22, pp. 660–673.
- Mikhneva E. G. *Matematyčne modeliuвання retseptur produktiv iz moliuskiv* [Mathematic modeling of composition of the food shellfish product]. *Prodovolcha industriia APK*. 2015, vol. 3, pp. 15–19.
- Semenov S. A. *Planirovaniie eksperimenta v himii i himicheskoi tehnologii* [Planning of experiment in the chemistry and chemical technology]. Moscow, IPC MITHT, 2001. 193 p.
- Nile S. H., Park S.W. Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*. 2014, vol. 30, Iss. 2, pp. 134–144.
- Shinwari K.J., Rao P.S. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2018, vol. 75, pp. 181–193.
- Bhandari B. *Handbook of Food Powders. Processes and Properties*. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2013. 682 p.
- Larionova E. I. *Optimizaciiia retsepturi sahnogo pecheniia s krasnoi i chernoplodnoi riabinoi* [Optimization of composition of the sugar cake with red ashberry and chokeberry]. *Polzunovskii vestnik*. 2017, no. 2, pp. 37–40.
- Kondratjuk N. V., Okovyty S. I., Pyvovarov Y. P. etc. Quantum chemical modeling of uronate polysaccharides dimmers in the strategy of creating food biodegraded coating // *Вісник NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 41, pp. 47–51.

Надійшла (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кондратюк Наталія Вячеславівна (Кондратюк Наталья Вячеславовна, Kondratjuk Natalia Vyacheslavovna) – кандидат технічних наук, доцент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри харчових технологій; м. Дніпро, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4578-9108>; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com.

Степанова Тетяна Михайлівна (Степанова Татьяна Михайловна, Stepanova Tetiana Mikhailovna) – кандидат технічних наук, Сумський національний аграрний університет, доцент кафедри технологій харчування; м. Суми, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9392-377340021>; e-mail: eshkina97@gmail.com.

Бурак Валентина Геннадіївна (Бурак Валентина Геннадьевна, Burak Valentina Hennadiievna) – кандидат технічних наук, доцент, ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», завідувач кафедри інженерії харчового виробництва; м. Херсон, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9085-900073006>; e-mail: burak_v@ro.ru.

Малецький Максим Володимирович (Малецкий Максим Владимирович, Maletsky Maksim Vladimirovich) – студент 2-го курсу, Дніпровській національний університет імені Олеся Гончара, кафедра харчових технологій; м. Дніпро, Україна; e-mail: maxsnake666@yandex.ua.

УДК 665.765: 621.89.017

А. Б. ГРИГОРОВ**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ РЕЦИКЛІНГОВИХ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ**

У статті наведено залежності між основними показниками якості пластичних мастил на прикладі рециклінгових мастил, яка отримана з відпрацьованого напівсинтетичного моторного масла SAE10W-40 API SL, яка загущена подрібненими твердими використаними поліетиленовими виробами. Вже згадана мастило є досить перспективною, оскільки її виробництво забезпечує утилізацію промислових і побутових відходів, значно знижуючи екологічне навантаження на навколишнє середовище. Отримана мастило має більш високі значення показників якості, в порівнянні з вітчизняними і зарубіжними аналогами. Встановлено, що між розглянутими стандартизованими показниками якості пластичного мастила спостерігається значущий ранговий кореляційний зв'язок. Отримані залежності між певними показниками якості мастила адекватно описуються квадратичними рівняннями регресії, про що свідчать дуже високі значення коефіцієнтів достовірності апроксимації R^2 . Отримані залежності можуть бути використані при прогнозуванні зміни якості пластичного мастила при експлуатації в вузлах механізмів і на стадії їх виробництва при розробці системи автоматичного керування технологічним процесом.

Ключові слова: пластичне мастило, базова олива, загущувач, поліетилен, показник якості, кореляційний зв'язок.

А. Б. ГРИГОРОВ**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА РЕЦИКЛИНГОВЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК**

В статье приведены зависимости между основными показателями качества пластичных смазок на примере рециклинговой смазки, которая получена из отработанного полусинтетического моторного масла SAE10W-40 API SL, которая загущенная измельченными твердыми использованными полиэтиленовыми изделиями. Рассматриваемая смазка является весьма перспективной, так как ее производство обеспечивает утилизацию промышленных и бытовых отходов, значительно снижая экологическую нагрузку на окружающую среду. Получаемая смазка имеет более высокие значения показателей качества, по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами. Установлено, что между рассматриваемыми стандартизованными показателями качества пластичной смазки наблюдается значимая ранговая корреляционная связь. Полученные зависимости между определенными показателями качества смазки адекватно описываются квадратичными уравнениями регрессии, о чем свидетельствуют очень высокие значения коэффициентов достоверности аппроксимации R^2 . Полученные зависимости могут быть использованы при прогнозировании изменения качества пластичной смазки при эксплуатации в узлах механизмов и на стадии их производства при разработке системы автоматического управления технологическим процессом.

Ключевые слова: пластичная смазка, базовое масло, загуститель, полиэтилен, показатель качества, корреляционная связь.

А. В. GRIGOROV**THE RESEARCH OF CORRELATION BETWEEN RECYCLING PLASTIC LUBRICANTS QUALITY INDICATORS**

The article shows the relationships between the main indicators of the quality of greases on the example of recycling lubrication, which is obtained from the used semi-synthetic motor oil SAE10W-40 API SL, which is thickened with crushed solid used polyethylene products. This lubricant is very promising, as its production provides utilization of industrial and domestic waste, significantly reducing the environmental burden on the environment. The resulting grease has higher quality values, compared to domestic and foreign counterparts. It is established that a significant rank correlation is observed between the standardized indicators of the quality of grease being considered. The obtained dependences between certain parameters of the lubricant quality are adequately described by the quadratic regression equations, as evidenced by very high values of the reliability coefficients of the approximation R^2 . The obtained dependences can be used when predicting the change in the quality of grease during operation in the nodes of mechanisms and at the stage of their production when developing a system for automatic control of the technological process.

Key words: plastic lubricant, base oil, thickener, polyethylene, quality index, correlation bond.

Вступ. Ринок пластичних мастил в Україні у своїй більшості складається з товарів всесвітньо відомих іноземних брендів, які тримають лідируючі позиції у сфері виробництва змащувальних матеріалів. Імпорт змащувальних матеріалів за останнє десятиріччя суттєво збільшувався з року в рік, що у остаточному рахунку сприяло повному заміщенню матеріалів вітчизняного виробництва закордонними аналогами. З одного боку це зумовлено закупівлею нашою державою іноземної техніки, для сервісного обслуговування якої необхідно тільки застосування регламентованих у керівництві з технічної експлуатації змащувальних матеріалів. З іншого – гострим дефіцитом сировини для виробництва якісних товарних продуктів у кількості, яка повністю спроможна забезпечити внутрішній попит на змащувальні матеріали.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У рамках реалізації Енергетичної

стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» основним напрямком в мінімізації імпорту змащувальних олів є розвиток виробництва змащувальних матеріалів, зокрема рециклінгових пластичних мастил, що базується на використанні у якості сировини промислових та побутових відходів.

Основною проблемою у реалізації технологій отримання товарної продукції з відходів, зокрема побутових до тепер була ідентифікація та сортування за видам відходів. Але прийняті від 1 січня 2018 року поправки до Закону України «Про відходи», що є аналогами директив, які діють у країнах ЄС [1, 2], дозволять залучати все більші обсяги відходів у промислові технології рециклінгу вторинної сировини. Такий підхід буде сприяти забезпеченню енергетичної незалежності нашої країни та частково вирішить екологічні проблеми, які пов'язані з

© Григоров А.Б., 2018

накопиченням цих шкідливих відходів.

Відмітимо, що відходи можуть успішно застосовуватися при виробництві змащувальних матеріалів, зокрема пластичних мастил.

Відомо, що у загальному вигляді пластичне мастило є складною багатокомпонентною системою, яку можна представити у вигляді суміші чотирьох основних компонентів: 70–90% (мас.) основа (базова олива), 5–15% (мас.) загущувач, 3–10% (мас.) наповнювачі і 2–5% (мас.) різних добавок.

У якості бази для виробництва мастил зазвичай використовують різні нафтові та синтетичні оливи, а також рослинні олії. Згущувачами у мастилах виступають металеві мила (натрію, кальцію, літію, алюмінію та інші), які є поверхнево-активними речовинами, виконують в мастилах одночасно різні функції. Ці основні компоненти в мастилі можуть бути успішно замінені на промислові та побутові відходи. Такі мастила можна віднести до рециклінгових мастил, застосування яких в різних вузлах та механізмах передбачає необхідність встановити залежності між основними показниками якості та виявити закономірність їх змінення.

Викладання основного матеріалу досліджень.

Сьогодні деякі промислові відходи, зокрема відпрацьовані змащувальні оливи застосовуються у виробництві пластичних мастил. Так, на базі очищених відпрацьованих моторних олив, загущувача (графіту) та протизносної присадки авторами роботи [3] були отримані антифрикційні мастила. Відоме гідратоване кальцієве і вуглеводневе консерваційне пластичне мастило з високими захисними властивостями на базі використання очищених відпрацьованих моторних олив в якості дисперсійного середовища [4]. Іншими відходами, які останнім часом все частіше залучаються до технологічних процесів рециклінгу з подальшим використанням у якості джерела вуглеводневої сировини, є тверді полімерні відходи (поліетилен, поліпропілен тощо).

Зазначимо, що сьогодні добавки поліетилену використовуються для поліпшення реологічних властивостей [5] та підвищення водостійкості [6] пластичних мастил. Але питанню щодо виробництва рециклінгових пластичних мастил, в яких і дисперсійне середовище, і загущувач є вторинні енергоресурси, до тепер не приділялося достатньо уваги. У зв'язку з чим у лабораторних умовах нами було отримано рециклінгове пластичне мастило, яке складалося з напівсинтетичної відпрацьованої моторної оливи SAE 10W-40 API SL, подрібнених використаних твердих поліетиленових виробів з поліетилену низького і великого тиску (ПНТ і ПВТ).

Таке мастило має ряд значних переваг перед мастилом, що отримане за класичною технологією: дешеві компоненти; немає необхідності глибокої очистки базової оливи (достатньо видалити воду та механічні домішки); продукти окислення вуглеводнів, що накопичуються в оливі під час експлуатації

виступають як протиокислювальні, протизносні та адгезійні присадки.

Основні показники якості пластичних мастил, що регламентовані у нормативній документації, можна умовно розділити на кількісні (пенетрація (X_p), колоїдна стабільність ($X_{к.с.}$), випаровуваність (X_v), температура каплепадіння ($t_{кп}$) та сповзання ($t_{сп}$)) та якісні (зовнішній вигляд; корозійний вплив на метали та адгезійна здатність) [7, 8].

Саме кількісні показники були визначені для отриманого нами пластичного рециклінг мастила при різних концентраціях загущувача, яка коливалася в межах 1-10% (мас.), з подальшим встановленням між ними певної залежності (див. рис. 1–10).

Для отриманих залежностей розрахуємо індекс кореляції (R), який є мірою зв'язку між змінними, за наступною формулою [9]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

де y_i – змінні; \hat{y}_i – значення змінних, розрахованих за рівнянням регресії; \bar{y} – середнє значення змінних.

Розрахункові значення індексу кореляції, який визначає потужність та напрямок зв'язку між змінними для нелінійних залежностей, наведено у табл. 1.

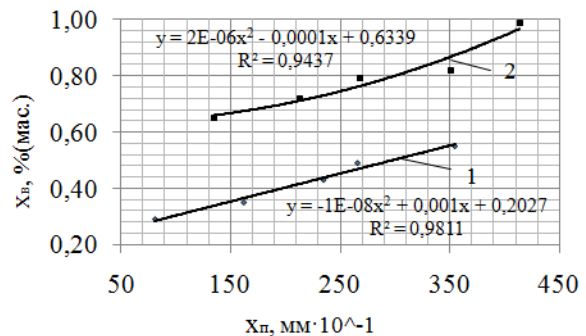


Рис. 1 – Залежність між випаровуваністю та пенетрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

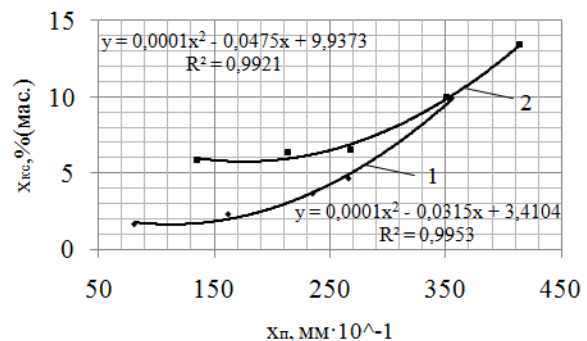


Рис. 2 – Залежність між колоїдною стабільністю та пенетрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

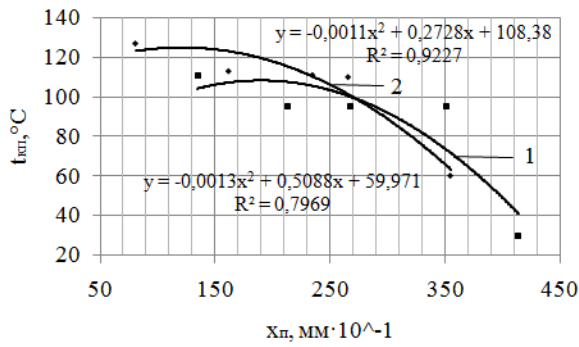


Рис. 3 – Залежність між температурою каплепадіння та penetрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

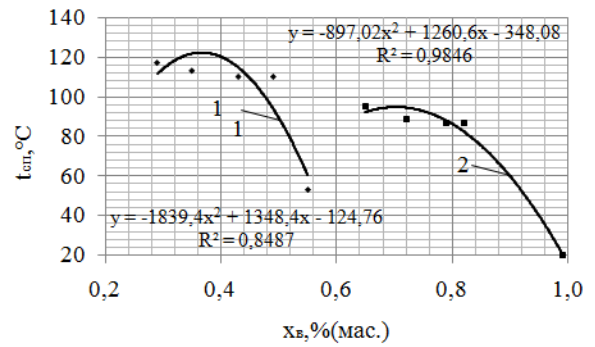


Рис. 7 – Залежність між температурою сповзання та випаровуваністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

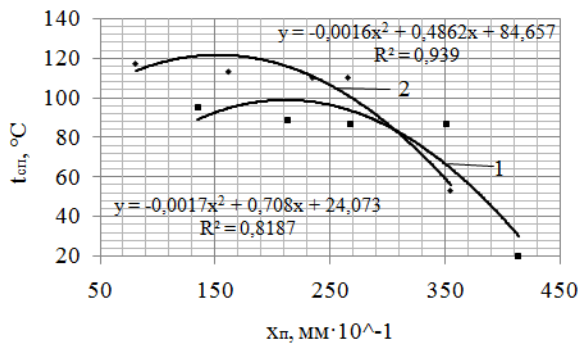


Рис. 4 – Залежність між температурою сповзання та penetрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

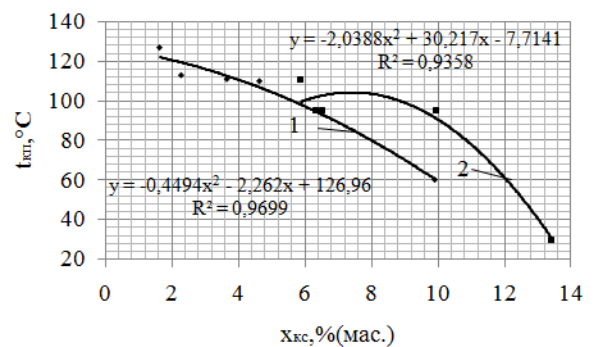


Рис. 8 – Залежність між температурою каплепадіння та колоїдною стабільністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

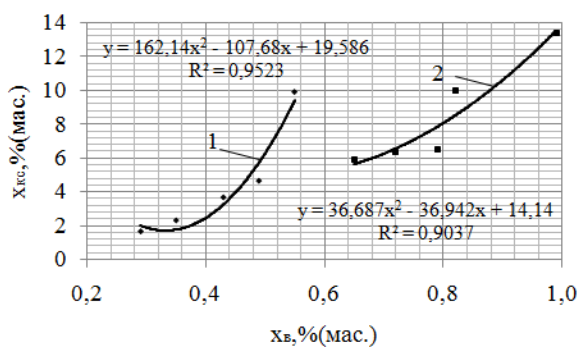


Рис. 5 – Залежність між колоїдною стабільністю та випаровуваністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

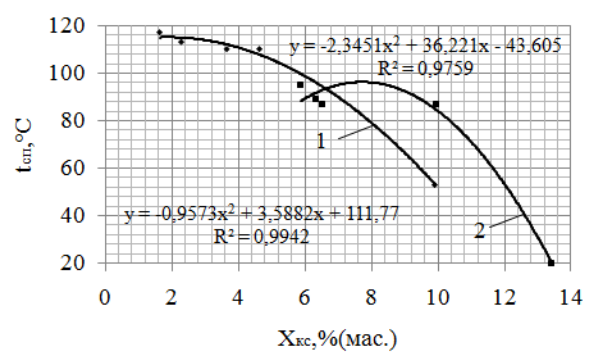


Рис. 9 – Залежність між температурою сповзання та колоїдною стабільністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

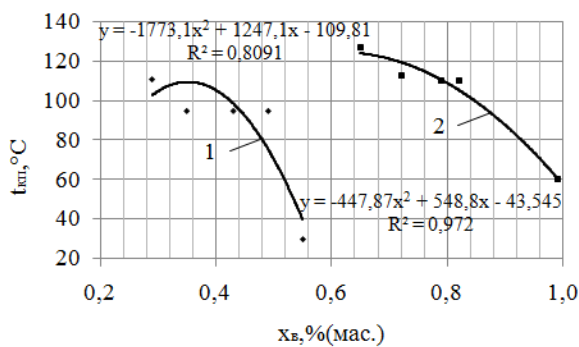


Рис. 6 – Залежність між температурою каплепадіння та випаровуваністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

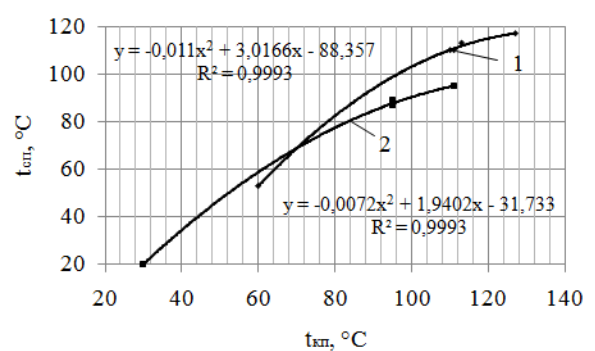


Рис. 10 – Залежність між температурою сповзання та температурою каплепадіння мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

Таблиця 1 – Значення індексу кореляції для показників якості отриманих мастил

№ п/п	Найменування пари змінних показників	Індекс кореляції, R при $r=0,95$ для мастил	
		5% ПНТ	5% ПВТ
1	X_B-X_{II}	0,99	0,99
2	$X_{KC}-X_B$	0,97	0,95
3	$t_{KII}-X_B$	-0,90	-0,98
4	$t_{CII}-X_B$	-0,92	-0,99
5	$X_{KC}-X_{II}$	0,66	0,62
6	$t_{KII}-X_{II}$	-0,88	-0,96
7	$t_{CII}-X_{II}$	-0,96	-0,90
8	$t_{KII}-X_{KC}$	-0,98	-0,97
9	$t_{CII}-X_{KC}$	-0,99	-0,99
10	$t_{CII}-t_{KII}$	0,99	0,99

Для якісної оцінки тісноти зв'язку між показниками якості мастил скористаємося шкалою Чеддока [10]. Отже, враховуючи те, що індекс кореляції майже для всіх пар показників займає значення вище 0,70, то силу зв'язку між визначеними показниками якості мастил слід вважати високою або дуже високою. Виключенням є сила зв'язку між $X_{KC}-X_{II}$, її можна оцінити як примітну. Також, для оцінки тісноти зв'язку між визначеними показниками якості пластичних мастил визначався коефіцієнт рангової кореляції Спірмена.

Встановлено, що зв'язок для кожної пари X_B-X_{II} , $X_{KC}-X_B$, $X_{KC}-X_{II}$, $t_{CII}-t_{KII}$ – сильний та прямий. Для пар $t_{KII}-X_B$, $t_{CII}-X_B$, $t_{KII}-X_{II}$, $t_{CII}-X_{II}$, $t_{KII}-X_{KC}$, $t_{CII}-X_{KC}$ зв'язок сильний та зворотній. Коефіцієнт рангової кореляції статистично значимий і ранговий кореляційний зв'язок між усіма показниками є значимим.

Висновки. Проведені дослідження показали, що отримані залежності між визначеними показниками якості мастила адекватно описуються квадратичними рівняннями регресії, про що свідчать дуже високі значення коефіцієнтів достовірності апроксимації R^2 .

Практично для всіх пар розглянутих показників якості пластичних мастил спостерігається сильний кореляційний зв'язок. Це може бути зумовлено сутністю вибраних показників якості, які в тій або іншій мірі характеризують структуру пластичного мастила. Також, слід враховувати, що розглянуті мастила фактично виступають сумішшю двох компонентів: підготовлених базової оливи та полімеру – загущувача. При додаванні у цю суміш інших загущувачів, наповнювачів та присадок різного функціонального призначення, наведені залежності будуть дещо змінюватися.

Встановлені залежності і індекси кореляції між показниками якості, які розглянуті у роботі, а також між ними та динамічною в'язкістю і межею міцності можуть бути використані при експлуатації мастил в вузлах механізмів для прогнозування їхньої працездатності, та при розробці системи автоматизованого контролю якості на стадії виробництва пластичних мастил.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Григоров Андрій Борисович (Grigorov Andrey Borisovich) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій переробки нафти, газу та твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5370-7016>; e-mail: grigorovandrey@ukr.net

Список літератури

1. Council Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. *Official Journal L* 182, 16 July 1999, pp. 1–19.
2. Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council. *Official Journal of EC L* 312/3, 22 November 2008, pp. 3–30.
3. Корнев А.Ю., Шихалев И.Н., Остриков В.В. Получение пластичных смазок на основе отработанных масел // *Наука в центральной России*. 2013. №6. С. 227–228.
4. Скобельцин А.С., Немец В.Л. Исследование возможности использования отработанных моторных масел в качестве дисперсионной среды мыльных смазок // *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. 2005. №9. С. 32–37.
5. Ravi Dixena, Eltepu Sayanna, Rajendra Badoni. *Recycled and Virgin HDPEs as Bleed Inhibitors and Their Rheological Influences on Lubricating Greases Thickened with PP and mPP* // *Lubricants*. 2014. №2. P. 237–248.
6. IHEME C., OFFURUM J., CHUKWUMA F. Production and Blending of Sodium Based Water-Resistant Lubricating Greases from Petroleum and Petrochemical By-Products // *American Journal of Computer Science and Engineering Survey*. 2014. №2. P. 070–078.
7. Манг Т. Смазки. Производство, применение, свойства: справочник. СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. 944 с.
8. Фукс И.Г., Шибряев С.Б. Состав, свойства и производство пластичных смазок. М.: Государственная академия нефти и газа им. И. М. Губкина, 1992. 153 с.
9. Харченко М.А. *Корреляционный анализ: учебное пособие для вузов*. Воронеж: ВГУ. 2008. 31 с.
10. Ферстер Э. *Методы корреляционного и регрессионного анализа*. Финансы и статистика, 1983. 302с.

References (transliterated)

1. Council Directive: 1999/31 / EC on the landfill of waste. *Official Journal L* 182, 16 July 1999, pp. 1-19.
2. Directive 2008/98 / EC of the European parliament and of the council. *Official Journal of EC L* 312/3, 22 November 2008, pp. 3-30.
3. Kornvev A.U., Shykhalev I.M., Ostrykov V.V. Otrymannya plastychnykh mastyl na osnovi vidprats'ovanykh masel [Preparation of greases based on used oils] // *Nauka v tseentral'nyy Rosiyi*, 2013, no 6, pp. 227–228.
4. Skobel'tsin A.S., Nimets' V.L. Doslidzhennya mozhlyvosti vykorystannya vidprats'ovanykh motornykh masel v yakosti dyspersivnoho seredovyschcha myl'nykh mastyl [Study of the possibility of using used motor oils as a dispersion medium of soap greases] // *Naftopereobka i naftokhimiya. Naukovo-tekhnichni dosyahnennya i peredovyy dosvid*. 2005, no 9, pp. 32–37.
5. Ravi Dixena, Eltepu Sayanna, Rajendra Badoni. *Recycled and Virgin HDPEs as Bleed Inhibitors and Their Rheological Influences on Lubricating Greases Thickened with PP and mPP* // *Lubricants*. 2014, no 2, pp. 237–248.
6. IHEME C., OFFURUM J., CHUKWUMA F. *Production and Blending of Sodium Based Water-Resistant Lubricating Greases from Petroleum and Petrochemical By-Products* // *American Journal of Computer Science and Engineering Survey*, 2014, no 2, pp. 070–078.
7. Manh T. *Lubricants. Production, application, properties: reference book*. St. Petersburg: OCP "Profession". 2010. 944 p. (Rus. ed.: Manh T. *Zmashchennya. Vyrobnystvo, zastosuvannya, vlastyivosti: dovidnyk*. SPb.: TSOP «Profesiya», 2010. 944 p.).
8. Fuks I.H., Shibrayev I.H. *Sklad, vlastyivosti i vyrobnystvo plastychnykh mastyl* [Composition, properties and production of greases]. M.: Derzhavna akademiya nafty i hazu im. I. M. Hubkina, 1992. 153 p.
9. Kharchenko M.A. *Korelyatsiyny analiz: navchal'nyy posibnyk dlya vuziv* [Correlation Analysis: A Textbook for Universities]. Voronezh: VDU. 2008. 31 p.
10. Ferster E. *Methods of correlation and regression analysis*. Finance and Statistics, 1983. 302p (Rus. ed.: Ferster E. *Metody korelyatsiynoho i rehresiynoho*. Finansy i statystyka. 1983. 302 p.).

Надійшла (received) 15.05.2018

УДК 664.14:662.99:536.7

С. И. МЕЛЬНИК, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Е. ДЕНИСОВА, А. В. БЕЛОУСОВ**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА**

Проведен термодинамический анализ систем производства сахара на основе применения как Первого закона термодинамики (энергетические показатели), так и совместного применения Первого и Второго закона термодинамики (эксергетические показатели). На основании этого анализа сформированы три группы энергосберегающих опций: использующих вторичные энергоресурсы; изменяющих параметры энергоносителей; основанных на конструктивных компоновочных решениях (структурные изменения системы). Показано, что выявленные потенциалы энергосбережения могут служить основой для последующей оптимизации систем производства сахара, однако, окончательное решение о применении этих энергосберегающих подходов предполагает проведение термоэкономической оценки, поскольку реализация большинства из энергосберегающих опций требует существенных капитальных вложений.

Ключевые слова: системы производства сахара, энергосберегающие опции, эксергетические показатели, термодинамический анализ.

С. І. МЕЛЬНИК, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Е. ДЕНИСОВА, А. В. БЕЛОУСОВ**ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ**

Проведено термодинамічний аналіз систем виробництва цукру на основі застосування як першого закону термодинаміки (енергетичні показники), так і спільного застосування першого і другого закону термодинаміки (ексергетичні показники). На підставі цього аналізу сформовані три групи енергозберігаючих опцій: які використовують вторинні енергоресурси; що змінюють параметри енергоносіїв; такі, що засновані на конструктивних компоновальних рішеннях (структурні зміни системи). Показано, що виявлені потенціали енергозбереження можуть служити основою для подальшої оптимізації систем виробництва цукру, однак, остаточне рішення про застосування цих енергозберігаючих підходів передбачає проведення термоекономічної оцінки, оскільки реалізація більшості з енергозберігаючих опцій вимагає істотних капітальних вкладень. Розраховані основні ексергетичні показники типової схеми виробництва цукру продуктивністю 3000 т цукру/добу, аналіз яких показав, що основним джерелом ексергетичних втрат (понад 70 %) в цих системах є процеси варіння утфелю, що характеризуються також невисоким ступенем термодинамічної досконалості (0,54). Втрати ексергії як в цих процесах, так і в частині інших, обумовлені значними тепловими потоками і необоротністю процесів теплообміну при істотних температурних напорах, а також дисипативними втратами процесів центрифугування, механічного поділу, дифузії і транспорту потоків. Проведений термодинамічний аналіз є основою для подальшої термоекономічної оптимізації систем виробництва цукру.

Ключові слова: системи виробництва цукру, енергозберігаючі опції, ексергетичні показники, термодинамічний аналіз

S. I. MELNIK, V. R. NIKULSHIN, A. E. DENYSOVA, A. V. BELOUSOV**THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SUGAR PRODUCTION SYSTEMS**

Thermodynamic analysis of sugar production systems was carried out based on the application of the First Law of Thermodynamics (energy characteristics) as well as on the joint application of the First and Second Law of Thermodynamics (exergy characteristics). Based on this analysis, three groups of energy-saving options were formed: using waste energy resources; changing energy parameters; based on structural changes in the system. It is shown that the identified energy-saving potentials can serve as a basis for the subsequent optimization of sugar production systems. However, the final decision on the application of these energy-saving options requires a thermo-economic approach, since the implementation of most of them requires significant capital investment. The main exergetic characteristics of a typical sugar production scheme with a capacity of 3000 tons of sugar per day have been calculated, analysis of which showed that the main source of exergy losses (more than 70 %) in sugar production systems are the boiling processes, which also have a low degree of thermodynamic perfection (0.54). Losses of exergy in these processes as well as in others are caused by big heat fluxes and irreversibility of heat exchange processes at significant temperature drops, and as dissipative losses of centrifugation processes, mechanical separation, diffusion and transport of streams. The presented thermodynamic analysis is the basis for the subsequent thermo-economic optimization of sugar production systems.

Keywords: sugar production systems, energy-saving options, exergy characteristics, thermodynamic analysis

Введение. Энергопотребление в сахарном производстве идет, в основном, в виде теплоты на проведение технологических процессов: выпаривание воды из сока, уваривание утфелей, нагрев стружки для проведения диффузионного процесса, нагрев соков в процессе очистки, а также на компенсацию потерь теплоты. При этом удельные энергетические затраты на единицу продукции могут достигать 1500 кДж/кг. Поэтому вопросом энергосбережения в процессах получения сахара посвящены многочисленные публикации. Кратко проанализируем наиболее интересные из них.

I. Анализ состояния вопроса. Значительная часть публикаций посвящена исследованию систем производства сахара с точки зрения Первого закона термодинамики, а именно на основании энергетического баланса. Такой подход использовался, например, в монографии по технологическим аспектам переработки сахара [1], в

справочниках и учебниках [2], [3].

На энергетических балансах базируются также работы по: повышению энергоэффективности, разработке энергосберегающих технических решений производства сахара, оценке эффективности оборудования, исследованию процессов экстракции в сахарном производстве [4], [5], улучшению характеристик процессов прессования жома, предпроектной оценке сахарного завода [6]. В качестве примера в табл.1 представлен тепловой баланс типового сахарного завода.

Вместе с тем, для выявления необратимости протекающих в системе процессов необходимо привлечение не только Первого, но и Второго закона термодинамики, а, следовательно, использование эксергетического метода с последующим выходом на термоэкономический анализ.

© Мельник С.И., Никульшин В.Р., Денисова А.Е., А.В. Белоусов, 2018

Таблица 1 - Тепловой баланс типового сахарного завода [1]

Наименование показателя		Количество теплоты, кДж/кг	Доля теплоты, %
Приход теплоты			
1	Греющий пар из ТЭЦ	1471,86	71,98
2	Сырье	37,71	1,84
3	Барометрическая вода	169,35	8,28
4	Известковое молоко и сатурационный газ	62,26	3,04
5	Электроэнергия	76,59	3,74
6	Возврат конденсата из ТЭЦ	146,65	7,17
7	Возврат жомпрессовой воды	80,48	3,94
ВСЕГО:		2044,88	100,00
Расход теплоты			
1	Конденсат в ТЭЦ	482,68	23,60
2	Конденсат в аммиачный сборник	257,18	12,58
3	Жом отжатый	138,18	6,76
4	Сахар	12,06	0,59
5	Фильтрационный осадок	21,70	1,06
6	Пар на конденсатор	527,94	25,82
7	Аспирация	6,28	0,31
8	Тепловые потери через поверхность оборудования и трубопроводы	477,40	23,35
9	Тепловые потери при 1-й сатурации	74,16	3,63
10	Тепловые потери при 2-й сатурации	28,99	1,42
11	Сульфитация воды	10,60	0,52
12	Сульфитация сока	5,65	0,28
13	Сульфитация сиропа	2,01	0,10
ВСЕГО:		2044,88	100,00

Из наиболее интересных работ можно отметить применение эксергетического подхода для совершенствования когенерационных систем в сахарной промышленности [7], исследования эффективности и воздействия на окружающую среду системы по производству сахара и этанола, оптимизации сахарного завода [8], [9].

Термоэкономический анализ использовался для: исследования систем выпаривания в сахарной промышленности и совершенствования процесса производства сахара на действующих предприятиях [10], оптимизации совместной выработки сахара, этанола и электричества [11].

Цель работы. Определение основных эксергетических показателей типовых процессов получения сахара, формирование соответствующих энергосберегающих опций, проведение на этой основе термодинамического анализа системы в целом для ее последующей термоэкономической оптимизации.

II. Энергосберегающие опции. Анализ источников энергетических потерь в системах производства сахара, рассмотренных выше, а также исследованных в [12], [13], позволил сформировать следующие три группы энергосберегающих опций:

1. Опции, использующие вторичные энергоресурсы: использование горячего сока на клеровку желтого сахара; использование уфельного пара; обогрев вакуум-аппаратов уфельным паром; использование теплоты конденсатов для нагрева оттеков в продуктовом отделении; применение конденсата для нагрева диффузионного или дефекованного сока; применение конденсата для

нагрева сока 1-й сатурации перед фильтрацией (отстойниками); использование конденсата для нагрева сока перед 2-й сатурацией и сока перед выпарной установкой; использование теплоты сатурационных газов; использование деаммонизированных конденсатов и жомпрессовой воды для питания диффузионных установок; использование уфельного пара для нагрева диффузионного или дефекованного сока.

2. Опции, изменяющие параметры энергоносителей: компрессия вторичного пара МВУ; снижение температуры отбора диффузионного сока; снижение температуры горячей дефекации, процесса 1-й и 2-й сатурации; использование теплоты неконденсирующихся газов; снижение возврата нефильтрованного сока 1-й сатурации, в том числе возврат густой суспензии; применение комбинированной пробелки сахара; повышение разрежения в вакуум-аппаратах за счет снижения подсосов воздуха, улучшения работы конденсационной установки, снижения аэродинамических потерь в трубопроводах.

3. Опции, основанные на конструктивно-компоновочных решениях (структурные изменения): применение гидродинамического испарителя; перенос пароотбора на конечные корпуса МВУ; увеличение числа корпусов МВУ; улучшение циркуляции уфеля в вакуум-аппарате вдуванием пара, аммиачных газов, воздуха; нагрев оттеков в продуктовом отделении в пластинчатых подогревателях; снижение поступления пара из последнего корпуса в конденсатор; улучшение тепловой изоляции

оборудования и трубопроводов; отвод пропарки вакуум-аппаратов в клеровочные мешалки.

Нетрудно видеть, что выявленные потенциалы энергосбережения могут служить основой для последующего поиска рациональных вариантов схем производства сахара. Однако, следует учитывать, что реализация большинства из них (например, использование утфеляного пара, компрессия вторичного пара МВУ, перенос пароотбора на конечные корпуса, увеличение числа корпусов МВУ и т.д.) потребует существенных капитальных вложений. Поэтому, окончательное решение о применении конкретных энергосберегающих опций требует проведения соответствующей термоэкономической оценки [5], [10], которая, как известно, предполагает проведение термодинамического анализа системы с расчетом соответствующих эксергетических потоков и потерь эксергии как в отдельных элементах сахарного производства, так и в системе в целом.

III. Термодинамический анализ типовой схемы получения сахара. Рассмотрим типовую технологическую схему производства сахарного завода производительностью 3000 т/сутки и определим соответствующие эксергетические показатели по методике, изложенной в [14]. Агрегированная технологическая схема производства сахара приведена на рис.1 и состоит из следующих основных блоков.

Блок I. Аффинация утфеля. Аффинация является эффективным способом повышения качества аффинируемого сахара-сырца. Улучшение качества аффинируемого сахара достигается путем замены пленки маточного раствора на поверхности аффинируемого сахара на меньшее ее количество и более высокого качества. Процесс аффинации состоит из двух ступеней: приготовления аффинационного утфеля и его центрифугирования аффинационного утфеля. Аффинации можно подвергать любой сахар: сахар-сырец, желтые сахара и сахар утфеля первого продукта.

Блок II. Фуговка и пробеливание. Применяется способ двухступенчатой промывки (пробеливания) сахара в центрифуге — вначале сахарсодержащим раствором, а затем водой. Данный способ в зависимости от условий его проведения позволяет не только уменьшить количество воды на пробелку и уменьшить за счет этого растворение сахара, но и улучшить его качество.

Пробеливание сахара в центрифуге можно проводить и сахарсодержащим раствором, цветность которого ниже цветности маточного раствора, содержащегося на поверхности кристаллов сахара, например, сиропом.

Блок III. Клеровка сахара-сырца. Клеровка сахара-сырца — растворение сахара-сырца промием до определенного значения СВ клеровки с поддержанием необходимой температуры.

Блок IV. Дефекация. Дефекация — достаточно

полное разложение редуцирующих веществ и амидов в клеровке, в результате чего улучшается термоустойчивость клеровки на последующих станциях производства, а также улучшается скорость осаждения и фильтрования взвешенных веществ в клеровке. Дефекация имеет целью очистку диффузионного сока посредством коагуляции известью белков и красящих веществ и осаждения ряда анионов, дающих нерастворимые соли с ионом кальция извести (анионы щавелевой, фосфорной и ряда других кислот); кроме того, на дефекации идет ряд реакций разложения несахаров.

Блок V. Сатурация. Дефекованную клеровку подвергают двухступенчатой сатурации: на первой ступени ее обрабатывают сатурационным газом до pH 10...10,5 (щелочность по фенолфталеину 0,06...0,09 % CaO), на второй ступени — до pH 9...9,2 (щелочность по фенолфталеину 0,03...0,04 % CaO). Первая сатурация — осаждение в виде карбоната кальция избытка извести, прибавленной во время дефекации с помощью подачи в аппарат сатурационного газа. Вторая сатурация — снижение солей кальция в клеровке, дополнительная очистка от несахаров и термоустойчивость клеровки.

Блок VI. Подогрев сиропа. Отсатурированный сок нагревают до 90° С, чтобы улучшить фильтрацию.

Блок VII. Фильтрация. Цель фильтрования — удаление максимально возможного количества взвешенных частиц из сока. Технологической схемой производства предусматривается фильтрование сока I сатурации (основное и контрольное), сока II сатурации, сиропа с клеровкой. Фильтрование сока I сатурации для повышения производительности вакуум-фильтров проводится в две стадии: сначала сок в отстойниках или фильтрах-сгустителях разделяется на декантат (осветленная часть сока) и сгущенную суспензию (жидкая среда со взвешенными в ней твердыми частицами). Затем, сгущенную суспензию направляют в вакуум-фильтры. Фильтрат из вакуум-фильтров и декантат из отстойников смешивают и еще раз пропускают через контрольные фильтры.

Блок VIII. Сульфитация. Полученный сок обрабатывают газом SO₂ (сульфитация) для дополнительного обесцвечивания его и еще раз фильтруют. Очищенный сок светло-желтого цвета. В нем содержится около 15 % сухих веществ и около 14 % сахара.

Блок IX. Фильтрация. После операции блока VIII сироп подвергают дополнительной фильтрации для дополнительной очистки.

Блок X. Клеровка. Операция предусматривает дополнительную очистку сиропа свежим паром.

Блок XI. Фильтрация через адсорбент. Производится дополнительная очистка от коллоидных примесей.

Блок XII. Уваривание от рафинада. Применяется с целью удаления крупных кристаллов сахара. Данная процедура производится в вакуумных ТОА.

Блок XIII. Фуговка и пробеливание. Производится с целью получения товарного продукта — рафинированного песка.

Блок XIV. Подогрев аффинового оттока. Подогрев оттока до 70 °С для последующей поддачи в блок I.

Блок XV. Фильтрация на барабанных фильтрах. Цель процесса — очистка суспензии после блока VII для дальнейшего технологического использования.

Блок XVI. Фильтрация через адсорбент. Аналогично блоку XI. Отличие заключается в использовании другого фильтрующего материала.

Блок XVII. Фильтрация через адсорбент. Аналогично блоку XVI. Фильтрация подвергается оттек после блока XIII, второй оттек после уваривания I продукта, третий оттек после уваривания III продукта.

Блок XVIII. Сборник сиропа. Осуществляется сборка сиропа после фильтрации и соответствующая обработка технологическим паром с целью очистки.

Блок XIX. Уваривание I рафинада. Процесс производится в первом корпусе выпарной станции с целью получения I рафинада (первое нормированное значение сухих веществ согласно технологического регламента).

Блок XX. Фуговка и пробеливание. Производится промежуточная очистка продукта перед второй ступенью уваривания. Первый оттек подается в блок XXI, рафкашка выводится из технологического цикла для дальнейшей переработки, второй оттек подается в блок XVII.

Блок XXI. Фильтрация через адсорбент. Аналогично блоку XI. Фильтруется первый оттек после блока XX и второй оттек после блока XXIV.

Блок XXII. Сборник сиропа. Осуществляется сборка сиропа после фильтрации и соответствующая обработка технологическим паром с целью очистки.

Блок XXIII. Уваривание II рафинада. Процесс производится во втором корпусе выпарной станции с целью получения II рафинада (второе нормированное значение сухих веществ согласно технологического регламента).

Блок XXIV. Фуговка и пробеливание. Производится промежуточная очистка продукта перед третьей ступенью уваривания.

Блок XXV. Сборник сиропа лумпа. Осуществляется сборка технологических потоков различных параметров и чистоты.

Блок XXVI. Уваривание сиропа лумпа. Производится с целью получения сиропа усредненной консистенции и чистоты.

Блок XXVII. Фуговка и пробеливание. Производится финальная очистка продукта перед увариванием.

Блок XXVIII. Сборник сиропа первого

продукта. Осуществляется сбор потоков различных видов для последующего направления в выпарную станцию.

Блок XXIX. Подогрев сиропа. Предварительный нагрев сиропа до температуры согласно технологического регламента.

Блок XXX. Уваривание первого продукта. Процесс производится в первом корпусе выпарной станции с целью получения I продукта (первое нормированное значение сухих веществ согласно технологического регламента).

Блок XXXI. Фуговка и пробеливание. Производится очистка продукта перед дальнейшим увариванием.

Блок XXXII. Клеровка сахара первого продукта. Разбавление сахара первого продукта.

Блок XXXIII. Сборник сиропа второго продукта. Осуществляется сбор потоков различных видов для последующего направления в последующий корпус выпарной станции.

Блок XXXIV. Подогрев сиропа. Предварительный нагрев сиропа до температуры согласно технологического регламента.

Блок XXXV. Уваривание второго продукта. Процесс производится во втором корпусе выпарной станции с целью получения II продукта (второе нормированное значение сухих веществ согласно технологического регламента).

Блок XXXVI. Фуговка и пробеливание. Производится очистка продукта перед дальнейшим увариванием.

Блок XXXVII. Клеровка сахара второго продукта. Разбавление сахара второго продукта.

Блок XXXVIII. Уваривание третьего продукта. Процесс производится в третьем корпусе выпарной станции с целью получения III продукта (третье нормированное значение сухих веществ согласно технологического регламента).

Блок XXXIX. Фуговка и пробеливание. Производится очистка продукта перед разбавлением в блоке XXXX.

Блок XXXX. Клеровка сахара третьего продукта. Разбавление сахара третьего продукта.

Подробное описание каждого из блоков и соответствующих технологических операций приведено в [3].

Применение подхода, изложенного в [14], реализованного в виде процедур встроенного языка высокого уровня математического пакета Maple 2017, позволило получить термодинамические характеристики как отдельных блоков схемы, так и агрегированных по технологическому признаку групп элементов (процессов). Анализ производственных процессов удобно проводить по технологическим операциям, которые циклично повторяются при выполнении технологического регламента производства сахара, объединённым в следующие характерные группы, а именно: клеровка продуктов, подогрев сиропа, варка уфелей, сбор сиропов, фильтрация продуктов, химико-

технологическая обработка продуктов, фуговка и полученные результаты (табл. 2: СТС – степень пробеливание. Последовательно анализируем термодинамического совершенства).

Таблица 2 – Эксергетические характеристики процессов получения сахара

№	Наименование продуктов	Эксергия на входе $E_{вх}$, кВт	Эксергия на выходе $E_{вых}$, кВт	Потери эксергии П, кВт	СТС, v
Клеровка продукта					
1	Аффинационный сахар-сырец	373	186	187	0,5
2	Сироп после до насыщения сахаром лумпа	382	317	65	0,83
3	Сахар I продукта	75	40	35	0,53
4	Сахар 2 продукта	136	84	52	0,64
5	Сахар 3 продукта	56	38	18	0,68
Итого по клеровке продукта		1022	665	357	0,65
Подогрев сиропов					
1	Второй аффинационный оттек	54	32	22	0,59
2	Сироп аффинационного сахара	405	312	93	0,77
3	Сироп I рафинада в сборнике	170	154	16	0,9
4	Сироп II рафинада	113	102	11	0,9
5	Сироп 1 продукта	120	90	30	0,75
6	Сироп 2 продукта	172	141	31	0,82
Итого по подогреву сиропов		1034	831	203	0,8
Процессы варки утфелей					
1	Утфель 0 рафинада	3094	1643	1451	0,55
2	Утфель I рафинада	1511	799	712	0,53
3	Утфель II рафинада	746	410	336	0,55
4	Утфель лумпа	844	476	368	0,56
5	Утфель 1 продукта	684	369	315	0,54
6	Утфель 2 продукта	1165	635	530	0,54
7	Утфель 3 продукта	192	116	76	0,60
Итого по процессам варки утфелей		8236	4448	3788	0,54
Сбор сиропов					
1	Сироп лумпа	119	110	9	0,93
2	Сироп 1 продукта	65	59	6	0,91
3	Сироп 2 продукта	125	115	10	0,92
Итого по сбору сиропов		309	284	25	0,92
Фильтрация					
1	Сироп до сульфитации	290	260	30	0,89
2	Сироп после сульфитации	246	230	16	0,93
3	Сироп донасыщенный	317	290	27	0,91
4	Сироп I рафинада	155	138	17	0,89
5	Сироп II рафинада	93	87	6	0,91
6	Суспензия	13	8	5	0,62
7	Промои	8	7	1	0,88
Итого при фильтрации		1122	1020	102	0,91
Обработка продуктов					
1	Аффинация сахара-сырца	207	176	31	0,85
2	Дефекация сиропа	226	206	20	0,91
3	Сатурация сиропа	206	187	19	0,91
4	Сульфитация сиропа	260	246	14	0,95
Итого при обработке продуктов		899	815	84	0,91
Фуговка и пробеливание					
1	Аффинационный утфель	296	188	108	0,64
2	Утфель 0 рафинада	401	215	186	0,54
3	Утфель I рафинада	197	140	57	0,72
4	Утфель II рафинада	130	74	56	0,57
5	Утфель лумпа	147	90	57	0,6
6	Утфель 1 продукта	127	67	60	0,53
7	Утфель 2 продукта	278	133	145	0,48
8	Утфель 3 продукта	93	42	51	0,45
Итого по процессам фуговки и пробеливания		1669	949	720	0,57

При клеровке продукта, наибольшие потери эксергии (187 кВт) приходятся на процесс получения аффинационного сахара-сырца при минимальном значении степени термодинамического совершенства 0,5. Это обусловлено диссипативными потерями процессов центрифугирования, механического разделения и измельчения, диффузии, при которых затрачивается электроэнергия на приводы оборудования. В процессах подогрева сиропов потери эксергии вызываются необратимостью теплообмена при достаточно высоких температурных напорах, а также диссипативными потерями процессов перекачки данного продукта на последующие технологические этапы. Наибольшие потери эксергии (93 кВт) приходятся на процесс подогрева сиропа аффинационного сахара при невысоком значении степени термодинамического совершенства 0,77. При варке утфелей наибольшие потери эксергии (1451 кВт) приходятся на процесс варки утфеля первичного рафинада при невысоком значении степени термодинамического совершенства 0,55, что является следствием больших тепловых потоков и необратимости процессов теплообмена при достаточно высоких температурных напорах при получении утфельной массы путем удаления воды из концентрированных сахаросодержащих растворов до пересыщения выпариванием. Кроме того, свой вклад вносят диссипативные потери при введении затравочного материала в пересыщенный раствор и наращивании кристаллов сахарозы. В процессах сбора сиропов потери эксергии обусловлены диссипациями при транспортировке данного продукта из нескольких мест с последующим их смешением и прямыми потерями эксергии теплоты в окружающую среду в этом оборудовании из-за несовершенства тепловой изоляции. Наибольшие потери эксергии (10 кВт) приходятся на процесс

сбора сиропа 2 продукта при достаточно высоком значении степени термодинамического совершенства 0,92. При фильтрации наибольшие потери эксергии (30 кВт) приходятся на процесс фильтрования сиропа до сульфитации при достаточно высоком значении степени термодинамического совершенства 0,89. Это объясняется диссипативными процессами при фильтрации и качеством технологического фильтрационного материала. В процессах обработки продуктов наибольшие потери эксергии (31 кВт) приходятся на процесс аффинации сахара-сырца при минимальном значении степени термодинамического совершенства 0,85, что обусловлено необратимостью физико-химических процессов очистки сахара-сырца.

При фуговке и пробеливании потери эксергии являются следствием дополнительных расходов теплоты на подогрев и уваривание первичной утфельной массы и необратимостью процессов теплообмена при достаточно высоких температурных напорах. Кроме того, свой вклад вносят диссипативные потери процессов перекачки данного продукта на последующие технологические этапы. Наибольшие потери эксергии (186 кВт) приходятся на процесс образования утфельной массы рафинада в начальном состоянии при невысоком значении степени термодинамического совершенства 0,54.

Как следует из рассмотрения результатов, приведенных в табл. 3, наибольшие эксергетические потери наблюдаются в процессе варки утфелей (более 70 % эксергетических потерь всего процесса производства сахара). Кроме того, варка утфелей характеризуется также наименьшей степенью термодинамического совершенства из всех рассматриваемых процессов (0,54), поэтому именно этим процессам традиционно и уделяется наибольшее внимание [1], [5], [12].

Таблица 3 – Эксергетические характеристики технологической схемы производства сахара

№	Наименование продуктов	Эксергия на входе $E^{вх}$, кВт	Эксергия на выходе $E^{вых}$, кВт	Потери эксергии Π , кВт	СТС, v
1	Клеровка продуктов	1022	665	357	0,65
2	Подогрев сиропов	1034	831	203	0,80
3	Варка утфелей	8236	4448	3788	0,54
4	Сборы сиропов	309	284	25	0,92
5	Фильтрация сиропов	1122	1020	102	0,91
6	Обработка продуктов	899	815	84	0,91
7	Фуговка и пробеливание сахара	1669	949	720	0,57
Всего		14291	9012	5279	0,63

Выводы:

1. На основании проведенного термодинамического анализа систем производства сахара сформированы три группы энергосберегающих опций: использующих вторичные энергоресурсы; изменяющих параметры энергоносителей; основанных на конструктивных компоновочных решениях (структурные изменения системы).

2. Рассчитаны основные эксергетические показатели типовой схемы производства сахара производительностью 3000 т сахара в сутки, анализ которых показал, что основным источником

эксергетических потерь (более 70 %) в системах производства сахара являются процессы варки утфелей, характеризующиеся также невысокой степенью термодинамического совершенства (0,54). Потери эксергии как в этих процессах, так и в части остальных, обусловлены значительными тепловыми потоками и необратимостью процессов теплообмена при существенных температурных напорах, а также диссипативными потерями процессов центрифугирования, механического разделения, диффузии и транспорта потоков.

3. Показано, что выявленные потенциалы энергосбережения и рассчитанные эксергетические

характеристики системи можуть служити основою для послідувальної термoeкономічної оптимізації систем виробництва цукру, оскільки реалізація

більшості з енергосберегаючих опцій потребує суттєвих капітальних вкладень.

Список літератури

1. Штангев К.О. *Випарні установки та теплові схеми цукрових заводів*. Київ: ЮНІДО. 2015. 66 с.
2. Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. *Технология сахара: учебник*. С.-Петербург: ИД «Профессия». 2013. 296 с.
3. Славянский А.А. *Промышленное производство сахара: Учебное пособие*. М.: МГУТУ имени К.Г. Разумовского. 2015. 255 с.
4. Sobczyński J. *Ocena eksploatacji instalacji ekstraktora korytowego współpracującego z zaparzalnikiem w Cukrowni Miejska Górka*. *Gazeta Cukrownicza*. 2010. № 46, pp. 103–105.
5. Schulze T. A look at technological and technical tower extraction trends SUGAR INDUSTRY. *Zuckerindustrie*. 2015. vol. 140. № 12, pp. 748–752.
6. Yousif Karm and Ahmed Rahamatalla. 2014. *Previous Study of Elgunied Sugar Factory*.
7. R. Palacois-Bereche, A. Ensinas, M. Modesto, S.A. Nebra. *New alternatives for the fermentation process in the ethanol production from sugarcane: extractive and low temperature fermentation*. *Energy*. 2014. vol. 70, pp. 595–604. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.032>.
8. T. Taner, M. Sivrioglu. *Data on energy, exergy analysis and optimization for a sugar factory*. *Data in Brief*. 2015. № 5, pp. 408–410. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/dib.
9. Tolga Taner, Mecit Sivrioglu. *Energy exergy analysis and optimisation of a model sugar factory in Turkey*. *Energy*. 2015. vol. 93, pp. 641–654.
10. G.D. Vuckovic, M.M. Stojiljkovic, M.C. Vukic, G.M. Stefanovic, E.M. Dedeic. *Advanced exergy analysis and exergoeconomic performance evaluation of thermal processes in an existing industrial plant*. *Energy Convers. Manag.* 2014. vol. 85, pp. 655–662. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.049>.
11. L.F. Pellegrini, S. Oliveira Junior. *Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoeconomic and environmental analysis and optimization*. *Energy*. 2011. vol. 36, pp. 3704–3715. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.01>.
12. Luiz Felipe Pellegrini, Silvio de Oliveira Junior. *Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoeconomic and environmental analysis and optimization*. *Energy*. 2011. vol. 36, pp. 3704–3715.
13. Мельник С.И., Никульшин В.Р., Денисова А.Е. *Потенциалы энергосбережения в энерготехнологических системах производства сахара*. Праці VII Міжнарод. конф. «Муниципальная энергетика: Проблемы, решения». Миколаїв. 21–22 грудня 2017. С. 31–33.
14. Мельник С.И. *Анализ производственного процесса сахарорафинадного производства с использованием эксерготопологических моделей на графах*. *Наук. праці ОНАХТ*. 2011. вип. 39. Том 1. С. 240–243.
2. Sapronov A.R., Sapronova L.A., Ermolaev S.V. *Tehnologija sahara: uchebnik* [Technology of sugar: a textbook]. St. Petersburg: ID «Professija» Publ. 2013. 296 p.
3. Slavjanskij A.A. *Promyshlennoe proizvodstvo sahara: Uchebnoe posobie*. [Industrial production of sugar: Tutorial]. Moscow: MGUTU im. K.G. Razumovskogo Publ. 2015. 255 p.
4. Sobczyński J. *Ocena eksploatacji instalacji ekstraktora korytowego współpracującego z zaparzalnikiem w Cukrowni Miejska Górka* [Evaluation of the operation of the extractor in the Miejska Górka Sugar Factory]. *Gazeta Cukrownicza*. 2010. no. 4, pp. 103–105.
5. Schulze T. *A look at technological and technical tower extraction trends SUGAR INDUSTRY*. *Zuckerindustrie*. 2015. vol. 140. no. 12, pp. 748–752.
6. Yousif Karm and Ahmed Rahamatalla. 2014. *Previous Study of Elgunied Sugar Factory*.
7. R. Deshmukh, A. Jacobson, D. Kammer. *Thermal gasification or direct combustion? Comparison of advanced cogeneration systems in the sugarcane industry*. *Biomass Bioenergy*. 2013. vol. 55, pp. 163–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.01.033>.
8. T. Taner, M. Sivrioglu. *Data on energy, exergy analysis and optimization for a sugar factory*. *Data in Brief*. 2015. no. 5, pp. 408–410. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/dib.
9. Tolga Taner, Mecit Sivrioglu. *Energy exergy analysis and optimisation of a model sugar factory in Turkey*. *Energy*. 2015. vol. 93, pp. 641–654.
10. Vuckovic G.D., Stojiljkovic M.M., Vukic M.C., Stefanovic G.M., Dedeic E.M. *Advanced exergy analysis and exergoeconomic performance evaluation of thermal processes in an existing industrial plant*. *Energy Convers. Manag.* 2014. vol. 85, pp. 655–662. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.049>.
- L.F. Pellegrini, S. Oliveira Junior. *Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoeconomic and environmental analysis and optimization*. *Energy*. 2011. vol. 36, pp. 3704–3715. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.01>.
12. Luiz Felipe Pellegrini, Silvio de Oliveira Junior. *Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoeconomic and environmental analysis and optimization*. *Energy*. 2011. vol. 36, pp. 3704–3715.
13. Mel'nik S.I., Nikul'shin V.R., Denisova A.E. *Potencialy jenergosberezhenija v jenergotehnologicheskikh sistemah proizvodstva sahara*. [Potential of energy saving in energy technology systems of sugar production]. *Praci VII Mizhnarod. konf. "Municipal'na energetyka: Problemy, rishennja"*. [Municipal Energy: Problems, Solutions. Abstracts of the VII Int. Conf. 21–22 december 2017, Mikolaev]. *Mykolai'v. 21–22 grudnja 2017*, pp. 31–33.
14. Mel'nik S.I. *Analiz proizvodstvennogo processa sahara-rafinaadnogo proizvodstva s ispol'zovaniem jeksergotopologicheskikh modelej na grafah* [Analysis of a sugar production based on exergy-topological models]. *Nauk. praci ONAHT*. 2011. vol. 39. Tom 1, pp. 240–243.

Поступила (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мельник Сергій Ігоревич (Мельник Сергей Игоревич, Melnik Sergiy Igorevych) – інженер, старший викладач кафедри загальної, теоретичної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4784-9736>; e-mail: mardaud@i.ua

Никульшин Володимир Русланович (Никульшин Владимир Русланович, Nikulshin Vladimir Ruslanovich) — доктор технічних наук, професор завідувач кафедри загальної, теоретичної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5946-8562>; e-mail: vnikul@paco.net.

Денисова Алла Євсївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsivna) – доктор технічних наук, професор кафедри теплових електричних станцій і енергосберегаючих технологій, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3906-3960>; e-mail: alladenysova@gmail.com

Белуосов Олександр Валерійович (Белуосов Александр Валериевич, Belousov Oleksandr Valeriyovych) – магістр, завідувач лабораторії інноваційних технологій дидактики польської мови "Polonia Tantum", Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6652-7858>; e-mail: wywka3@i.ua.

УДК 378.65.011.56

Є. А. ПОЛИВАНОВ^і**КВАНТОВО-ХІМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ «ГЛУТАТІОН-ПЕКТИН» ТА ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ У СКЛАДІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

У статті приведені результати аналітичного дослідження властивостей глутатіону, як коротколанцюгового пептиду. Проаналізовано можливість підвищення харчової та біологічної цінності за рахунок його внесення до складу харчової продукції. Глутатіон активізує процеси асиміляції та дисиміляції в організмі людини, результатами яких є оновлення клітин, їх захист від негативних факторів впливу зовнішнього середовища та мутації. Глутатіон, як усі коротколанцюгові пептиди, може бути зруйнованим під впливом кислотності шлунку, механічних ушкоджень, появи вологи, у разі вмісту у сухих продуктах. У матеріалах статті запропоновано шляхи стабілізації глутатіону шляхом уміщення його до матриці пектинового гелю та, у такий спосіб, прогнозується вирішення проблеми нестачі даного коротколанцюгового пептиду в організмі. Засобами квантово-хімічного моделювання, описані способи зв'язування глутатіону з функціональними групами залишків галактуранових кислот, що є складовими пектину.

Ключові слова: глутатіон, пектин, квантово-хімічне моделювання, коротколанцюгові пептиди, цистеїн, гліцин, глутамін.

Е. А. ПОЛИВАНОВ**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ГЛУТАТИОН-ПЕКТИН» И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

В статье приведены результаты аналитического исследования свойств глутатиона, как короткоцепочечного пептида. Проанализирована возможность повышения пищевой и биологической ценности за счет его внесения в состав пищевой продукции. Глутатион активизирует процессы ассимиляции и диссимилиации в организме человека, результатами которых являются омоложение клеток, их защита от негативных факторов влияния окружающей среды и мутации. Глутатион, как все короткоцепочечные пептиды, может быть подвержен деструкции под действием кислотности желудка, механических повреждений, появления влажности, в случае содержания в сухих продуктах. В материалах статьи предложены варианты стабилизации глутатиона, путем помещения его в матрицу пектинового геля и, таким образом, прогнозируется решение проблемы нехватки данного короткоцепочечного пептида в организме. По средствам квантово-химического моделирования, описаны способы связывания глутатиона с функциональными группами остатков галактурановой кислот – составляющих пектина.

Ключевые слова: глутатион, пектин, квантово-химическое моделирование, короткоцепочечные пептиды, цистеин, глицин, глутамин.

Y. A. POLYVANOV**QUANTUM-CHEMICAL MODELING OF GLUTATHIONE-PECTIN SYSTEM AND EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF THEIR USING IN THE FOODSTUFFS COMPOSITION**

The article presents the results of the analytical study of glutathiones properties, as a short chain peptide, and analyzed the possibility of increasing the nutritional and biological value due to its introduction into food products. Glutathione activates assimilation and dismulson processes in the organism, the results of which are the cells rejuvenation, their protection from negative factors of influence and mutations. Glutathione, like all short-chain peptides, has the ability to break down under the influence of various factors (acidity of the stomach, mechanical effects, and the appearance of moisture in dry foods). The article proposes the solution of the problem of glutathione lack in the organism and the difficulties of the restoration of its level in the organism by means of its stabilization in the pectin matrix. The article describes a method of combining glutathione with functional groups of galacturonic acid residues, using quantum-chemical modeling.

Keywords: glutathione, pectin, quantum-chemical modeling, short chain peptides, cysteine, glycine, glutamine.

Вступ. Глутатіон вважається одним з найпотужніших антиоксидантів. Така інформація була надана доктором Марком Хайманом, після багаторічного вивчення цієї речовини та доведення корисного впливу її на організм людини. Крім того, кілька клінічних досліджень довели, що всі люди, які страждають на важкі хронічні захворювання, мають недостатню кількість глутатіону. На сьогодні, глутатіон – один з найбільш досліджених антиоксидантів. Важливий та корисний вплив цієї речовини на організм людини описаний у понад 100 тисяч наукових публікацій.

Глутатіон (GSH) – трипептид, утворений з трьох амінокислот – гліцину, глутамінової кислоти (глутамату) і цистеїну. Функції GSH численні: 1. Відновлення та ізомеризація дисульфідних зв'язків; 2. Вплив на активність ферментів, а також інших білків; 3. Утримання мембранних та коферментних функцій; 4. Участь в обміні ейкозаноїдів; 5. Резервування цистеїну; 6. Вплив на біосинтез нуклеїнових кислот та білка тощо.

Організм людини настроєний на самостійне виробництво глутатіону. Основний синтез відбувається у печінці. Однак, такі фактори, як

погане харчування, забруднення середовища, наявність інфекцій, токсинів і лікарських препаратів, стрес і травми здатні руйнувати власний глутатіон та гальмувати його подальший синтез. Таким чином, можна констатувати тенденцію, щодо зменшення його кількості з віком. Дослідження показують, що рівень глутатіону скорочується з 12% до 8% за перше десятиліття, починаючи з віку 20 років [1].

Рівні глутатіону також скорочуються при постійних перенапруженнях імунної системи, таких, як вже раніше зазначалося, що викликані присутністю вірусів та інфекцій, несприятливим впливом навколишнього середовища. Через нестачу глутатіону організм піддається збільшенню кількості вільних радикалів і розпаду клітин внаслідок окисного стресу. Через це переважасться печінка, а вона разом з тим ушкоджується і не може коректно виконувати свою роботу по детоксикації організму.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Дефіцит глутатіону відзначається при широкому спектрі захворювань. З них відмічені такі, що притаманні більшості населення: синдром

© Є. А. Поливанов, 2018

хронічної втоми, серцево-судинні захворювання, рак, хронічні інфекції, аутоімунні захворювання, діабет, аутизм, хвороба Альцгеймера, хвороба Паркінсона, артрит, астма, запальні процеси у нирках та печінці тощо. Отже, функція організму людини виробляти і підтримувати високий рівень глутатіону, має важливе значення на шляху відновлення організму після долання хронічних недуг. Особливо важливим є його присутність в організмі, як засобу профілактики низки захворювань.

Глутатіон є ключовим елементом антиоксидантного захисту, оскільки він здатний активізувати дію інших антиоксидантів, таких як аскорбінова кислота, вітамін Е та бета-каротин, забезпечуючи своєю присутністю їх стабільність від окислення. Як відомо, тільки у нативному стані означений перелік антиоксидантів здатний протидіяти вільним радикалам. Глутатіон «реанімує» дані речовини, відновлюючи захисний резерв організму [2].

Одним з факторів, що заважають вирішити проблему дефіциту глутатіону в організмі є згубна дія на нього агресивного середовища шлунка. За існуючою інформацією, потрапляючи в шлунок, він практично повністю руйнується. Цим і зумовлена головна проблема в насиченні організму цим нутрієнтом. У зв'язку з чим виникає складність додаткового внесення його в організм. Природний синтез глутатіону відбувається у печінці, тобто у зоні, де немає агресивного кислотного середовища. Внесення глутатіону через ротову порожнину свідомо наражає даний коротколанцюговий пептид на небезпеку бути деструктованим під час проходження крізь шлунок. Тому, існує велика вірогідність того, що пропозиції харчових добавок, які містять глутатіон, не зможуть бути максимально корисними у напрямку збільшення трипептиду в організмі, оскільки такий спосіб внесення не в достатній мірі гарантує його накопичення і участь у реакціях метаболізму.

Отже, створення таких умов, які гарантують стабільність структури глутатіону під час проходження відділу шлунку у разі перорального надходження, є важливою задачею розробок харчових комплексів та добавок, де позиціонується вміст даного важливого для життя трипептиду.

Слід також врахувати те, що в якості альтернативи штучно створеним харчовим комплексам, існують кілька способів сприяння підвищенню вмісту цього найважливішого з антиоксидантів в організмі. По-перше, це споживання природних харчових систем, що мають у складі вітаміни групи В, сірку, присутність яких сприяє синтезу глутатіону природним шляхом. Такі активатори синтезу три пептиду містяться у всіх видах капусти, шпинаті, селері, а також кавунах, полуниці, авокадо, насінні соняшника, кабачка і майже в усіх видах горіхів. Інший спосіб збільшення глутатіону в організмі – надходження, навіть і пероральним шляхом, але у стабілізованому стані,

тобто із залученням речовин, які здатні виступити у ролі деякої матриці, стабільної в умовах проходження крізь шлунок, однак нестійкою у відділі тонкого кишківника. Дане дослідження потребує попереднього етапу моделювання, скільки існує багато факторів створення даної системи, що вимагають детального вивчення на молекулярному рівні. Це можна вирішити шляхом створення квантово-хімічних моделей із подальшою їх оптимізацією геометрії в умовах водного середовища та у присутності протонуваних форм водню, тобто за умов знижених рН. Саме це стало основною метою даної статті, завданнями до якої виступили:

1. Аналітичний огляд існуючих пропозицій щодо стабілізації глутатіону;
2. Розробка квантово-хімічних моделей, здатних виступити стабілізаторами глутатіону за реальних умов.

Аналітичний огляд. Головною зброєю імунних клітин в боротьбі з токсинами, шкідливими мікроорганізмами є вільні радикали. Тому самі клітини, відповідно, також потребують захисту. У випадку, якщо глутатіону в організмі недостатньо, лімфоцити змушені нейтралізувати атаку вільних радикалів, внаслідок чого вони гинуть і робота імунної системи, як негативний факт, значно порушується. В теорії, у разі незначного токсичного навантаження, синтез глутатіону здатний поновлюватися в організмі. Однак потрібно враховувати, що здатність організму продукувати глутатіон і повторно його використовувати, визначається генами GSTM1, GSTP1 та іншими, подібними до них. Тобто, енергетичний та хімічний потенціал глутатіону у різних людей є різним. Відмічено, що майже у 35% населення планети спостерігається нестача активності глутатіону.

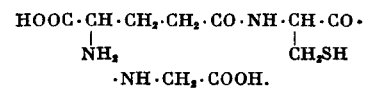
Оскільки більшості населення не вистачає «програмного забезпечення» для повної детоксикації, майже у половини населення в даний час організм має обмежені можливості для знешкодження токсинів. У цих людей є недостатньою функція GSTM1 – одного з найбільш важливих генів, необхідних для вироблення і метаболізму глутатіону в організмі. Тому вони легко наражаються на небезпеку інфекційних та хронічних захворювань, а також знаходяться у групі ризику виникнення онкологічних хвороб.

Вироблення глутатіону в організмі залежить від віку. Починаючи з 28 років, щороку його синтез зменшується приблизно на 1%, і з кожним відсотком падіння рівня активного глутатіону зростає ризик виникнення небезпечних захворювань.

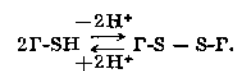
Вчені вважають, що при падінні рівня глутатіону до 90% від оптимального процес погіршення здоров'я стає незворотнім. Накопичення токсинів в організмі призводить до ще більшого падіння рівня глутатіону, а коли його стає менше 70%, настає реальна загроза втрати здоров'я надовго, майже назавжди [3]. Тому, необхідно проаналізувати існуючу інформацію та винайти шляхи поновлення

синтезу і підвищення рівня засвоєння глутатіону задля збереження здоров'я та життя людини будь-якого віку [2]. За наведеною вище інформацією було висунуто такі пропозиції: 1. Включення в раціон продуктів, що містять сірку. Це – часник, цибуля, капуста (білокачанна, броколі, цвітна, брюссельська), крес-салат, редис, ріпа. 2. Вживання сухого сироваткового білку високої якості та споживання харчових систем, що містять N-ацетилцистеїн, що є попередником глутатіону. 3. Споживання продуктів із вмістом альфа-ліпоєвої кислоти. означена сполука також є антиоксидантом, робота якої багато в чому аналогічна з роботою в організмі глутатіону. Тому, коли ліпоєвої кислоти потрапляє у нормі і вище, запаси глутатіону виснажуються повільніше. Крім того, альфа-ліпоєва кислота бере участь у відновленні глутатіону. 4. Насичення організму фолатами, вітамінами B6 і B12. Ці речовини необхідні для біосинтезу глутатіону. Фолати повинні застосовуватися у формі 5-метилтетрагідрофолату, B6 – у формі P5P, B12 – у формі метилкобаламіну. 5. Споживання продуктів, що містять селен, який ініціює синтез глутатіону. Селен є в тунці, палтусі, сардинах. А також в яловичині і індичці. Але лише в тому випадку, якщо вони вирощені натуральним способом. 6. Споживання продуктів, що є джерелами вітамінів С і Е. 7. Споживання добавок з розторопші. Дана лікарський рослина здатна підсилювати синтез глутатіону, особливо в клітинах печінки, де запаси речовини виснажуються швидше.

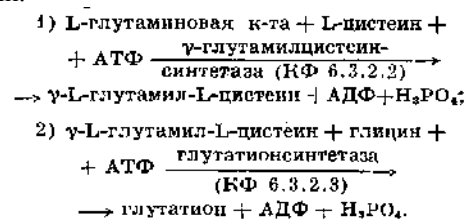
L-γ-глутаміл-L-цистеїніл-гліцин – біологічно активний трипептид. Складається із залишків γ-глутамінової кислоти, цистеїну та гліцину. Може існувати в окисненій (Г-S—S-Г) та відновленій (Г-SH) формі. Відкрито кілька фізіологічних функцій глутатіону. Відновлена форма, яка захищає SH-групи білків від окиснення різними окиснювальними чинниками. Механізм захисту полягає в окисненні SH-групи самого глутатіона з утворенням окисненої форми і збереженням SH-груп білків в активній відновленій формі. Глутатіон виступає кофактором деяких оксидоредуктаз — гліоксилази, формальдегіддегідрогенази. Важлива роль належить глутатіону у зв'язуванні вільних радикалів, відновленні пероксиду водню та інших пероксидів, що запобігає розвитку вільнорадикальних процесів. Глутатіон бере участь у транспорті амінокислот через плазматичні мембрани еритроцитів та інших клітин (мозку, нирок) – γ-глутамілтрансферазний цикл. Шляхом кон'югації з глутатіону під дією ферменту глутатіон-трансферази знешкоджується низка ксенобіотиків, а також інактивуються деякі ендogenous метаболіти (естрадіол, простагландини, лейкотрієни) [4]. Глутатіон – трипептид, який бере активну участь у багатьох окисно-відновних перетвореннях в організмі людини і тварин і забезпечує функціонування ряду SH-залежних ферментів, C₁₀H₁₇O₆N₃S:



Особливістю будови глутатіону є те, що залишок глутамінової к-ти в його молекулі утворює пептидний зв'язок з цистеїном за рахунок своєї гамма-, а не альфа-карбоксільної групи, як це властиво білкам. Головною функціональною групою глутатіону є тіолова (сульфгідрильна) група (SH-група), тому широко поширене скорочена назва глутатіону як Г-SH (G-SH). Така сульфгідрильна (відновлена) форма глутатіону легко піддається окисненню як ферментативним, так і неферментативним шляхом (під дією м'яких окислювачів, наприклад, йоду або фериціаніду), в результаті чого утворюється дисульфідна (окислена) форма глутатіону (Г-S-S-Г). Цей процес є оборотним:



Біосинтез глутатіону відбувається в різних тканинах з великою швидкістю і протікає в два етапи:



Було встановлено, що обидві реакції вимагають присутності іонів Mg²⁺ і в деяких випадках швидкість їх збільшується в присутності іонів K⁺ [5].

Викладання основного матеріалу досліджень.

З наведеної інформації про глутатіон наочно видно його користь та необхідність організму. Проте існує істотна проблема надходження його до організму людини, оскільки існує велика вірогідність, що значна його кількість руйнується під дією шлункового соку. Тому одним з методів вирішення цього питання ми пропонуємо метод його стабілізації матрицею пектинового гелю. Вважається, що у такій системі глутатіон матиме стійкість, тому такі гелі обов'язково знайдуть застосування в якості стабілізатора системи.

Пектин не руйнується у шлунку, у незмінному стані потрапляє до відділу тонкого кишечника і за умов зміни рН до 7–7,2 починає деструктувати, вивільняючи при цьому речовини, якими були зв'язані його ланцюги [6]. Одним з шляхів вивчення хімічної взаємодії між молекулами системи нами було запропоновано метод квантово-хімічного моделювання, за допомогою якого можна визначити функціональні групи, що мають потужний хімічний потенціал для зв'язування глутатіону з матрицею пектину [6]. Із спектра первинно створених моделей було обрано два найбільш вірогідних способи зв'язування системи глутатіон-пектин (рис. 1).

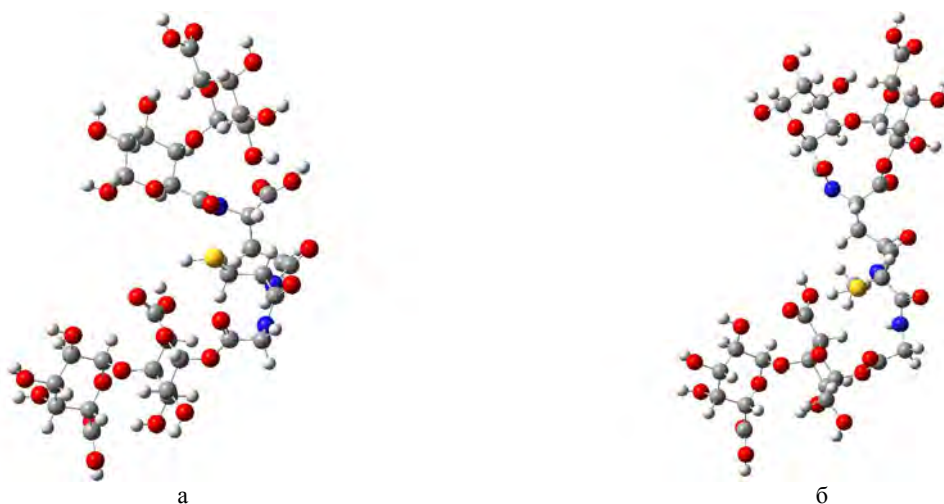


Рис. 1 – Способи зв'язування глутатіону з пектином: а) подвійне зв'язування, б) потрійне зв'язування

Раніше нами був проведений розрахунок комплексів двох димерів пектину, було чітко встановлено їх геометричне розташування. Для розрахунків з глутатіоном ми скористалися оптимізованими за геометрією димерами. Це було доведено квантово-хімічними розрахунками з використанням програмного пакету Gaussian 09. На основі цього було побудовано дану глутатіон-пектинову систему. За наявності точок зв'язування встановлено з найбільшим ступенем вірогідності, що глутатіон може приєднуватися до матриці полісахаридного пектинового гелю за участю карбоксильної групи, що належить амінокислоті – гліцину, та карбоксильної і аміногрупи амінокислоти глутаміну. Що говорить про необхідність проведення подальших розрахунків з використанням більш точних методів квантово-хімічного моделювання, що

враховують участь розчинника. У даному випадку води або підкисленого харчового середовища.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Таким чином, у даній роботі локалізовані найбільш енергетично стійкі структури димерів, що входять до складу пектину. На основі отриманих даних можна сказати, що розглянуті моделі дійсно відображають центри зв'язування нанорозмірних структур глутатіону та галактуронатів у складі гідрогелів, широкоживаних у різних галузях харчової, фармацевтичної та медичної промисловості. Описані моделі можуть вважатися основою імітаційної моделі синтезованої наноструктури, що виникає із великим ступенем вірогідності у ході «cross-полімеризації» молекул уронатних полісахаридів, де роль зшиваючих агентів відіграють молекули глутатіону. регіонів.

Список літератури

1. Мазо В. К. Лекція на XIV школе-семинаре «Современные проблемы физиологии пищеварения» // *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. Пушчино-на-Оке, 1998. № 1. С. 47–53. URL: <http://www.gastroportal.ru/php/content.php?id=1272> (25.06.2018).
2. Koji A. T. N. *Rosenberg's Molecular and Genetic Basis of Neurological and Psychiatric Disease*, 2015. P. 687–694.
3. Толпыгина О. А. Роль глутатиона в системе антиоксидантной защиты (обзор). *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. Иркутск, 2012. № 2. вып. 84. ч. 2. С. 178–180.
4. Courtney-Martin G., Pencharz P. B. *The molecular nutrition of amino acids and proteins*, 2016. P. 265–286.
5. Калинина Е. В., Чернов Н. Н., Новичкова Н. Д. Роль глутатиона, глутатионтрансферазы и глутаредоксина в регуляции редокс-зависимых процессов // *Успехи биологической химии*, 2014. Т. 54. С. 299–348.
6. Kondratjuk N. V., Okovyty S. I., Pyvovarov Y. P. etc. Quantum chemical modeling of uronate polysaccharides dimmers in the strategy of creating food biodegraded coating // *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»*. 2017. № 41 (1263). С. 47–51.

References (transliterated)

1. Mazo V. K. Lectsiya na XIV shkole-seminare «Sovremenniye problem fiziologii pischevareniya» [Modern problems of physiology

* Робота виконана під керівництвом д.х.н., професора Оковитого С.І. та к.т.н., доцента Кондратюк Н.В.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Поливанов Егор Андрійович (Поливанов Егор Андреевич, Polyvanov Yehor Andriyovych) – студент II курсу кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара; e-mail: mr.egor.pv@gmail.com

Посмутила (received) 23.06.2018

УДК 665.9

Є. І. ШЕМАНСЬКА, О. А. ЛИТВИНЕНКО А. Р. ДОВБЕНКО**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ПРЕСУВАННЯ НАСІННЯ РИЖІЮ**

В статті проаналізовано питання споживання та метаболізму жирів, співвідношення омега-3/омега-6 жирних кислот у харчовому раціоні. Проведено порівняльний аналіз технологій холодного та гарячого пресування насіння рижію. Визначено технологічні режими пресування, показники якості та жирнокислотний склад зразків рижієвої олії холодного пресування. Досліджено перебіг автокаталітичного окиснення олії при зберіганні за температури 20 ± 2 °C при вільному доступі світла та повітря, встановлено гарантійні терміни зберігання олії. Обґрунтовано застосування рижієвої олії як джерела есенціальної α -ліноленової кислоти в харчових та олієжирових продуктах.

Ключові слова: есенціальні жирні кислоти, співвідношення омега-3/омега-6, жирнокислотний склад, олія холодного пресування, олія гарячого пресування, насіння рижію.

Е. И. ШЕМАНСКАЯ, Е. А. ЛИТВИНЕНКО, А. Р. ДОВБЕНКО**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРЕССОВАНИЯ СЕМЯН РЫЖИКА**

В статье проанализированы вопросы потребления и метаболизма жиров, соотношения омега-3/омега-6 жирных кислот в пищевом рационе. Проведен сравнительный анализ технологий холодного и горячего прессования семян рыжика. Определены технологические режимы прессования, показатели качества и жирнокислотный состав образцов рыжикового масла холодного прессования. Исследовано автокаталитическое окисление масла при температуре хранения (20 ± 2) °C со свободным доступом света и воздуха, установлены гарантийные сроки хранения масла. Обосновано использование рыжикового масла как источника эссенциальной α -линоленовой кислоты в пищевых и масложировых продуктах.

Ключевые слова: эссенциальные жирные кислоты, соотношение омега-3/омега-6, жирнокислотный состав, масло холодного прессования, масло горячего прессования, семена рыжика.

Е. І. SHEMANSKA, O. A. LITVINENKO, A. R. DOVBENKO**INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL REGIMES OF PRESSING SEEDS OF THE CAMELINA**

The article analyzes the consumption and metabolism of fats, the ratio of omega-3 / omega-6 fatty acids in the diet. The main sources of polyunsaturated fatty acids are considered, and the introduction of non-traditional vegetable oils into the composition of food rations, in particular, of rye seed oil, has been proposed. A comparative analysis of the technology of cold and hot pressing of reddish seed is carried out. The technological regimes that influence the pressing process are investigated, it is established that the main factors are the degree of seed contamination and the moisture content of the seeds. The organoleptic and physicochemical indices of quality of hot and cold pressing of reddish oil are determined. The method of gas chromatography examined the fatty acid composition of reddish oil, which is characterized by high content of polyunsaturated fatty acids, and especially high content of α -linolenic acid (33.8%). Autocatalytic oxidation of oil at storage temperature (20 ± 2) °C with free access of light and air and oxidation of oil in the refrigerator at storage temperature (5 ± 2) °C was studied. The warranty period for storing red and white hot and cold pressed oil has been established. The degree of oxidation of the oil is estimated from the growth of the peroxide value. The use of redhead oil as a source of essential α -linolenic acid in food and fat-and-oil products is justified.

Key words: essential fatty acids, omega-3 / omega-6 ratio, fatty acid composition, cold pressing oil, hot pressing oil, seeds of redhead.

Вступ. За останні роки увага дослідників звернена до питання застосування поліненасичених жирних кислот, як лікувальних препаратів широкого спектру біологічної дії, що виявляють ефект при різних інтоксикаціях у печінці, ендокринних розладах та серцево-судинних захворюваннях. Особливе значення надається присутності в продуктах есенціальних (незамінних) поліненасичених жирних кислот, до яких в першу чергу слід віднести лінолеву ($C_{18:2}$) та ліноленову ($C_{18:3}$) кислоти. Лінолева кислота є основним представником довголанцюгових жирних кислот родини омега-6 (ω -6), а α -ліноленова кислота – еквівалентом довголанцюгових жирних кислот родини омега-3 (ω -3). Жирні кислоти омега-6 та омега-3 конкурують за метаболізацію ферментними системами і можуть заміщувати одна одну [1].

Залежно від початкової жирної кислоти, ейкозаноїди, що синтезуються, мають різну структуру і біологічну дію на організм, часто прямо пропорційну. Ейкозаноїди, утворені з ω -3 жирів, а саме із ейкозапентаєнової кислоти, мають протизапальну, протиалергічну дію, розріджують кров та попереджують утворення тромбів, покращують кровообіг, розширюють кровносні судини та знижують артеріальний тиск. Навпаки, ейкозаноїди, що синтезуються з арахідонової кислоти (ω -6), сприяють розвитку запалення, алергії,

злипання тромбоцитів і утворенню тромбів, звужують суди. Виключенням є простагландин E1, який утворюється з γ -ліноленової кислоти (ω -6) і має протизапальну дію, уповільнює визволення гістаміна, зменшуючи алергічний компонент запалення. Доведено, що дефіцит в клітинах есенціальних поліненасичених жирних кислот (особливо ω -3) формує високий потенціал запалення [2] та ризик прогресування ішемічної хвороби серця [3].

Відповідно аналізу вітчизняних літературних джерел, співвідношення омега-3:омега-6 в харчовому раціоні населення повинно складати 1:4 [4]. На підставі клінічних та експериментальних досліджень закордонних вчених співвідношення кислот омега-3 та омега-6, що рекомендується, складає від 1:4 до 1:10 [5–7].

Основною рослинною олією, що споживається українцями, є соняшникова, яка не характеризується раціональним співвідношенням жирних кислот. Тому важливим є введення у склад харчових раціонів нетрадиційних рослинних олій, які забезпечать необхідний фізіологічним потребам організму баланс есенціальних кислот омега-3 та омега-6.

© Шеманська Є.І., Литвиненко О.А., Довбенко А.Р., 2018

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. До складу омега-3 жирів входять три незамінні жирні кислоти: ейкозапентаєнова (C_{20:5}), докозагексаєнова (C_{22:6}) та альфа-ліноленова (C_{18:3}). Жирні кислоти родини омега-3 – це похідні альфа-ліноленової кислоти, яка шляхом подовження і десатурації перетворюється в ейкозапентаєнову кислоту, що є попередником для синтезу ейкозаноїдів та докозагексаєнову кислоту, яка є важливим компонентом структурних фосфоліпідів кліткових мембран.

Довголанцюгові омега-3 кислоти виробляються морськими водоростями і планктоном. Риба та морські тварини харчуються планктоном, тому риб'ячий жир є основним джерелом ейкозапентаєнової та докозагексаєнової кислот для людини. В рослинних джерелах зустрічається, в основному, альфа-ліноленова кислота, яка міститься лише в деяких рослинних оліях: лляній (57,2 %), ріжівій (33,8 %), конопляній (15,3 %), гірчичній (11,2 %), ріпаковій (9,1 %), соєвій (5,7 %), олії волоського горіху (13 %) та зародків пшениці (6,6 %) [8].

Важливим аргументом на користь рослинних олій є їх безпечність, оскільки вони містять альфа-ліноленову кислоту, яка є попередником, необхідним для метаболізму в організмі, і може накопичуватися в організмі та витрачатися за потребою.

Якість продукції, одержуваної за різними технологіями вилучення рослинних олій, неоднакова. Спосіб виробництва рослинних олій (холодне або гаряче пресування, екстракція) має визначальне значення у зміні вміста біологічно активних сполук. При гарячому пресуванні сировина нагрівається до 105-120 °С. При екстракції як розчинник використовується гексан або бензин, який згодом видаляється в процесі дистиляції місцели, але екстракційна олія обов'язково підлягає повному циклу рафінації. Рослинні олії, вироблені способом гарячого пресування або екстракції, перетворюються на продукт зі зниженою біологічною цінністю.

При холодному пресуванні (температура не більше 50 °С) завдяки м'яким умовам переробки не відбувається локального перегріву і підгорання сировини в жаровнях, а також в олію в найменшій мірі переходять барвні речовини, фосфоліпіди, цукристі речовини, низькомолекулярні білки, воски та інші компоненти. Практично не змінюють свою структуру нестійкі до високих температур такі корисні речовини, як вітаміни та ферменти. Так наприклад, при низькій температурі переробки насіння соняшнику фермент ліпоксидаза виступає в ролі антиокиснювача, а при високих температурах він посилює окиснювальні процеси в олії [9]. Для очищення олії холодного пресування не потрібно застосовувати стадії рафінації та дезодорації, які знищують натуральні вітаміни і деформують молекули ненасичених жирних кислот.

Застосування технології холодного пресування також позитивно впливає на якість макухи. Макуха, як відомо, найцінніший компонент в комбікормовій промисловості. Його харчова цінність визначається великим вмістом білка (до 37 %) і залишкового жиру (до 12 %). При холодному пресуванні білок не є термічно денатурованим, отже, не втрачає розчинний протеїн та біологічну цінність, оскільки всі незамінні амінокислоти залишаються в незмінному стані [10].

Мета досліджень – аналіз сучасних технологій вилучення олії пресуванням, дослідження технологічних режимів, показників якості та окиснювальної стабільності ріжівієвої олії холодного пресування.

Викладання основного матеріалу досліджень.

В ході видобутку олій досліджено технологічні режими, які впливають на процес пресування і встановлено, що основними є ступінь засміченості насіння та вологість насіння.

Велику увагу слід приділяти питанням підготовки насіння до вилучення олії, яка полягає в додатковій очистці ріжію від смітцевої домішки до засміченості на рівні 1 – 2 %. Такий спосіб очистки насіння дозволяє не тільки знизити залишкову олійність макухи за рахунок вмісту невеликої кількості сміття неолійної домішки, але і збільшити термін придатності шнеку пресу, що обумовлено меншим абразивним зносом.

Використання здорового і дозрілого насіння також впливає безпосередньо на якість отриманої олії (зокрема за значення кислотного та пероксидного чисел).

Віджим олії проходить найбільш ефективно при вологості насіння 5...6%. При більшій вологості тиск в олійному пресі знижується і зона інтенсивного виділення олій зміщується до зони завантаження. Критичний стан у цьому випадку – прес не приймає сировину.

При вологості менше 5 % тиск збільшується вище номінального і зона інтенсивного виділення олій зміщується до виходу макухи з пресу, зерна камера забувається, що може викликати несправність преса.

Початкові технологічні режими технологій пресування насіння ріжію наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Технологічні режими технологій пресування насіння ріжію

Вологість насіння, %	Температура на виході макухи з пресу, °С	Вихід олії, %
Однократне пресування холодним способом		
5-6	20-40	30,48 %
Однократне пресування гарячим способом		
5-6	100-110	34,22 %

Холодне пресування, завдяки короткочасній тепловій та механічній дії на хімічну структуру олій, дозволяє зберегти в олії вітамін Е, який захищає олію

від протікання процесів окиснення. Вихід такої олії низький, але вартість компенсується високою фізіологічною цінністю та корисністю продукту.

Основною метою переробки олійного насіння за технологією гарячого пресування було вилучення максимально можливої кількості олії. При вилученні олії гарячим способом насіння перед пресуванням спеціально прогрівали у сушильній шафі до 100 °С, олія і макуха на виході з пресу мали приблизно таку

ж температуру. Нагрівання насіння полегшує віджим олії за рахунок зниження в'язкості олії, тому в технології гарячого пресування досягаються більш високі показники по виходу олії. Така технологія є ідеальною для великих об'ємів переробки олійних культур, а також там, де є джерело дешевої пари.

Після відстоювання та фільтрування досліджено основні показники складу і якості отриманої пресової рижієвої олії, які наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Органолептичні та фізико-хімічні показники пресової рижієвої олії

Показники	Холодного пресування	Гарячого пресування
Прозорість	Прозора, без осаду	Прозора, наявне легке помутніння
Запах та смак	Притаманий рижієвій олії, без стороннього присмаку та запаху	Притаманий рижієвій олії, без стороннього присмаку та запаху
Масова частка вологи та летких речовин, %	0,2	0,2
Колірне число, мг йоду	30	50
Кислотне число, мг КОН/г	1,0	1,1
Пероксидне число, ½ О ммоль/кг	1,3	1,8

При холодному пресуванні супутні та воскоподібні речовини не вилучаються, а залишаються в макусі. В олію в найменшій мірі переходять забарвлюючі речовини, цукристі речовини, низькомолекулярні білки та інші компоненти, які надають олії інтенсивне забарвлення (колірне число олії холодного пресування 30 мг йоду, а гарячого пресування – 50 мг йоду і відповідно менший вміст каротиноїдів в олії).

Отримана методом холодного пресування рижієва олія характеризується невисокими пероксидним числом (1,3 ½ О ммоль/кг) та кислотним числом (1,0 мг КОН/г). Така олія без додаткового очищення і рафінації придатна в їжу та для подальшої переробки.

Якість олії та напрямки її використання в значному ступені визначаються її жирнокислотним складом (1), який визначено методом газової хроматографії [11-12] та представлено в табл. 3.

Таблиця 3 – Жирнокислотний склад рижієвої олії холодного пресування (1) та вимоги за ТУ

Найменування	Значення показників	
	1	Вимоги ТУ У 15.4-32448339-001:2007
Жирнокислотний склад олії, %		
- пальмітинова	5,7	5-7
- стеаринова	2,4	2-2,5
- олеїнова(ω-9)	15,9	12-20
- лінолева (ω-6)	19,3	14-16
- α-ліноленова (ω-3)	33,8	35-39
- ейкозенова	14,1	15-16
- ерукова	2,7	2-4
Співвідношення ω-3/ ω-6	1:0,6	-

Відповідно даним табл. 3 рижієва олія характеризується підвищеним вмістом поліненасичених жирних кислот, особливо слід відмітити високий вміст α-ліноленової кислоти (33,8 %) і відповідно співвідношення омега-3/омега-6 як 1:0,6, що дає можливість використовувати цю олію для отримання харчових продуктів збалансованого жирнокислотного складу та збагачення харчового раціону населення есенціальними жирними кислотами.

Також проведено визначення гарантійних термінів зберігання рижієвої олії гарячого та холодного пресування за різних умов зберігання.

Дослідження окиснювальної стабільності пресової рижієвої олії проводили при зберіганні у лабораторії за кімнатної температури при вільному доступі світла та повітря (автоокиснення) та при зберіганні у холодильнику. Ступінь окиснення олії оцінювали за стандартним показником якості – пероксидним числом (ПЧ). У процесі зберігання через кожні 10 днів відбирали проби для визначення ПЧ, яке проводилося згідно [13]. Окиснення припиняли, коли ПЧ досягло значення більше 10 ммоль ½ О/кг. При перевищенні цього значення рослинна олія вважається небезпечною для здоров'я і переходить у категорію неїстівного продукту. Результати досліджень наведено на рис. 1.

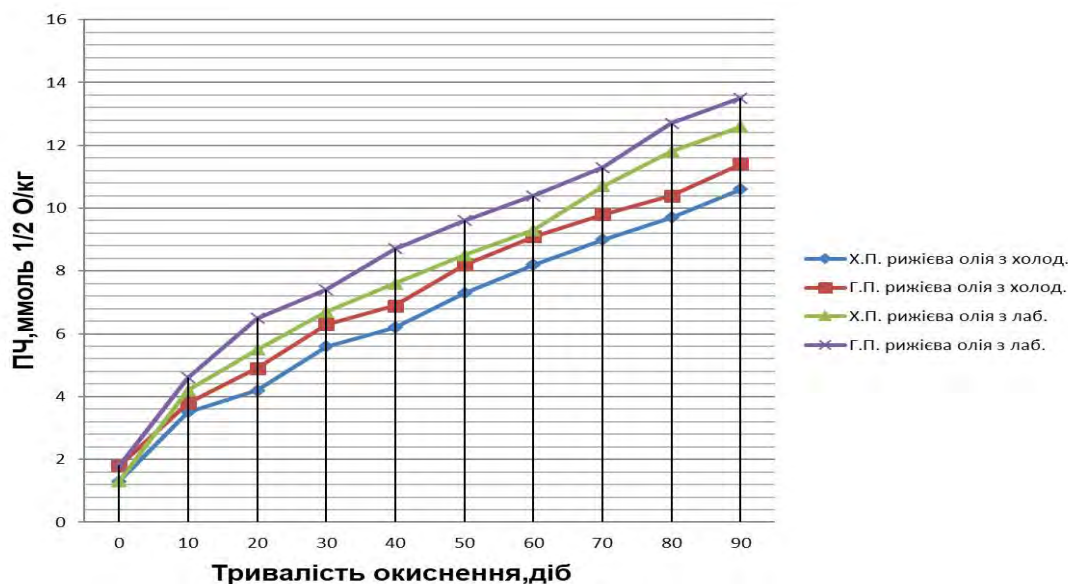


Рис. 1 – Зміна пероксидного числа рижієвої олії (Х.П. – холодного пресування, Г.П. – гарячого пресування) під час зберігання

Відповідно рис. 1, швидкість збільшення пероксидного числа олій холодного та гарячого пресування за різних умов зберігання відрізнялась. Найбільшу швидкість накопичення пероксидних сполук мала олія гарячого пресування, значення пероксидного числа якої досягло 10 ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg протягом 55 днів при зберіганні за кімнатної температури в лабораторії та 70 днів при зберіганні у холодильнику. Таке ж значення пероксидного числа рижієвої олії холодного пресування було досягнуто після 90 днів зберігання у холодильнику.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. В результаті проведених досліджень встановлені та визначені:

- технологічні режими холодного та гарячого пресування насіння рижю, на основі експериментальних досліджень – раціональні технологічні параметри, а саме: ступінь засміченості насіння – 1...2 % та вологість насіння – 5...6 %;

- основні показники якості олії (органолептичні та фізико-хімічні), а також жирнокислотний склад рижієвої олії холодного пресування, який свідчить про підвищений вміст поліненасичених жирних кислот, а саме α -ліноленової кислоти (ω -3) – 33,8%;

- досліджено окиснювальну стабільність пресової рижієвої олії і встановлено гарантійні терміни за різних умов зберігання, а саме: для олії гарячого пресування при зберіганні за температури $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ – 55 днів, за температури $(5 \pm 2)^\circ\text{C}$ – 70 днів, для рижієвої олії холодного пресування при зберіганні за температури $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ – 65 днів, за температури $(5 \pm 2)^\circ\text{C}$ – 90 днів.

При високих температурах пресування, які застосовують в традиційних технологіях, олія піддається не лише ризику окиснення киснем повітря, але і зміні нативного стану.

При холодному пресуванні олія має кращу стабільність до окиснення, характеризується низьким вмістом забарвлюючих речовин та продуктів окиснення і не потребує наступної рафінації.

В результаті подовження роботи за вищевказаними напрямками розроблена збалансована за жирнокислотним складом рецептура купажованої нерафінованої олії, яка використана в технологіях харчових емульсійних продуктів, а саме салатних соусів і заправок [14-15].

Список літератури

1. Nosenko T., Shemanskaya E., Bakhmach V., Sidorenko T. and oth. New vegetable oil blends to ensure high biological value and oxidative stability. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv: Technology center, 2017. № 5/6 (89). P. 42-47.
2. Титов В. Н. Общность атеросклероза и воспаления: специфичность атеросклероза как воспалительного процесса. *Российский кардиологический журнал*. 1999. № 5. URL: <http://medi.ru/doc/6690510.htm> (дата звернення 25.06.2018).
3. Harris W. S. The omega-3 index as a risk factor for coronary heart disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008. Vol. 87, Issue 6. P. 1997S–2002S.
4. Аністратенко Т. І., Білко Т. М., Благодарнова О. В. та ін. Гігієна харчування з основами нутріціології: Підруч.: у 2 кн. / за ред. проф. В. І. Ципріяна. Київ: Медицина, 2007. Кн.1. 528 с.
5. Riediger N. D., Othman R. A., Suh M., Moghadasian M. H. A Systemic Review of the Roles of n-3 Fatty Acids in Health and Disease. *Journal of the American Dietetic Association*. 2009. Vol. 109, Issue 4. P. 668–679. doi: 10.1016/j.jada.2008.12.022.
6. Dittrich, M., Jahreis G., Bothor K., Drechsel C., Kiehnopf M., Blüher M., Dawczynski C. Benefits of foods supplemented with vegetable oils rich in α -linolenic, stearidonic or docosahexaenoic acid in hypertriglyceridemic subjects: a double-blind, randomized, controlled trial. *European Journal of Nutrition*. 2014. Vol. 54, Issue 6. P. 881–893. doi: 10.1007/s00394-014-0764-2.
7. Nosenko T., Kot T., Kichshenko V. Rape seeds as a source of feed and food proteins. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2014. Vol. 64, No. 2. P. 109–114. doi: 10.2478/pjfn-2013-0007.
8. Шеманська Є. І. Шляхи збагачення харчового раціону людини есенціальними жирними кислотами. *Харчова промисловість*. 2016. № 20. С. 80-85.

9. Гирман В. В. Особенности технологии производства высококачественных масел холодного отжима с использованием современного оборудования. *Новые достижения в развитии технологий и оборудования масложировых производств: сборник материалов науч.-практ. семинара, 18-19 мая 2010 г., Харьков* / оргкомітет: П.Ф. Петик (голова). Харьков: УкрНИИМЖ УААН, 2010. С. 3-7.
10. Лабейко М. А., Литвиненко О. А., Федякіна З. П., Петік П. Ф. Отримання білкового продукту з насіння соняшнику вітчизняної селекції. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків: НТУ «ХПІ», 2012. № 39. С. 117–124.
11. ДСТУ 5509-2002 (ISO 5509:2000, IDT). *Жири тваринні і рослинні та олії. Приготування метилових ефірів жирних кислот* / Нац. стандарт України. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 26 с.
12. ДСТУ 5508-2001 (ISO 5508:1990, IDT). *Жири тваринні і рослинні та олії. Аналіз методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот* / Нац. стандарт України. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 14 с.
13. ДСТУ 4570:2006. *Жири рослинні та олії. Метод визначення пероксидного числа* / Нац. стандарт України. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 10 с.
14. Шульга Є. М., Шеманська Є. І., Демидова А. О. Дослідження характеристик та окиснювальної стабільності рижієвої олії з наступним купажуванням. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. № 19. С. 70-74.
15. Бонь Є.М., Шеманська Є.І. Пат. 116507. Україна. Майонезний соус підвищеної біологічної цінності. 2017.
- acid in hypertriglyceridemic subjects: a double-blind, randomized, controlled trial. *European Journal of Nutrition*. 2014, vol. 54, issue 6, pp. 881–893. doi: 10.1007/s00394-014-0764-2.
7. Nosenko T., Kot T., Kichshenko V. Rape seeds as a source of feed and food proteins. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2014, vol. 64, no. 2, pp. 109–114. doi: 10.2478/pjfn-2013-0007.
8. Shemanska Ye. I. Shliakhy zbahachennia kharchovoho ratsionu liudyny esentsialnymy zhyrmymy kyslotamy [Ways of enriching the human dietary diet with essential fatty acids]. *Kharchova promyslovist* [Food industry]. 2016, no. 20, pp. 80-85.
9. Girman V. V. Osobennosti tehnologii proizvodstva vysokokachestvennykh masel hodnogo otzhima s ispolzovaniem sovremennogo oborudovaniya [Features of the technology of production of high-quality cold pressed oils with the use of modern equipment] *Novyie dostizheniya v razvitii tehnologii i oborudovaniya maslozhirovykh proizvodstv: sbornik materialov nauch.-prakt. seminar, 18-19 maya 2010 g., Harkov* [New achievements in the development of technologies and equipment for fat-and-oil productions: a collection of scientific-practical materials. Seminar, May 18-19, 2010, Kharkiv]. Harkov, UkrNIIMZh UAAN, 2010, pp. 3-7.
10. Labeiko M. A., Lytvynenko O. A., Fediakina Z. P., Petik P. F. Otrymanna bilkovoho produktu z nasinnia soniashnyku vitchyznianoї selektsii [Obtaining protein product from sunflower seeds of domestic breeding]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU «KhPI», 2012, no. 39, pp. 117-124.
11. DSTU 5509-2002. *Zhyry tvarynni i roslynni ta olii. Pryhotuvannia metylovykh efiriv zhyrnykh kyslot* [National the standard of Ukraine 5509:2000. Animal and vegetable fats and oils. Preparation of methyl esters of fatty acids]. Kyiv, Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehuliuivannia ta spozhyvchoi polityky, 2002. 26 p.
12. DSTU 5508-2001. *Zhyry tvarynni i roslynni ta olii. Analiz metodom hazovoi khromatohrafii metylovykh efiriv zhyrnykh kyslot* [National the standard of Ukraine 5508:1990. Animal and vegetable fats and oils. Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids]. Kyiv, Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehuliuivannia ta spozhyvchoi polityky, 2002. 14 p.
13. DSTU 4570:2006. *Zhyry roslynni ta olii. Metod vyznachennia peroksydnoho chysla* [National the standard of Ukraine 3960:1998. Vegetable fats and oils. Determination of peroxide value]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 10 p.
14. Shulga Y. M., Shemanska Y. I., Demidova A. O. Doslidzhennia kharakterystyk ta okysniuvalnoi stabilnosti ryzhiievoi olii z nastupnym kupazhuvanniam [Study of characteristics and oxidative stability of camelina oil with the following blending] *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU «KhPI», 2016, no. 19, pp. 70-74.
15. Bon Y.M., Shemanska E.I. *Maioneznyi sous pidvyshchenoi biolohichnoi tsinnosti* [Mayonnaise sauce of high biological value] Patent Ukraine, no. 116507, 2017.

References (transliterated)

1. Nosenko T., Shemanskaya E., Bakhmach V., Sidorenko T. and oth. New vegetable oil blends to ensure high biological value and oxidative stability. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv: Technology center, 2017. no. 5/6 (89). pp. 42-47.
2. Titov V. N. Obschnost ateroskleroza i vospaleniya: spetsifichnost ateroskleroza kak vospalitelnoho protsessa [Generality of atherosclerosis and inflammation: the specificity of atherosclerosis as an inflammatory process]. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Cardiology]. 1999, no. 5. Available at: <http://medi.ru/doc/6690510.htm> (accessed 25.06.2018).
3. Harris W. S. The omega-3 index as a risk factor for coronary heart disease. *Am. J. Clin. Nut.* 2008, vol. 8, issue 6, pp. 1997S–2002S.
4. Anistratenko T. I., Bilko T. M., Blahodarnova O. V. ta in. *Hihiiena kharchuvannia z osnovamy nutritsiolohii: Pidruch.* [Hygiene nutrition with the basics of nutritionology: Handbook]; u 2 kn. / za red. prof. V. I. Tsypriana. Kyiv, Medytsyna, 2007. Kn. 1. 528 p.
5. Riediger N. D., Othman R. A., Suh M., Moghadasian M. H. A Systemic Review of the Roles of n-3 Fatty Acids in Health and Disease. *Journal of the American Dietetic Association*. 2009, vol. 109, issue 4, pp. 668–679. doi: 10.1016/j.jada.2008.12.022.
6. Dittrich, M., Jahreis G., Bothor K., Drechsel C., Kiehnopf M., Blüher M., Dawczynski C. Benefits of foods supplemented with vegetable oils rich in α -linolenic, stearidonic or docosahexaenoic acid in hypertriglyceridemic subjects: a double-blind, randomized, controlled trial. *European Journal of Nutrition*. 2014, vol. 54, issue 6, pp. 881–893. doi: 10.1007/s00394-014-0764-2.
7. Nosenko T., Kot T., Kichshenko V. Rape seeds as a source of feed and food proteins. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2014, vol. 64, no. 2, pp. 109–114. doi: 10.2478/pjfn-2013-0007.
8. Shemanska Ye. I. Shliakhy zbahachennia kharchovoho ratsionu liudyny esentsialnymy zhyrmymy kyslotamy [Ways of enriching the human dietary diet with essential fatty acids]. *Kharchova promyslovist* [Food industry]. 2016, no. 20, pp. 80-85.
9. Girman V. V. Osobennosti tehnologii proizvodstva vysokokachestvennykh masel hodnogo otzhima s ispolzovaniem sovremennogo oborudovaniya [Features of the technology of production of high-quality cold pressed oils with the use of modern equipment] *Novyie dostizheniya v razvitii tehnologii i oborudovaniya maslozhirovykh proizvodstv: sbornik materialov nauch.-prakt. seminar, 18-19 maya 2010 g., Harkov* [New achievements in the development of technologies and equipment for fat-and-oil productions: a collection of scientific-practical materials. Seminar, May 18-19, 2010, Kharkiv]. Harkov, UkrNIIMZh UAAN, 2010, pp. 3-7.
10. Labeiko M. A., Lytvynenko O. A., Fediakina Z. P., Petik P. F. Otrymanna bilkovoho produktu z nasinnia soniashnyku vitchyznianoї selektsii [Obtaining protein product from sunflower seeds of domestic breeding]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU «KhPI», 2012, no. 39, pp. 117-124.
11. DSTU 5509-2002. *Zhyry tvarynni i roslynni ta olii. Pryhotuvannia metylovykh efiriv zhyrnykh kyslot* [National the standard of Ukraine 5509:2000. Animal and vegetable fats and oils. Preparation of methyl esters of fatty acids]. Kyiv, Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehuliuivannia ta spozhyvchoi polityky, 2002. 26 p.
12. DSTU 5508-2001. *Zhyry tvarynni i roslynni ta olii. Analiz metodom hazovoi khromatohrafii metylovykh efiriv zhyrnykh kyslot* [National the standard of Ukraine 5508:1990. Animal and vegetable fats and oils. Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids]. Kyiv, Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehuliuivannia ta spozhyvchoi polityky, 2002. 14 p.
13. DSTU 4570:2006. *Zhyry roslynni ta olii. Metod vyznachennia peroksydnoho chysla* [National the standard of Ukraine 3960:1998. Vegetable fats and oils. Determination of peroxide value]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 10 p.
14. Shulga Y. M., Shemanska Y. I., Demidova A. O. Doslidzhennia kharakterystyk ta okysniuvalnoi stabilnosti ryzhiievoi olii z nastupnym kupazhuvanniam [Study of characteristics and oxidative stability of camelina oil with the following blending] *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv, NTU «KhPI», 2016, no. 19, pp. 70-74.
15. Bon Y.M., Shemanska E.I. *Maioneznyi sous pidvyshchenoi biolohichnoi tsinnosti* [Mayonnaise sauce of high biological value] Patent Ukraine, no. 116507, 2017.

Надійшла (received) 27.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шеманська Євгенія Іванівна (Шеманская Евгения Ивановна, Shemanska Evgenia Ivanivna) – кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології жирів і парфумерно-косметичних продуктів, Національний університет харчових технологій; м. Київ, Україна; ORCID: orcid.org/0000-0003-3552-6574, e-mail: shemanska@ukr.net.

Литвиненко Олена Анатоліївна (Литвиненко Елена Анатольевна, Litvinenko Olena Anatoliivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра технології жирів та продуктів бродіння, м. Харків, Україна; ORCID: orcid.org/0000-0003-0493-1585, e-mail: elena.litvinenko14@gmail.com

Довбенко Анастасія Романівна (Довбенко Анастасия Романовна, Dovbenko Anastasia Romanivna) – студент, Національний університет харчових технологій; м. Київ, Україна; e-mail: anastasiaromanivna@gmail.com

УДК 615.835.3

И. А. БЕЛЫХ, С. И. САМОЙЛЕНКО, А. А. ВАРАНКИНА, Н. В. ЛАРИНЦЕВА, И. П. ВЫСЕКАНЦЕВ**ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОЛИФЕРАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПРОДУЦЕНТОВ В БИОТЕХНОЛОГИИ**

В данной работе было изучено сочетанное влияние озонида (озонированная среда) и антибиотиков на бактерии *Escherichia coli*, и *Staphylococcus aureus*. В эксперименте использовали антибиотики различных классов (канамицин, эритромицин, бензилпенициллин, цефтриаксон и цефазолин), имеющих разные механизмы повреждающего действия на бактериальные клетки. Интерес к изучению сочетанного влияния озонида и антибиотиков на бактерии основывался на данных литературы и собственных результатах, полученных ранее. Для этой серии экспериментов мы выбрали концентрацию озонида, не вызывающую гибель бактериальных клеток – 0,35–0,57 мг/мл. Концентрация антибиотиков составляла 10^{-4} – 10^{-2} г/мл. При инкубировании с озонидом минимальная бактериальная концентрация антибиотиков повышалась, соответственно от 10^{-3} до 10^{-1} г/мл. При изучении сочетанного воздействия антибиотиков и озонида на бактерии, установлено, что озонид частично инактивирует антибиотики, при этом минимальная бактерицидная концентрация антибиотиков повышается в среднем на один порядок.

Ключевые слова: озон, озонид, антибиотики, бактерии, микроорганизмы, экзогенные вещества.

І. А. БЕЛИХ, С. І. САМОЙЛЕНКО, О. О. ВАРАНКИНА, Н. В. ЛАРИНЦЕВА, І. П. ВИСЕКАНЦЕВ
ВПЛИВ ДЕЯКИХ ЕКЗОГЕННИХ СПЛУК НА ПРОЛІФЕРАТИВНУ АКТИВНІСТЬ ПРОДУЦЕНТІВ У БІОТЕХНОЛОГІЇ

У даній роботі було вивчено сумісний вплив екзогенних речовин (сумісний вплив озоніду та антибіотиків) на бактерії *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*. В експерименті використовували антибіотики різних класів (канамицин, еритромицин, бензилпеніцилін, цефтриаксон і цефазолін), які мають різні механізми дії, що пошкоджують бактеріальні клітини. Інтерес до вивчення поєднаного впливу озонідів і антибіотиків на бактерії ґрунтувався на даних літератури і власних результатах, одержаних раніше. Для цієї серії експериментів ми вибрали оптимальну концентрацію озоніду, що не викликає загибелі бактеріальних клітин – 0,35–0,57 мг/мл. Збільшення проліферативної активності мікроорганізмів під дією озону можливо використовувати для нарощування їх біомаси та збільшення виходу біологічно-активних речовин. Концентрація антибіотиків становила 10^{-4} – 10^{-2} г/мл. При інкубуванні з озонідом мінімальна бактеріальна концентрація антибіотиків підвищувалася, відповідно від 10^{-3} до 10^{-1} г/мл. При вивченні поєднаного впливу антибіотиків і озоніду на бактерії, встановлено, що озонід частково інактивує антибіотики, при цьому мінімальна бактерицидна концентрація антибіотиків підвищується в середньому на один порядок. Інгібуючий вплив озоніду на бактерицидні властивості антибіотиків необхідно враховувати в розробці схем озонування для інактивації патогенних мікроорганізмів, які викликають контамінацію біологічного матеріалу.

Ключові слова: озон, озонід, антибіотики, бактерії, мікроорганізми, екзогенні речовини.

І. А. БЕЛЫХ, С. И. САМОЙЛЕНКО, О. О. ВАРАНКИНА, Н. В. ЛАРИНЦЕВА, И. П. ВЫСЕКАНЦЕВ
INFLUENCE OF SOME EXOGENETIC SUBSTANCES ON PROLIFERATIVE ACTIVITY OF PRODUCERS IN BIOTECHNOLOGY

The combined influence of ozonide (the ozonized growth medium) and antibiotics on the bacteria of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* was studied in this work. Antibiotics of various classes (kanamycin, erythromycin, benzylpenicillin, ceftriaxone and cefazolin) having different mechanisms of damaging effects on bacterial cells were used in the experiment. Interest in studying the combined effect of ozonide and antibiotics on the bacteria was based on the literature data and own results obtained earlier. The optimal concentration of ozonide (0,35–0,57 мг/мл) which was not causing death of bacterial cells has been chosen for this series of experiments. The increase in the proliferative activity of microorganisms under the ozone influence can be used for biomass increase and biologically active substances producing increase. The concentration of antibiotics was ranged from 10^{-4} – 10^{-2} g/ml. When incubated with ozonide, the minimum bacterial concentration of antibiotics was increased, respectively from 10^{-3} to 10^{-1} g/ml. When studying the combined effect of antibiotics and ozonide on the bacteria, it was found that ozonide partially inactivated antibiotics, while the minimum bactericidal concentration of antibiotics increased by an average on one order value. The inhibiting effect of ozonide on the bactericidal properties of antibiotics must be considered in the development of ozonation schemes for the inactivation of pathogenic microorganisms that cause of biological material contamination.

Key words: ozone, ozonide, antibiotics, bacteria, microorganisms, exogenetic substances.

Введение.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию возможностей применения озона в различных областях биологии, биотехнологии и медицины. На сегодня наибольшее количество исследований посвящено изучению терапевтического эффекта от применения озона при различных патологических состояниях.

Ранее было показано, что озон и продукты озонирования оказывают повреждающее действие на различные виды микроорганизмов – вирусы, бактерии, грибы [1–3]. Однако целый ряд вопросов, таких как механизмы повреждающего действия,

условия, при которых реализуется микробицидный эффект, дозы и время воздействия применительно к различным таксономическим группам микроорганизмов и среды инкубирования изучены крайне мало. Мало исследован механизм стимулирующего действия озона и озонидов на пролиферативные и метаболические процессы в микроорганизмах. Практически не изучено сочетанное влияние озонида и антибиотиков на бактериальные клетки [4, 5].

В связи с вышесказанным целью нашего исследования было изучение сочетанного влияния озонида и антибиотиков различных классов на микроор-

© И. А. Белых, С. И. Самойленко, А. А. Варанкина, Н. В. Ларинцева, И. П. Высеканцев, 2018

ганизмы – продуценты для биотехнологической промышленности.

Материалы и методы исследования.

Объектами исследования были культуры бактерий *Escherichia coli* (*E. coli*) штамм В и *Staphylococcus aureus* (*St. aureus*) штамм 209 (получены из коллекции Института микробиологии и иммунологии им. И.И. Мечникова Национальной академии медицинских наук Украины). Культура микромицетов *Candida albicans* (*C. albicans*) ATCC 885-653 (штамм получен из коллекции фармацевтической компании «Здоровье»).

E. coli – грамтрицательная палочка длиной 0,5–2,0 мкм с закругленными концами, подвижная (перитрих), неспорообразующая, иногда может образовывать капсулу. Эшерихии являются факультативными анаэробами, хорошо растут на простых питательных средах, оптимальное значение pH – 7,2–7,8, а температура – 37 °С. Бактерии очень активны, гидролизуют большинство углеводов до кислот и CO₂, H₂; белки – до индола и сероводорода; способны восстанавливать нитраты и нитриты. В воде и почве кишечная палочка сохраняет жизнеспособность от нескольких недель до нескольких месяцев, температура 55 °С вызывает гибель бактерии через час, а 60 °С – через 15 минут, также в течение нескольких минут *E. coli* погибает в дезинфицирующих растворах. Иногда способны вызывать заболевание человека – эшерихиоз [6].

St. aureus – грамтрицательные бактерии с шаровидной формой клетки, диаметром 0,5–3,5 мкм, делящиеся в разных направлениях, после чего образуют скопления в виде виноградной грозди. Стафилококки неподвижны, неспорообразующие, капсул не образуют, способны трансформироваться в L-формы. Бактерии относятся к факультативным анаэробам, растут на простых питательных средах, оптимум pH – 7,0–7,2. Обладают широким набором ферментов, способны ферментировать различные сахара – глюкозу, лактозу, сахарозу, а также маннит и глицерин; способны восстанавливать нитраты и нитриты, образуют аммиак и сероводород. Бактерии *St. aureus* устойчивы к высушиванию, замораживанию, солнечному свету; нередко обладают множественной резистентностью к антибиотикам. Вызывают воспалительные процессы [6].

C. albicans – дрожжеподобные грибы, относящиеся к дейтеромицетам, размножающиеся почкованием и формирующие псевдомицелий. Клетки овальные, округлые, овально-вытянутой формы от 2,0–20,0 мкм в диаметре, нередко способны образовывать бластоспоры и хламидоспоры. Микромицеты рода кандиды растут на плотных и жидких питательных средах с добавлением глюкозы в очень широком диапазоне pH – 2,5–6,5, с оптимумом 5,8–6,5 и температуре 30–37 °С. Основными факторами патогенности у грибов данного рода являются эндотоксины и ферменты. Вызывают кандидозы [6].

Культуры бактерий *E. coli* и *St. aureus* выращивали на мясо-пептонном агаре (МПА) при температуре 37 °С в течение 20–22 часов, культуру *C. albicans* – на скошенном агаре Сабуро в течение 40 часов при температуре 30 °С [7].

Жизнеспособность микроорганизмов оценивали «чашечным методом Коха» по числу микроколоний, сформировавшихся на агаризованных средах [7].

Серийные разведения проводили в физиологическом растворе (9 % NaCl). В качестве экзогенных веществ использовали озониды и антибиотики различных таксономических групп.

Методика изучения влияния озонированной питательной среды на кинетику роста и отмирание культуры *E. coli*.

Озон для исследований получали из чистого кислорода на экспериментальной установке, собранной в Институте проблем криобиологии и криомедицины Национальной академии наук Украины (г. Харьков). Концентрацию озона измеряли спектрофотометрическим методом по поглощению света на полосе Хартли (длина волны 255 нм). Данный метод применим как для измерения концентрации озона в газовой фазе, так и в жидкости. Исходный концентрат был идентичен во всех экспериментах.

Культуру бактерии *E. coli* выращивали на агаризованной среде МПА, смывали и переносили в стандартную солевую среду М9 с добавлением глюкозы. Состав среды М9 на 1 л дистиллированной воды: Na₂HPO₄ – 6 г, KH₂PO₄ – 3 г, NH₄Cl – 1 г. После автоклавирования добавляли: 10 мл 0,01М раствора CaCl₂, 1 мл 1М раствора MgSO₄, 5 мл 40 % раствора глюкозы [7]. Параллельно озонировали среду М9 путем барботирования озоном. Концентрация озона в среде составляла 6,3 мкг/мл.

В предварительных экспериментах было установлено, что озонированная среда оказывает бактерицидный эффект – бактерии *E. coli*, инкубированные в ней погибали. В данной работе мы исследовали действие нормированных малых доз озона на микроорганизмы. В связи с этим готовили растворы путем разведения исходной озонированной среды в нативной среде. Конечная концентрация озонированной среды составляла: 0,0013; 0,013; 0,062; 0,012; 0,035; 0,057 мкг/мл. В полученные растворы вносили суспензию бактерий из расчета 1·10⁷ клеток на 50 мл раствора озонида. Бактерии культивировали в термостатированной качалке при 37 °С, при вращении платформы со скоростью 100 об/мин. Время культивирования после внесения инокулята составляло 6–8 часов до начала стационарной фазы роста культуры. В процессе культивирования отбирали пробы и строили логарифмические кривые роста периодических культур бактерий по их оптической плотности. Оптическую плотность измеряли на фотоэлектроколориметре [8, 9].

Методика изучения сочетанного действия озонида и антибиотиков на микроорганизмы.

Минимальную бактерицидную концентрацию (МБК) антибиотиков изучали модифицированным методом серийных разведений [9]. Для этого готовили серийные разведения антибиотиков в физиологическом растворе, затем добавляли озон в концентрации 20 %. Контролем служили пробирки с физиологическим раствором без озонида. Затем в пробирки вносили тест-культуры *E. coli* и *St. aureus* в количестве 10^6 кл/мл. Пробы инкубировали в термостате при температуре 37 °С в течение двух часов. После чего из каждой пробирки высевали по 0,2 мл суспензии на чашки Петри с МПА. Чашки инкубировали 20 часов в термостате при той же температуре. По окончании инкубирования учитывали наличие или отсутствие роста колоний бактерий на агаризованной питательной среде.

Статистическую обработку полученных результатов проводили по общепринятым в медико-биологических исследованиях методам. Достоверность расчетов составляла 95 % [10].

Результаты и их обсуждение.

Влияние озонированной питательной среды на кинетику роста и отмирания культуры *E. coli*.

В первой серии экспериментов изучали влияние озонированной питательной среды на кинетику роста и отмирания культуры *E. coli*. Для озонирования очень малыми концентрациями использовали метод разведений. Опыт заключался в следующем: в буферный солевой раствор, содержащий глюкозу с микроорганизмами, добавляли дозированное количество того же озонированного буферного раствора, не содержащего глюкозы. При инкубировании микроорганизмов в буфере, содержащем растворенный озон и его продукты окисления (озониды) наблюдали более интенсивный рост микроорганизмов, по сравнению с контролем (Рис. 1). Последующее отмирание бактерий в контроле происходило быстрее. Кинетика роста, и количество бактерий зависели от времени конечного разбавления буферного раствора. Также был определен оптимальный разбавления, когда наблюдалось наибольшее стимулирование. Было установлено, что внесение продуктов озонирования в концентрации 0,013–0,062 мкг/мл не влияло на пролиферативные свойства клеток и время роста периодической культуры в лаг-фазе. При увеличении концентрации озонидов до 0,12–0,35 мкг/мл было отмечено стимулирующее действие озонидов ростовой среды на пролиферативные и метаболические свойства бактерий. При культивировании бактерий в присутствии озонидов в данной концентрации лаг-фаза достоверно увеличивалась, по сравнению с контрольной периодической культурой. Затем клетки начинали интенсивно делиться, кривые логарифмической стадии роста имели больший угол наклона, культуры входили в стационарную фазу роста позже контрольной культуры.

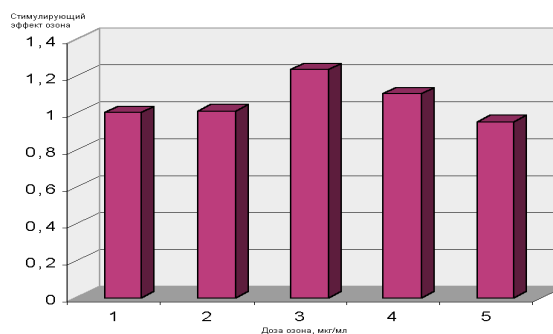


Рис. 1 – Влияние озонида на бактерии к *E. coli*:

1. Контроль (без озона); 2. 0,0013 мкг/мл; 0,013 мкг/мл; 0,062 мкг/мл; 3. 0,35 мкг/мл; 4. 0,12 мкг/мл; 5. 0,57 мкг/мл

Однако концентрация бактерий к моменту перехода в стационарную фазу была достоверно выше, чем в случае контрольной культуры (уровень достоверной вероятности был $< 0,05$) [8].

Увеличение концентрации озонидов в ростовой среде до 0,57 мкг/мл оказывало ингибирующее действие на бактерии. Лаг-фаза увеличивалась, угол кривой уменьшался, концентрация бактерий на момент перехода в стационарную фазу была достоверно ниже контрольной культуры, а время перехода в стационарную фазу увеличивалось [8].

Данные исследований показывают, что малые дозы озонида, не оказывающие бактерицидного действия, также могут взаимодействовать прямо или опосредованно с бактериальными клетками. Нами было впервые показано влияние малых доз на кинетику роста и отмирания периодической культуры *E. coli* в глюкозо-минеральной среде М9 [8]. Установлено, что концентрация продуктов озонирования до 0,062 мкг/мл не влияет на кинетику роста данной периодической культуры. При концентрациях озонидов 0,12–0,35 мкг/мл установлены такие изменения в формировании периодической культуры, как увеличение лаг-фазы, более позднее вхождение в стационарную фазу роста и достоверное повышение концентрации бактерий к моменту перехода в стационарную фазу. Увеличение концентрации озонидов до 0,57 мкг/мл приводило к увеличению лаг-фазы, уменьшению скорости деления и снижению концентрации бактерий на момент перехода в стационарную фазу. Предположительно, в основе выявленного эффекта лежит не прямое действие озона на бактериальные клетки, а опосредованное действие на бактерии продуктов взаимодействия с компонентами питательной среды и продуктами метаболизма бактерий. В случае прямого действия мы имели бы усиливающийся с повышением дозы эффект повышения концентраций бактерий к моменту перехода в стационарную фазу. В наших исследованиях показано, что доза озонидов 0,013–0,062 мкг/мл не влияет на пролиферативные свойства

бактерий. Скорее всего, эти дозы озонидов нейтрализуются компонентами питательной среды и частично самими бактериальными клетками [8].

Таким образом, полученные нами данные показывают, что при действии озонида на микроорганизмы с одной стороны резко уменьшается бактерицидный эффект, а с другой стороны – увеличивается стимулирующее действие на рост микроорганизмов. Стимулирующее действие озонида, возможно, объясняется появлением продуктов реакции при взаимодействии его с компонентами буферного раствора, которые могут определенным образом влиять на кинетику роста и отмирания бактерий. Кинетика гибели бактерий под действием озона зависит от концентрации в озон-воздушной смеси органических примесей и продуктов окисления озона (озонидов).

Учитывая имеющиеся единичные сообщения [11] о выраженном влиянии озонидов на мембраны бактериальных клеток, можно предположить, что установленный в данной серии экспериментов эффект стимуляции пролиферативной активности клеток малыми дозами озонида, помимо воздействия на ростовую среду, носит также и опосредованный характер. При этом происходит активация энергетического статуса клеток путем изменения структурно-функционального состояния цитоплазматических мембран бактерий и активация энергетического метаболизма за счет повышения активности энерго-сопряженных реакций, связанных с АТФазой. Скорее всего, озониды стимулируют выброс протонов АТФазой или за счет модификации самого фермента, либо его микроокружения, т.к. известно, что белки и липиды высокочувствительны к озону [11]. Нельзя исключить и стимуляцию под воздействием озонида синтеза эндогенных предшественников АТФ. Несомненно, реальный механизм стимулирующих эффектов озонида более сложный, но для построения концепции об его развитии нужны экспериментальные данные.

Установленный нами эффект стимулирующего действия определенных концентраций озонида на пролиферативную активность бактериальных клеток может быть использован для разработки технологий повышения продуктивности микроорганизмов и увеличения выхода биологически-активных веществ. Эти данные послужат также для объяснения возможных механизмов репаративного действия озона на ткани микроорганизмов.

Влияние озона на дрожжеподобные грибы *C. albicans*. В опытах с дрожжеподобными грибами *C. albicans* обнаружена иная реакция клеток на присутствие озонида в среде в концентрации 0,013 – 0,57 мкг/мл. Клетки грибов оказались более устойчивы к повреждающему действию озонида и продуктам его взаимодействия, по сравнению с бактериальными клетками, что связано с различием в строении клеток, механизмах окислительно-восстановительных реакций и систем репарации бактерий и микромитозов [3].

Учитывая высокую реакционную способность озонида, логично предположить, что плазматическая мембрана клеток *C. albicans*, благодаря химическому составу и плотной упаковке компонентов, представляет собой труднопреодолимый химический барьер для молекул озона [11].

Сочетанное влияние озонида и антибиотиков на микроорганизмы. В следующей серии экспериментов было изучено сочетанное влияние озонида и антибиотиков на бактерии *E. coli* и *St. aureus*. В эксперименте использовали антибиотики различных классов (канамицин, эритромицин, бензилпенициллин, цефтриаксон и цефазолин), имеющих разные механизмы повреждающего действия на бактериальные клетки [6, 12].

Например, антибиотик канамицин относящийся к группе аминогликозидов, образуется в природе актиномицетами, является антибиотиком широкого спектра действия, оказывающий бактерицидное влияние на грамположительные и особенно на грамотрицательные бактерии, а также на кислотоустойчивые бактерии (включая, микобактерии туберкулеза) [12]. Эритромицин, относящийся к группе макролидов, является антибактериальным веществом и по спектру антимикробного действия активен в отношении грамположительных и грамотрицательных кокков (стафилококков, стрептококков). В терапевтических дозах эритромицин действует бактериостатически. Устойчивость к антибиотику развивается быстро [12]. Бензилпенициллин является антимикробным веществом, продуцируемым различными видами пенициллиев. Этот антибиотик оказывает бактерицидное действие на микроорганизмы, находящиеся в фазе активного роста. Антибактериальный эффект связан со специфической способностью пенициллинов ингибировать синтез клеточной стенки микроорганизмами [12].

Цефазолин и цефтриаксон относятся к группе цефалоспоринов, проявляют выраженное бактерицидное действие. Механизм их действия связан с повреждением клеточной мембраны бактерий, находящихся в стадии размножения, что обусловлено специфическим ингибированием ферментов клеточных мембран [6, 12].

Интерес к изучению сочетанного влияния озонида и антибиотиков на бактерии основывался на данных литературы и наших собственных результатах, полученных ранее, в прямом бактерицидном и фунгицидном действии достаточно больших доз озона. Для этой серии экспериментов мы выбрали концентрацию озонида, не вызывающую гибель бактериальных клеток [8]. Предположительно, такая доза не должна оказывать выраженного повреждающего действия и на клетки эукариот. Поскольку, по данным литературы [13], озон в любых концентрациях вступает во взаимодействие с клетками, нами было высказано предположение о том, что в результате взаимодействия бактериальных клеток с озонидом,

их чувствительность к бактерицидному действию антибиотиков повысится. С целью проверки этого предположения, которое могло бы иметь практический выход в виде разработки новых биотехнологий, были проведены следующие эксперименты. С помощью модифицированного нами метода серийных разведений бактерии инкубировали в растворах указанных выше антибиотиков с добавлением озонида в концентрации 20 %. После инкубирования и посева образцов из пробирок на чашки Петри с МПА было установлено, что для кишечной палочки в контрольных образцах МБК канамицина, эритромицина, цефтриаксона и

цефазолина составляла, соответственно, 10^{-4} , 10^{-2} , 10^{-4} , 10^{-3} г/мл (Рис. 2а). В опытных образцах МБК повышалась, соответственно, до 10^{-2} , 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-2} г/мл (Рис. 2а). Аналогичные результаты были получены и в экспериментах со стафилококком. МБК контрольных образцов для канамицина, эритромицина, бензилпенициллина, цефтриаксона и цефазолина составляла, соответственно, 10^{-2} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-2} г/мл (Рис. 2б). При инкубировании с озонидом МБК антибиотиков повышалась, соответственно до 10^{-1} , 10^{-1} , 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-1} г/мл (Рис. 2б).

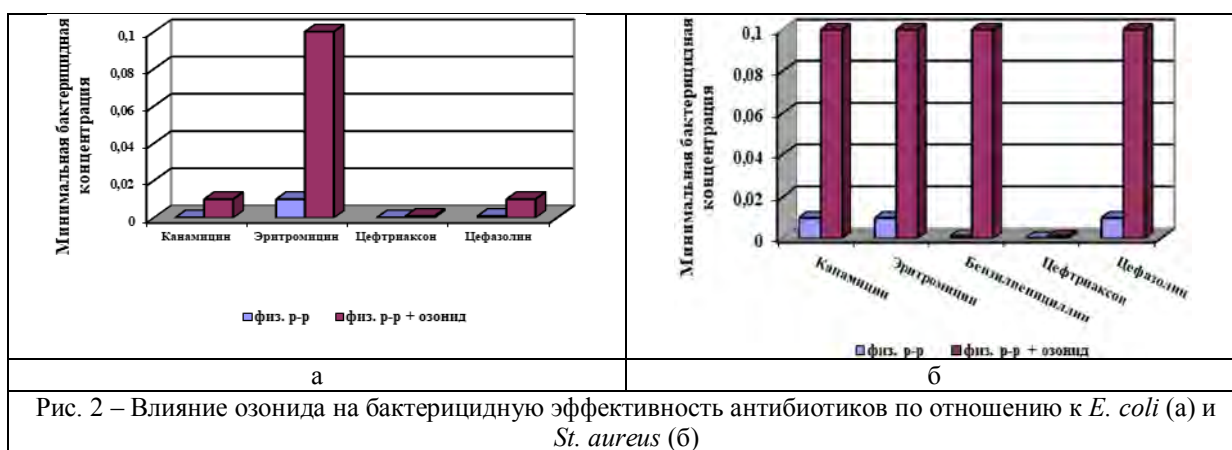


Рис. 2 – Влияние озонида на бактерицидную эффективность антибиотиков по отношению к *E. coli* (а) и *St. aureus* (б)

Представленные результаты свидетельствуют о том, что озонид, в концентрациях нелетальных для бактериальных клеток оказывает инактивирующее действие на антибиотики с различным химическим строением, и имеющие соответственно, различные механизмы бактерицидного действия.

Инактивирующее действие озонида на антибиотики более выражено, чем вероятное взаимодействие с клеточными структурами, которое могло бы повысить чувствительность бактерий к антибиотикам. В результате МБК антибиотиков в присутствии озонида не снижалась, а повышалась в среднем в 10 раз. Механизмы инактивирующего действия озонида на антибиотики требуют отдельных исследований с использованием физико-химических методов анализа. По-видимому, озонид и продукты взаимодействия с ним не повреждают специфическую мишень в химической структуре антибиотиков, т.к. нами исследовались препараты с различным химическим строением. Учитывая различия в химической структуре препаратов, озонид и продукты взаимодействия с ним реагируют в первую очередь, с определенными химическими соединениями, чувствительными к окисляющему действию озонида. В результате этого действия активные центры антибиотиков восстанавливаются и бактерицидное действие антибиотиков снижается. В пользу такой гипотезы свидетельствует ряд работ [4, 5, 14], в которых описывается возможность окислительной инактивации в функциональной

группе ферментов озонидом. Не совсем понятным является то, что в этих экспериментах не выявлено повышение чувствительности бактерий к антибиотикам. Озонид даже в малых дозах, по-видимому, должен вызывать структурную химическую модификацию плазматических мембран в соответствии с концепцией С.В. Конева [15] о структурных перестройках мембран как экспрессном механизме регуляции клеточной активности. По-видимому, комплексный эффект от инактивации активных центров антибиотиков во много раз превышает механизм озонной токсичности на клетки микроорганизмов.

Выводы и перспективы дальнейшего развития направления.

1. Периодическая культура *E. coli* в присутствии озонида в количестве 0,12–0,35 мкг/мл входит в стационарную фазу роста при более высоких исходных концентрациях клеток.

2. Концентрация озонида 0,35 мкг/мл вызывает повышение пролиферативной активности бактерий *E. coli*, что может быть использовано в биотехнологии для наращивания биомассы микроорганизмов и дальнейшего получения биологически-активных веществ.

3. Действие озонида зависит от морфо-функциональных особенностей микроорганизмов.

4. При изучении сочетанного воздействия антибиотиков и озонида на бактерии, установлено, что озонид частично инактивирует антибиотики, при этом минимальная бактерицидная концентрация

антибиотиков повышалась в среднем на один порядок.

5. Ингибирующее влияние озонида на бактерицидные свойства антибиотиков необходимо учитывать в разработке схем озонирования для инактивации патогенных микроорганизмов, вызывающих контаминацию биологического материала.

Список литературы

1. Achen M., Yousef A. E. Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O157:H7 on apples. *J Food Sci.* 2001. Vol. 66, № 9, pp. 1380–1384.
2. Бельх И. А., Высеканцев И. П., Грек А. М., Сақун А. В., Марушенко В. В. Токсическое действие озона на бактерии *Escherichia coli*. *Современные проблемы токсикологии.* 2009. № 1. С. 48–53.
3. Бельх И. А., Высеканцев И. П., Грек А. М., Сақун А. В., Марушенко В. В. Токсическое действие озона на микроорганизмы *Staphylococcus aureus*, дрожжеподобные грибы *Candida albicans* и споровые формы *Bacillus subtilis*. *Современные проблемы токсикологии.* 2010. № 2–3. С. 45–49.
4. Гречко В. Н., Кожухов М. В., Решетников А. С. Влияние газообразного озона на чувствительность раневой микрофлоры к антибактериальным препаратам. *Вестник физиотерапии и курортологии.* 2008. № 5. С. 82–83.
5. Белянин И. И., Мартынова Л. П., Шмелев Е. И. Изменение устойчивости к изониазиду и рифампицину полирезистентного штамма микобактерии туберкулеза после обработки растворенным озоном. *Проблемы туберкулеза.* 2002. № 1. С. 46–48.
6. Дикий И. Л., Холупяк И. Ю., Шевелева Н. Е., Стегний М. Ю. *Микробиология.* Харьков: Прапор, 1999. 417 с.
7. Лабинская В.С. *Микробиология с техникой микробиологических исследований.* М.: Медицина, 1978. 394 с.
8. Бельх И. А., Зинченко В. Д., Высеканцев И. П. Стимулирующее действие малых доз озона на рост микроорганизмов. *Проблемы криобиологии.* № 4. 2004. С. 41–45.
9. Поздеев О.К. *Медицинская микробиология /* Под ред. акад. РАМН Покровского В.И. – М.: ГЭОТАР МЕД., 2001. 768 с.
10. Лакин Г.Ф. *Биометрия.* М.: Высшая школа, 1980. 234 с.
11. Матус В. К., Мартынова М. А., Скоринко Е. В., Мельникова А. М., Конев С. В. *Биологические мембраны.* 1999. Т. 16. С. 50–56.
12. Машковский М. Д. *Лекарственные средства,* 16-е издание. М.: Новая волна, 2012. 1216 с.
13. Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. *Озон и его реакции с органическими соединениями.* М.: Наука, 1974. 322 с.
14. De Morini D. M., Abu-Shakra A., Felton C. F. et al. Mutation spectra in salmonella of chlorinated, or ozonated drink-

inh water extracts: comparison to MX. *Environmental and molecular Mutagenesis.* 1995. Vol. 26, № 4, pp. 270–285.

15. Конев С. В. *Структурная лабильность мембран и регуляторные процессы.* Минск: Наука и техника, 1987. 240 с.

References (transliterated)

1. Achen M., Yousef A. E. Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O157:H7 on apples. *J Food Sci.* 2001. Vol. 66, № 9, pp. 1380–1384.
2. Belykh I. A., Vysekantsev I. P., Grek A.M., Sakun A.V., Maruschenko V.V. Toksicheskoe devstvie ozona na bakterii *Escherichia coli*. *Sovremennyye problemy toksikologii.* 2009. no. 1, pp. 48–53.
3. Bielvykh I. A., Vysekantsev I. P., Grek A. M., Sakun A. V., Maruschenko V. V. Toksicheskoe devstvie ozona na mikroorganizmy *Staphylococcus aureus*, drozhzhopodobnyye grivi *Candida albicans* i sporovyye formy *Bacillus subtilis*. *Sovremennyye problemy toksikologii.* 2010. no. 2–3, pp. 45–49.
4. Grechko V. N., Kozhuhov M. V., Reshetnikov A. S. Vliyaniye gazoobraznogo ozona na chuvstvitel'nost' raneyov mikroflory k antibakterial'nym preparatam. *Vestnik fizioterapii i kurortologii.* 2008. no. 5, pp. 82–83.
5. Belvanin I. I., Martynova L. P., Shmelev E. I. Izmeneniye ustoychivosti k izoniazidu i rifampitsinu polirezistentnogo shtamma mikobakterii tuberkuleza posle obrabotki rastvorennym ozonom. *Problemy tuberkuleza.* 2002, no. 1, pp. 46–48.
6. Dikiy I. L., Holupyak I. Yu., Sheveleva N. E., Stegnyy M. Yu. *Mikrobiologiya.* Kharkov: Prapor, 1999. 417 p.
7. Labinskaya V.S. *Mikrobiologiya s tehnikoy mikrobiologicheskikh issledovaniy.* M.: Meditsina, 1978. 394 p.
8. Bielykh I. A., Zinchenko V. D., Vysekantsev I. P. Stimuliruyushee devstvie malvih doz ozona na rost mikroorganizmov. *Problemy kriobiologii.* № 4. 2004. pp. 41 – 45.
9. Pozdeev O. K. *Meditsinskaya mikrobiologiya* Pod red. akad. RAMN Pokrovskogo V.I. M.: GEOTAR MED., 2001. 768 p.
10. Lakin G. F. *Biometriya.* M.: Vysshaya shkola. 1980. 234 p.
11. Matus V. K., Martynova M. A., Skorinko E. V. *Biologicheskie membrany.* 1999. T. 16. pp. 50–56.
12. Mashkovskiy M. D. *Lekarstvennyye sredstva,* 16-e M.: Novaya volna. 2012. 1216 p.
13. Razumovskiy S. D., Zaikov G. E. *Ozon i ego reaktsii s organicheskimi soedineniyami.* M.: Nauka, 1974. 322 p.
14. De Morini D. M., Abu-Shakra A., Felton C. F. et al. Mutation spectra in salmonella of chlorinated, or ozonated drinkinh water extracts: comparison to MX. *Environmental and molecular Mutagenesis.* 1995. Vol. 26. no. 4. pp. 270–285.
15. Konev S. V. *Strukturnaya labilnost' membran i regulyatornyye protsessyi.* Minsk: Nauka i tehnika, 1987. 240 p.

Поступила (received) 23.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бельх Ірина Анатоліївна (Бельх Ирина Анатольевна, Bielykh Iryna) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біотехнології, біофізики та аналітичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6637-2232>; e-mail: ibelvh74@gmail.com

Самойленко Сергій Іванович (Самойленко Сергей Иванович, Samoilenko Serhii) – кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнології, біофізики та аналітичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4742-7303>; e-mail: samojlenko1955@gmail.com

Варанкіна Олександра Олександрівна (Варанкина Александра Александровна, Varankina Oleksandra) – кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнології, біофізики та аналітичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6117-7091>; e-mail: avarankina@gmail.com

Ларінцева Надія Вікторівна (Ларинцева Надежда Викторовна, Larintseva Nadia) – старший викладач кафедри біотехнології, біофізики та аналітичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5169-2682>; e-mail: nadyaelen2111@gmail.com

Высеканцев Игорь Павлович (Высеканцев Игорь Павлович, Vysekantsev Igor) – старший науковий співробітник; Інститут проблем криобіології і криомедицини Національної академії наук України; <https://scholar.google.com.ua>; e-mail: agi74@meta.ua

УДК 621.35

*М. Д. САХНЕНКО, М. В. ВЕДЬ, О. О. ОВЧАРЕНКО, В. О. ПРОСКУРИНА, Т. О. НЕНАСТИНА***ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПОКРИТТІВ, МОДИФІКОВАНИХ ДИОКСИДОМ ЦИРКОНІЮ**

Запропоновано метод осадження композиційних електрохімічних покриттів на основі міді та нікелю, модифікованих оксидом цирконію. Покриття отримували з електролітів-суспензій на основі сульфатних електролітів міднення та нікелювання з додаванням порошку оксиду цирконію, як дисперсної фази. Визначені мікроструктурні та механічні характеристики отриманих композитів Cu-ZrO₂ та Ni-ZrO₂, а саме мікротвердість та релаксаційну стійкість, що безпосередньо пов'язані з умовами електроосадження. Показано підвищення фізико-механічних властивостей матеріалів з зростанням вмісту в електроліті оксиду цирконію.

Ключеві слова: електроліт, композиційні електрохімічні покриття, дисперсна фаза, мікротвердість, релаксаційна стійкість.

**Н. Д. САХНЕНКО, М. В. ВЕДЬ, О. А. ОВЧАРЕНКО, В. О. ПРОСКУРИНА, Т. А. НЕНАСТИНА
СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДИОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ**

Предложен метод осаждения композиционных электрохимических покрытий на основе меди и никеля, модифицированных оксидом циркония. Покрытия получали из электролитов-суспензий на основе сульфатных электролитов меднения и никелирования с добавлением порошка оксид циркония, как дисперсную фазу. Определены микроструктурные и механические характеристики полученных композитов Cu-ZrO₂ и Ni-ZrO₂, такие как микротвердость и релаксационная стойкость в зависимости от условий электроосаждения. Показано повышение физико-механических свойств материалов с увеличением содержания в электролите оксид циркония.

Ключевые слова: электролит, композиционные электрохимические покрытия, дисперсная фаза, микротвердость, релаксационная стойкость.

**M. D. SAKHNENKO, M. V. VED', O. O. OVCHARENKO, V. O. PROSKURINA, T. O. NENASTINA
PROPERTIES OF COMPOSITE ELECTROCHEMICAL COATINGS MODIFIED WITH ZIRCONIA**

The method is proposed for depositing composite electrochemical coatings based on copper and nickel modified with zirconium oxide. Coatings were obtained from electrolyte suspensions based on sulfate electrolytes of copper plating and nickel plating with the addition of zirconium oxide powder as a dispersed phase. Methods for determining the strength indices are proposed. The microstructural and mechanical characteristics of the obtained Cu-ZrO₂ and Ni-ZrO₂ composites, such as microhardness and relaxation stability, are determined depending on the conditions of electrodeposition. An increase in the physical and mechanical properties of materials is shown with an increase in the content of copper plating and nickel plating of zirconium oxide in electrolytes in comparison with monometallic analogs, and the influence of matrix material on microhardness and relaxation stability was revealed. The character of the dependences of the physical and mechanical properties on the content of the dispersed phase in electrolytes is established. The influence of the nature of the dispersed phase on the graininess of the coatings was studied, the size of the secondary phase particles in the composites was determined, and the influence of the particle concentration on the size of the conglomerates was determined.

Keywords: electrolyte, composite electrochemical coatings, dispersed phase, microhardness, relaxation resistance.

Вступ.

Промислово-технічний інтерес до матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями спонукає до створення композиційних матеріалів та покриттів на основі металевої матриці. Композиційні електрохімічні покриття (КЕП) являють собою металеву матрицю, до складу якої включені частинки твердої фази (оксиди, нітриди, сульфід) [1, 2]. Інкорпорування до покриття частинок дисперсної фази суттєво впливає на показники твердості, зносостійкості, корозійній стійкості та надає поверхні нові характеристики (антифрикційні, магнітні, каталітичні). Оскільки структура інноваційних матеріалів може бути розроблена у відповідності від застосування, композити мають безмежні перспективи відносно матеріально-технічного забезпечення.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Метод отримання композиційних електрохімічних покриттів (КЕП) зводиться до

принципу співосадження з електролітів-суспензій частинок дисперсної фази різної форми та розміру. Перевагою методу електрохімічного осадження КЕП є його простота, економічність, надійність і доступність для широкого застосування, а відмінна риса полягає в тому, що дисперговані матеріали за рахунок періодичного чи безперервного перемішування електроліту знаходяться в статичному або динамічному контакті з поверхнею катода. Цим досягається можливість співосадження частинок з металом і створюються особливі умови його кристалізації. Методика електроосадження дозволяє синтезувати широкий ряд матричних металокерамічних композитів шляхом варіювання різних типів частинок дисперсної фази в поєднанні з різними розчинами електролітів. Властивості КЕП визначаються комбінацією компонентів, а також їх міжфазними характеристиками. В останній час спостерігається заінтересованість до наноконпозиційних електрохімічних покриттів [3].

КЕП з нанокристалевою металевою матрицею характеризуються значно більшою твердістю і

міцністю в порівнянні з їх мікрокристалевими аналогами. Збільшення фізико-механічних властивостей відбувається за рахунок високої щільності меж зерен, яке призводить до збільшення показників міцності або виявленню нових властивостей [4–7].

Процес електроосадження композиційних покриттів залежить від багатьох робочих параметрів. Основні фактори, що впливають на фізико-механічні властивості, є тип частинок та концентрація їх у розчині електроліту, а також густина струму та гідродинамічний стан [8–10].

В роботі були визначені мікроструктурні і механічні характеристики композитів Cu-ZnO₂ та Ni-ZnO₂, отриманих з сульфатних електролітів міднення та нікелювання з варіюванням вмісту частинок ZrO₂.

Методика експерименту. Електрохімічне осадження композитів на основі нікелю та міді проводили із сульфатних електролітів (табл. 1: 1.1 – розчин електроліту без додавання дисперсної фази, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 – розчин електроліту з додаванням дисперсної фази, відповідно 10, 25, 50, 100 г/дм³). Такі електроліти є простими за складом і стійкими в роботі. Осадження КЕП проводили з використанням методу гальванопластики при густині струму 1,5 – 2 А/дм², температурі 25 – 30 °С протягом 40 – 60 хв. Як дисперсну фазу використовували нанорозмірний оксид цирконію. Перед додаванням до електроліту ZrO₂ попередньо обробляли на диспергаторі УЗД-22/44 при частоті 22 кГц. Час обробки – 15 хв.

Таблиця 1 – Склад сульфатних електролітів нікелювання та міднення

Компоненти електроліту, г/дм ³	Номер електроліту				
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Склад електроліту нікелювання:					
NiSO ₄ ·7H ₂ O, нікель сульфат	200				
NiCl ₂ , нікель хлорид	30				
H ₃ BO ₃ , борна кислота	25				
ZrO ₂ , цирконій діоксид	–	10	25	50	100
Склад електроліту міднення:					
CuSO ₄ ·5H ₂ O, міді сульфат	200				
H ₂ SO ₄ , сульфатна кислота	50				
ZrO ₂ , цирконій діоксид	–	10	25	50	100

Фізико-механічні властивості мідних покриттів та їх структура залежать від умов осадження та змінюються в широких межах [11–12]. За фізичними характеристиками електролітична мідь відрізняється від металургійної міді, що знаходиться в рівноважному стані. Мідь, що отримана електроосадженням, має підвищені мікротвердість, електроопір та внутрішні напруження. Це пов'язано з будовою кристалічної решітки осадів міді, що містить підвищену кількість дефектів домішок.

Мікротвердість покриттів визначали методом вдавлювання алмазної піраміди з використанням твердоміра ПМТ-3 при навантаженні 0,2 кг тривалістю експозиції 10 с. Значення мікротвердості за Вікерсом H_V розраховували за співвідношенням:

$$H_V = 1854 \cdot P/d^2, \quad (1)$$

де P – навантаження, кг, d – діагональ вдавлювання піраміди, мкм. Виміри проводили не менше, ніж в трьох точках з наступним усередненням результатів.

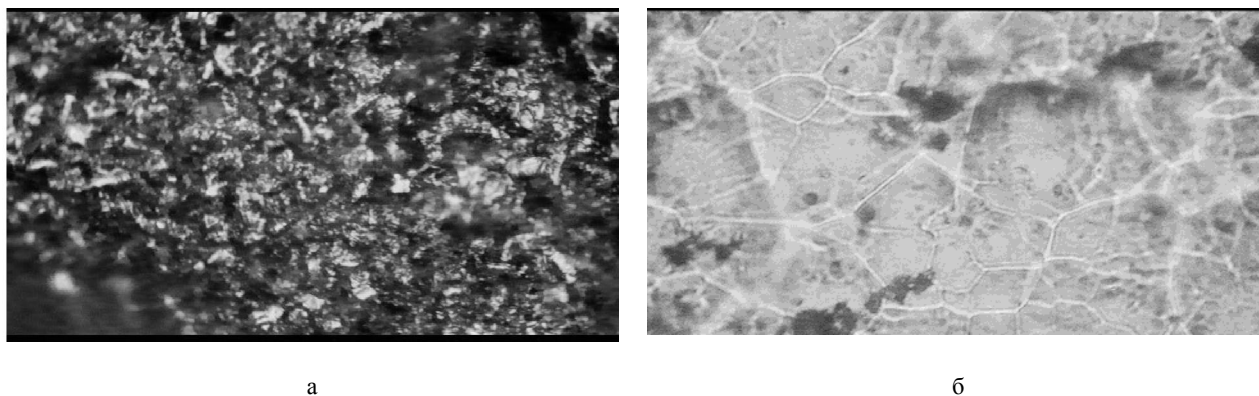
Для визначення мікротвердості синтезованих покриттів та дослідження впливу природи дисперсної фази на зеренність покриттів, отримані зразки

піддавали анодній обробці в електроліті складу: H₂SO₄ – 500 г/дм³; H₂O – 500 г/дм³; напрузі 10 – 15 В; густині струму 50 – 100 А/дм² при температурі 18 – 25 °С, термін обробки 4 – 7 с.

Дослідження поверхні зразків композитів визначали за допомогою мікроскопу марки МИМ-7. Фотографії поверхонь отримували при збільшенні в 100–100000 разів.

Визначення межі текучості, міцності, пластичності проводили з використанням установки TIRA-test-2300. Товщина електроосаджених фольг та КЕП міді і нікелю змінювалась від 10 мкм до 100 мкм в залежності від часу електролізу. Для дослідження фізико-механічних властивостей обрані зразки товщиною 20 – 50 мкм.

Результати та їх обговорення. Структура композитів міді і нікелю являє собою поліедричні зерна з частинками другої фази ZrO₂ (рис. 1). Частинки другої фази розташовані у зернах та по межах зерен, середній розмір частинок складає ZrO₂ < 1 мкм. При збільшенні концентрації другої фази в електроліті з 50 до 100 г/дм³ спостерігається схильність частинок оксиду цирконію до агрегації та утворення конгломератів, при цьому подрібнення зерен виявляється незначним.

Рис. 1 – Мікроструктура електроосаджених композиційних покриттів Cu-ZnO₂ (а) та Ni-ZnO₂ (б)

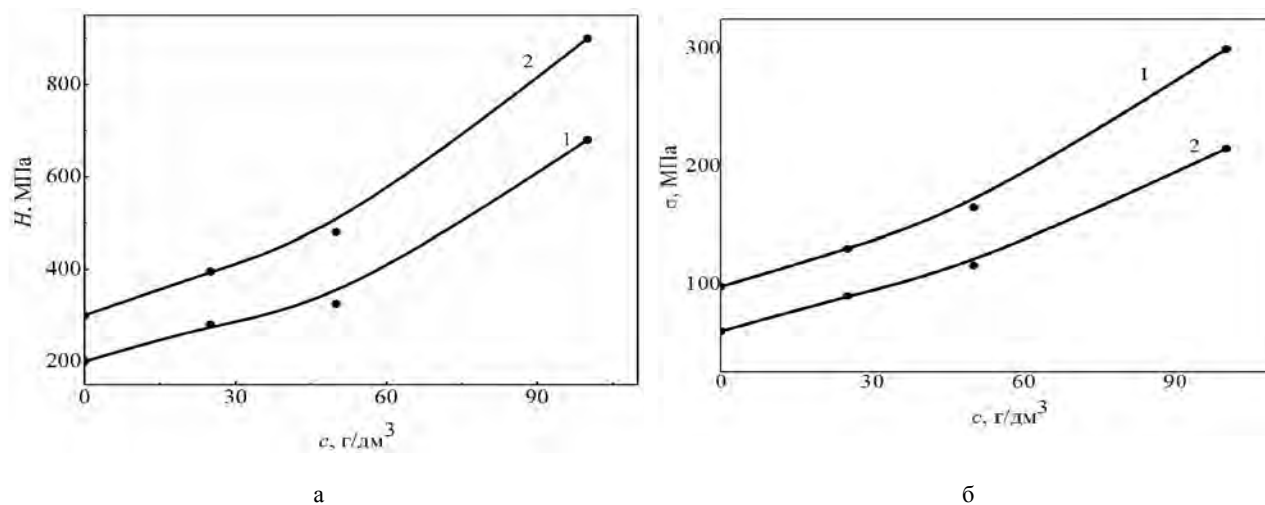
Визначення мікротвердості застосовують для оцінки міцності та пластичності металевих покриттів. Знання межі текучості дає можливість визначити здатність матеріалу протистояти невеликим пластичним деформаціям.

Межа міцності відповідає максимальному навантаженню, що витримує зразок матеріалу до руйнування. В цілому ці знання дають можливість виявити поведінку матеріалів при деформації та руйнуванні від дії зовнішнього навантаження, тим

самим визначити надійність та довговічність покриття.

Характеристики міцності металевих покриттів в значному ступені залежать від структурних недосконалостей, які є внутрішніми дефектами кристалічної ґратки.

За результатами вимірювань встановлено, що введення в розчин електроліту оксиду цирконію надає значний вплив на міцність отриманих композитів(рис. 2).

Рис. 2 – Залежність мікротвердості (а) та межі текучості (б) від вмісту оксиду церконію для композитів Ni-ZrO₂ (1) і Cu-ZrO₂ (2)

Зміцнення металу дисперсною фазою обумовлено тим, що утворюються дрібні виділення другої фази в матриці основного металу, які створюють додаткові перешкоди для руху.

З концентраційних залежностей характеристик міцності видно, що при збільшенні вмісту дисперсної фази в електроліті від 25 до 100 г/дм³ значення мікротвердості для Ni-ZrO₂ збільшується з 240 до 650 МПа, межі текучості від 120 до 300 МПа.

Аналогічна тенденція спостерігається і для композитів з мідною матрицею. Значення мікротвердості збільшується з 380 до 900 МПа, межі текучості від 70 до 200 МПа.

Причина такої поведінки композитів обумовлена присутністю частинок ZrO₂, які виступають в ролі надійної перешкоди руху дислокацій, що характерно для дисперсного механізму зміцнення по Оровану (огинання частинок другої фази дислокаціями).

Релаксаційна стійкість мідних і нікелевих композитів (рис. 3) від вмісту оксиду цирконію при концентрації зміцнювальної фази в електроліті менше 50 г/дм³ досить незначна, що пояснюється нерівноважним станом структури.

Встановлено, що залежності характеристик міцності від вмісту вторинної фази носять нелінійний характер.

Виявлена залежність справедлива як для композитів нікелю, так і для мідних композитів.

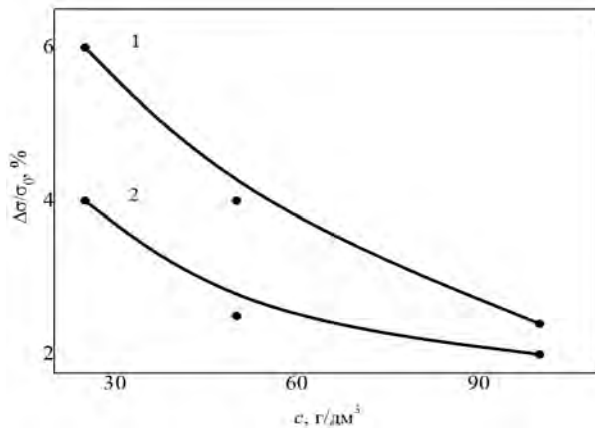


Рис. 3 – Залежність релаксаційної стійкості від вмісту оксиду цирконію для композитів Ni-ZrO₂ (1) і Cu-ZnO₂ (2)

При збільшенні вмісту оксиду цирконію релаксаційна стійкість зростає завдяки збільшенню

щільності бар'єрів для дислокацій, а також свідчить про збільшення міцності покриттів.

Висновки

1. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей композитів Cu-ZnO₂ та Ni-ZnO₂ показали, що відбувається підвищення характеристик міцності з підвищенням вмісту частинок оксиду цирконію.

2. З отриманих концентраційних залежностей фізико-механічних властивостей композиту Cu-ZnO₂ витікає, що при збільшенні вмісту другої фази в електроліті міднення та нікелювання значення мікротвердості та межа текучості композиційних електрохімічних покриттів як на основі нікелю, так і на основі міді зростає в 2,5–3 рази порівняно із металом-матрицею.

3. Виявлено вплив матеріалу матричного металу т на величину межі текучості, а саме композити нікелю мають вищі характеристики міцності, ніж мідні.

4. Доведено, що композиційні електрохімічні покриття на основі міді та нікелю, модифікованих діоксидом цирконію відповідає сучасним напрямкам розвитку технологій щодо синтезу та застосування композиційних матеріалів.

Список літератури:

1. Данилов Ф.И., Васильева Е.А., Сменова И.В., Проценко В.С. Электроосаждение композиционных покрытий Fe-ZnO₂ (+ 3% Y₂O₃). *Вопросы химии и химтехнологии*, 2013. №6. С. 111–114.
2. Ovcharenko O. O., Sakhnenko N. D., Ved' M.V. Electrodeposition and Physicomechanical Properties of Coatings and Foil of Copper Reinforced with Nanosize Aluminum Oxide. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014. vol. 87, №. 5, pp. 596–600.
3. Ovcharenko O., Sakhnenko N., Ved M. Copper (nickel) based composite coatings reinforced with nanosized oxides. *Functional materials*, 2015, vol. 22(1), pp. 105–109.
4. Yousefpour M., Rahimi A. Characterization and selection of optimal parameters to achieve the best tribological performance of the electrodeposited Cr nanocomposite coatings. *Mater. Desing*, 2014, vol. 54, pp. 382–389.
5. Brooks I., Lin P., Palumbo G., Hibbard G.D., Erb U. Analysis of hardness-tensile strength relationships for electroformed nanocrystalline materials. *Mater. Sci.*, 2008, pp. 412–419.
6. Ovcharenko O.O., Sakhnenko N.D., Ved' M.V. Electrochemical Synthesis of Nickel-Based Composite Materials Modified with Nanosized Aluminum Oxide. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2015, vol. 88. no. 2, pp. 267–271.
7. Ovcharenko O.O., Sakhnenko N.D., Ved' M.V. Physicomechanical properties of Cu-Al₂O₃ electroplating compositions. *Materials Science*, 2015, vol. 50, № 5, pp. 646–652.
8. Low C.T.J., Wills R.G.A., Walsh F.C. Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit. *Surf. Coat. Tehnol*, 2006, pp. 371–383.
9. Овчаренко О.О., Сахненко М.Д., Ведь М.В. Фізико-механічні властивості композиційних електрохімічних покриттів і фольг на основі нікелю, армованих Al₂O₃. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 2017, вип. 3. С. 76–85.
10. Galikova Z., Chovancova M., Danielik V. Properties of Ni-W alloy coatings on steel substrate. *Chem Pap*, 2006, vol. 60, pp. 353–359.
11. Genc A., Ovecoglu M.L., Baydogan M., Turan S. Fabrication and characterization of Ni-W solid solution alloys via mechanical alloying and pressureless sintering. *Mater. Design*, 2012, vol. 42, pp. 495–504.
12. Chaudhari A.K., Singh V.B. Structure and properties of electro co-deposited Ni-Fe/ZnO₂ nanocomposites from ethylene glycol. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2014, vol. 9, pp. 7021–7037.

Bibliography (transliterated):

1. Danilov F.I., Vasil'eva E.A., Semenova I.V., Prosenko V.S. Elektroosagdenie kompozisionnykh pokrytiy Fe-ZnO₂ (+ 3% Y₂O₃) [Electrodeposition of composite coatings Fe-ZnO₂ (+ 3% Y₂O₃)]. *Voprosi himii i himtehnologii* [Questions of chemistry and chemistry's technology], 2013, no 6, pp. 111–114.
2. Ovcharenko O.O., Sakhnenko N.D., Ved' M.V.. Electrodeposition and Physicomechanical Properties of Coatings and Foil of Copper Reinforced with Nanosize Aluminum Oxide. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, vol. 87, no. 5, pp. 596–600.
3. Ovcharenko O., Sakhnenko N., Ved M. Copper (nickel) based composite coatings reinforced with nanosized oxides. *Functional materials*, 2015, vol. 22(1), pp. 105–109.
4. Yousefpour M., Rahimi A. Characterization and selection of optimal parameters to achieve the best tribological performance of the electrodeposited Cr nanocomposite coatings. *Mater. Desing*, 2014, vol. 54, pp. 382–389.
5. Brooks I., Lin P., Palumbo G., Hibbard G.D., Erb U. Analysis of hardness-tensile strength relationships for electroformed nanocrystalline materials. *Mater. Sci.*, 2008, pp. 412–419.
6. Ovcharenko O.O., Sakhnenko N.D., Ved' M.V. Electrochemical Synthesis of Nickel-Based Composite Materials Modified with Nanosized Aluminum Oxide. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2015, vol. 88, no. 2, pp. 267–271.
7. Ovcharenko O.O., Sakhnenko N.D., Ved' M.V. Physicomechanical properties of Cu-Al₂O₃ electroplating compositions. *Materials Science*, 2015, vol. 50, no 5, pp. 646–652.
8. Low C.T.J., Wills R.G.A., Walsh F.C. Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit. *Surf. Coat. Tehnol.*, 2006, pp. 371–383.
9. Ovcharenko O.O., Sakhnenko M.D., Ved' M.V. Fizyko-mekhanichni vlastyivosti kompozicionnykh elektrokhimichnykh pokryt'iv i fol'g na osnove nikelyu, armovanikh Al₂O₃ [Physical and mechanical properties of composite electrochemical coatings and foil based on nickel, reinforced with Al₂O₃] *Fizika himija mehanika materialiv* [Physical-chemistry mechanic of matereal], 2017, vol. 3, pp. 76–85.
10. Galikova Z., Chovancova M., Danielik V. Properties of Ni-W alloy coatings on steel substrate. *Chem Pap.*, 2006, vol. 60, pp. 353–359.
11. Genc A., Ovecoglu M.L., Baydogan M., Turan S. Fabrication and characterization of Ni-W solid solution alloys via mechanical alloying and pressureless sintering. *Mater. Design.*, 2012, vol. 42, pp. 495–504.
12. Chaudhari A.K., Singh V.B. Structure and properties of electro co-deposited Ni-Fe/ZnO₂ nanocomposites from ethylene glycol. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2014, vol. 9, pp. 7021–7037.

Поступила (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сахненко Микола Дмитрович (Сахненко Николай Дмитриевич, Sakhnenko Mykola Dmytrovych) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5525-9525>; e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua

Ведь Марина Віталіївна (Ведь Марина Витальевна, Ved' Maryna Vitaliyivna) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5719-6284>; e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua

Овчаренко Ольга Олександрівна (Овчаренко Ольга Александровна, Ovcharenko Olga Olexandryvna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри фізичної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7401-9340>; e-mail: olgaovcharenko@kpi.kharkov.ua

Проскуріна Валерія Олегівна (Проскурина Валерия Олеговна, Proskurina Valeriya Olegivna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4215-4190>; e-mail: voproskurina@gmail.com

Ненастіна Тетяна Олександрівна (Ненастина Татьяна Александровна, Nenastina Tetyana Olexandryvna) – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології дорожно-будівельних матеріалів і хімії, м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6108-4023>; e-mail: nenastina@ukr.net

УДК 621.35

Ю. І. САЧАНОВА, М. Д. САХНЕНКО, М. В. ВЕДЬ, І. Ю. ЄРМОЛЕНКО**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГУСТИНИ СТРУМУ НА РОЗСИВАННЯ ЗДАТНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ, ВИХІД ЗА СТРУМОМ ТА СКЛАД ПОКРИВІВ СПЛАВАМИ Fe-Co-Mo**

Досліджено розсіювальну здатність комплексного цитратного електроліту для отримання покриттів тернарними сплавами Fe-Co-Mo за допомогою комірки Хулла. Встановлено, що залежність розсіювальної здатності від густини струму має екстремальний характер. Визначено оптимальні значення енергетичного параметру електролізу для отримання рівномірних та якісних функціональних покриттів. Обґрунтовано недоцільність використання малих значень густини струму. Встановлено залежності розсіювальної здатності та вмісту компонентів сплаву від густини струму. Визначено, що збільшення густини струму сприяє збагаченню покриттів молибденом. Показано, що при формуванні покриттів тернарними сплавами Fe-Co-Mo відбувається конкурентне відновлення кобальту і молибдену з залізом. Встановлено, що варіювання густини струму має безпосередній вплив на вихід за струмом. Даний факт пояснюється тим, що зі збільшенням густини струму зменшується поляризованість катоду в конкретних діапазонах густини струму.

Ключові слова: розсіювальна здатність, комірка Хулла, електроліт, електроліз, рівномірність покриттів, густина струму.

Ю. И. САЧАНОВА, Н. Д. САХНЕНКО, М. В. ВЕДЬ, И. Ю. ЕРМОЛЕНКО**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА РАССЕИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА, ВЫХОД ПО ТОКУ И СОСТАВ ПОКРЫТИЙ СПЛАВОМ Fe-Co-Mo**

Исследована рассеивающая способность комплексного цитратного электролита для получения покрытий тернарными сплавами Fe-Co-Mo с помощью ячейки Хулла. Установлено, что зависимость рассеивающей способности от плотности тока имеет экстремальный характер. Определены оптимальные значения энергетического параметра электролиза для получения равномерных и качественных функциональных покрытий. Обосновано нецелесообразность использования малых значений плотностей тока. Установлены зависимости рассеивающей способности и содержания компонентов сплава от плотности тока. Определено, что увеличение плотности тока способствует обогащению покрытий молибденом. Показано, что при формировании покрытий тернарными сплавами Fe-Co-Mo происходит конкурентное осаждение кобальта и молибдена с железом. Установлено, что варьирование плотности тока имеет непосредственное влияние на значения выхода по току. Данный факт объясняется тем, что с увеличением плотности тока уменьшается поляризуемость катода в конкретных диапазонах плотности тока.

Ключевые слова: рассеивающая способность, ячейка Хулла, электролит, электролиз, равномерность покрытий, плотность тока.

Yu. I. SACHANOVA, N. D. SAKHNENKO, M. V. VED', I. Yu. YERMOLENKO**STUDY OF THE INFLUENCE OF SUCTION CURRENT ON THE ROLLING COMPLICABILITY OF COMPLEX ELECTROLYTE, EXHAUST AND COMPOSITION OF COATINGS WITH ALLOY Fe-Co-Mo**

The scattering capacity of a complex citrate electrolyte was studied to produce coatings with ternary Fe-Co-Mo alloys with Hull's cell. It is established that the dependence of the scattering capacity on the current density has an extreme character. The optimal values of the electrolysis energy parameter for obtaining uniform and qualitative functional coatings are determined. The inexpediency of using small values of current densities is justified. The dependences of the scattering ability and the content of the alloy components on the current density are established. It is determined that an increase in the current density promotes the enrichment of the coatings with molybdenum. It is shown that the formation of coatings with ternary Fe-Co-Mo alloys leads to a competitive co-precipitation of cobalt and molybdenum with iron. It is established that the variation of the current density has a direct effect on the current output values. This fact is explained by the fact that as the current density increases, the polarizability of the cathode decreases in specific ranges of current density. The deceleration of the combined hydrogen evolution reaction was justified. The difference in the quality and in the thickness of the coating on the near and far cathode plates was substantiated. The complexity of obtaining ternary alloys is associated with a change in the rates of partial reactions of the recovery of individual leaving with a change in polarization.

Keywords: scattering ability, Hull cell, electrolyte, electrolysis, uniformity of coatings, current density.

Вступ.

Проблема створення якісних функціональних покриттів сплавами все більше привертає увагу наукової спільноти. Особливо цікавим вважається електроосадження сплавів на основі металів групи заліза (залізо, кобальт, нікель). Світового поширення набули бінарні сплави [1–3], які приваблюють кращими характеристиками у порівнянні із не менш затребуваними покриттями цинком, міддю тощо. Підвищений інтерес приділяється багатокомпонентним сплавам, легованим тугоплавкими металами (молибденом, вольфрамом) [4, 5], що пояснюється можливістю поєднати

функціональні властивості кожного із залучених компонентів.

Відомо, що самостійно зазначені метали не можуть бути відновлені на катоді з водних розчинів, проте вони достатньо легко співосаджуються у сплав із залізом і кобальтом. Такі системи значно складніші та потребують ретельного вивчення характеристик роботи електроліту і властивостей отриманих покриттів на поверхні деталей. Особливе значення має рівномірність покриттів, тобто здатність до розподілу. Однакової їх товщини по всій поверхні виробів, яка, в свою чергу, залежить від розсіювальної здатності (РЗ).

© Ю. І. Сачанова, М. Д. Сахненко, М. В. Вєдь, І. Ю. Єрмоленко, 2018

Проблема РЗ електролітів є однією із складних проблем гальваностегії. Проблемність полягає у встановленні розподілу струму та металевого осаду при заданій конфігурації електродів і електролізера й пошуку оптимальних умов електролізу, які забезпечуватимуть найбільшу рівномірність покриттів. Визначення РЗ електроліту полягає у вимірюванні розподілу товщини покриттів в електролітичній комірці встановлених розмірів та подальшому розрахунку залежності товщини від первинного розподілу струму. Дослідження РЗ є необхідним при визначенні можливої поведінки електрохімічної системи під час електроосадження, а саме за допомогою цього параметру стає можливим надати прогноз стосовно функціональних властивостей електролітичних осадів та встановити залежності виходу за струмом, вмісту компонентів сплаву від густини струму та ін.

Для оцінки розсіювальної здатності існує багато методів, та найбільше поширення одержали методи безпосереднього виміру сили струму і маси металу, що осаджується, у різних комірках [6]. Кожна з них має свої переваги та недоліки. В лабораторних умовах доцільним є використання комірки Хулла, в якій катод розташований не паралельно аноду, а під кутом 51° . За рахунок цього досягається розкид густин струму на плоскому катоді, який моделює профільовану поверхню [7].

Метою роботи є дослідження впливу густини струму на розсіювальну здатність електроліту для отримання сплаву на основі заліза та кобальту з молібденом і вихід за струмом (ВС), а також встановлення складу компонентів при варіюванні густини струму.

Методика експерименту.

Дослідження проводили в комірці Хулла з робочим об'ємом 270 мл, яка вважається стандартною. Як матеріал аноду була використана пластина виготовлена з нержавіючої сталі. Зворотна сторона катодних пластин, які склали розбірний катодний блок, була покрита електроізолюючим матеріалом, хімічно та термічно стійким в даному електроліті. Робоча поверхня катоду становила $0,2 \text{ дм}^2$. Процес підготовки поверхні робочих електродів складався з наступних послідовних процедур: механічної обробки наждаковим папером, знежирення, травлення в розчині кислот, ретельного промивання дистильованою водою та сушки електродів.

Покриття були сформовані з комплексного цитратного електроліту наступного складу, моль/дм³: заліза (III) сульфат наонагідрат ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 0,075; кобальт сульфат ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0,15–0,2; натрію сульфат (Na_2SO_4) 0,15; ортоборат (H_3BO_3) 0,1; натрій молібденовокислий ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0,05–0,08; тризаміщена натрієва сіль 2-гідроксі - 1,2,3 - пропантрикарбонової кислоти ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0,3–0,5 при температурі 25–30 °С [8]. Значення рН підтримували в діапазоні 4,1–4,8.

Осадження сплаву на поверхню розбірного катоду проводили з протягом 20 хвилин за допомогою стабілізованого джерела постійного струму серії Б5-47. Густина струму змінювали дискретно в межах $1\text{--}4 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ з кроком $0,5 \text{ А/дм}^2$.

Значення товщини (δ) покриттів розраховували за зростанням маси зразків з урахуванням елементного складу покриттів відповідно рівнянню:

$$\delta = \frac{i_k \cdot \tau \cdot E}{\rho}, \quad (1)$$

де i_k – густина струму, А/дм^2 ;

τ – час електролізу, год;

E – електрохімічний еквівалент;

ρ – густина сплаву.

Ефективність процесу електроосадження, а саме вихід за струмом, виявляли гравіметричним методом з урахуванням електрохімічного еквіваленту сплаву. Хімічний склад покриттів визначали за допомогою рентгенівської фотоелектронної спектроскопії з використанням енергодисперсійного спектрометра INCA Energy 350 [9].

Масу покриття (Δm_n) на кожній пластині катодного блоку визначали за формулою:

$$\Delta m_n = m_{nk} - m_{nn} \quad (1)$$

де m_{nn} , m_{nk} – маса n -ої пластини до та після проведення електролізу, г.

Середню масу покриття однієї пластини розбірного катоду (Δm_{cp}) відповідно до вимог Держстандарту 9.309-86 [7] розраховували за формулою:

$$\Delta m_n = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2 + \dots + \Delta m_n}{n} \quad (2)$$

де Δm_n – зміна маси n -ої пластини.

Формула для розрахунку РЗ має наступний вид:

$$PZ = \left(1 - \frac{|b'_1 - 1| + |b'_2 - 1| + \dots + |b'_n - 1|}{6,37} \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

де 6,37 – коефіцієнт, визначений первинним розподілом струму; $|b'_n|$ – абсолютне значення відносного розподілу товщини покриття для кожної пластини розбірного катоду.

Даний показник може бути розрахований за наступною формулою:

$$b'_n = \frac{m_n}{m_{cp}} \quad (4)$$

Результати та їх обговорення.

На рисунку 1 наведено залежність РЗ від зміни густини струму. На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що електроосадження тернарних сплавів при $j = 1\text{--}1,5 \text{ А/дм}^2$ слід вважати недоцільним через низьку продуктивність електроліту.

Використання малих значень катодної густини струму призводить до отримання ламких покриттів та меншого виходу за струмом.

Значення РЗ при $j = 2 - 2,5$ А/дм² є найвищим та складає 55–62 %, що пояснюється кращою поляризованістю та зростанням ВС при збільшенні густини струму. Цей факт став основою вибору діапазону робочих густин струму для отримання покривів сплавом Fe-Co-Mo. Подальше збільшення густини катодного струму призводить до зниження РЗ електроліту (від 41 до 29 %).

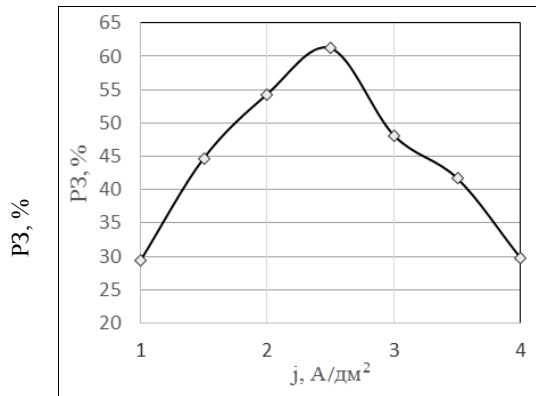


Рис. 1 – Залежність розсіювальної здатності електроліту від густини струму

При $j = 3-4$ А/дм² товщини покривів сягають вищих значень (10-12 мкм), що сприяє виникненню значних внутрішніх напружень, які, в свою чергу, призводять до появи в осаді мікротріщин.

Дослідженням впливу густини струму на РЗ електролітів поширеного застосування присвячено велику кількість наукових праць. Наприклад, розсіювальна здатність пірофосфатного електроліту для отримання покривів міддю [10], на основі пірофосфату натрію при $j = 0,5$ А/дм² дорівнює 81,2 %, але із зростанням до 2 А/дм² РЗ зменшується доволі різко – до 22,1%. Електроліти цинкування [11],

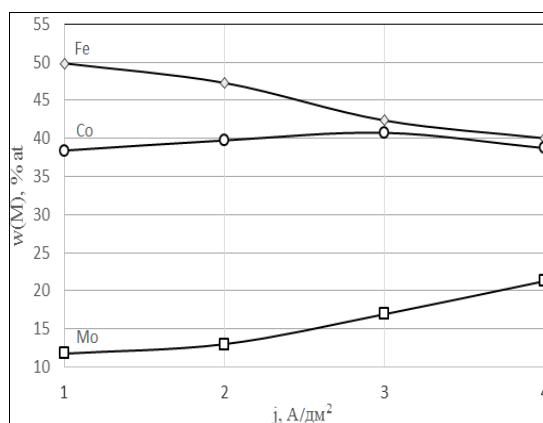


Рис. 2 – Залежність вмісту компонентів від густини струму

Густина струму має вплив не лише на значення РЗ та склад покривів, а й на вихід за струмом. Експериментально встановлена залежність $\omega(M) - j$ (рис. 3) вмісту компонентів від густини струму дозволяє пояснити динамічне зростання виходу за струмом.

характеризуються низькою РЗ, яка лінійно зменшується при підвищенні параметру j .

На підставі аналізу численних прикладів можна говорити про безпосередній вплив густини струму на РЗ та ВС. Цей факт пояснюється тим, що зі збільшенням густини струму зменшується поляризованість катоду в конкретних діапазонах j .

При візуальному оцінюванні якості поверхні покривів встановлено, що зовнішній вид пластин, що розташовувались на різних відстанях від аноду, суттєво відрізняється одна від одної. Це пов'язано із первинним розподілом струму, значення якого може бути розраховане за рівнянням Вагнера:

$$\frac{i_x}{i_{cp}} = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \left(\frac{1+z}{1-z} \right)^{\frac{\alpha}{\pi}} \quad (5)$$

де α – кут, під яким катод розташований до аноду.

Значення z може бути отримане з рівняння:

$$x = \frac{\alpha}{\pi} \int_{-1}^z (1+Z)^{\frac{1}{2} \frac{\alpha}{\pi}} (1-Z)^{\frac{1}{2} \frac{\alpha}{\pi}} dZ \quad (6)$$

де x – координата, яка розташована під кутом α до катоду (паралельно аноду), α – в даному випадку ширина комірки.

Із останнього рівняння, вважаючи, що $x = \alpha$, $Z = 1$ та $i_{x-\alpha}/i \rightarrow \infty$ витікає, що густина струму на ближній ділянці катоду наближається до нескінченності. На дальньому кінці катоду густина струму дорівнює нулю. Даний факт пояснює різницю в якості та товщині покривів на ближчих та дальніх пластинах катоду. За результатами досліджень було встановлено, що збільшення густини струму сприяє збагаченню покривів молібденом за рахунок зменшення кількості заліза в сплаві (рис. 2). Отримані залежності є складними, що пов'язано із зміною швидкості парціальних реакцій відновлення окремих складових зі змінням поляризації.

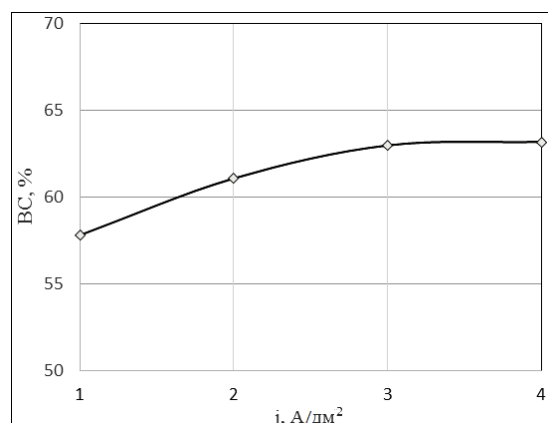


Рис. 3 – Залежність виходу за струмом від густини струму

Виділення водню під час електроосадження сплавів Fe-Co-Mo сповільнюється за рахунок збагачення сплаву легуючим компонентом, тому що молібден виступає як інгібітор у реакції виділення водню та виділяється із високою перенапругою.

Висновки. Таким чином, завдяки варіюванню енергетичного параметра електролізу визначено, що для отримання щільних покриттів використання густини струму $j \leq 1,5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ та $j \geq 3 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ є нерациональним. При значеннях густини струму $j = 2-2,5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ утворюються якісні покриття сплавами Fe-Co-Mo.

Встановлено, що залежність розсіювальної здатності від густини струму має екстремальний характер, що дозволяє визначити робочі густини струму, при яких стає можливим отримати покриття високої якості та прогнозовано підвищеної функціональності.

Визначено, що зростання параметру j сприяє підвищенню виходу за струмом, що пояснюється збільшенням вмісту молибдену в сплаві, за рахунок чого відбувається гальмування сумісної реакції виділення водню.

Список літератури

1. Бобанова Ж. И., Сидельникова С. П., Кройтору Д. М. Износостойкие гальванические покрытия на основе сплавов железа. *Электронная обработка материалов*. 2004. Т. 40, № 1. С. 18–24.
2. Elezović N. C., Grgur B. N., Krstajić N. V., Jović V. D. Electrodeposition and characterization of Fe–Mo alloys as cathodes for hydrogen evolution in the process of chlorate production. *J. Serbian Chemical Society*. 2005. Vol. 70, № 6. pp. 879–889.
3. Gomez E., Pellicer E., Valles E. Detection and characterization of molybdenum oxides formed during the initial stages of cobalt–molybdenum electrodeposition. *J. Appl. Electrochem*. 2003. № 33. pp. 245–252.
4. Karakurkchi A. V., Ved M. V., Sakhnenko N. D., Zubanova S. I., Yermolenko I. Y. Elektroosazhdenie dvoynih i trojnyh splyavov zheleza iz citratnyh ehlektrolitov. *Nanotekhnologii: Nauka i proizvodstvo*. 2014, № 3(30), pp. 24–27.
5. Yermolenko I. Y., Ved M. V., Sakhnenko N. D., Sachanova Y. I. Composition, morphology, and topography of galvanic coatings Fe-Co-W and Fe-Co-Mo. *Nanoscale research letters*. 2017. Vol. 12, no. 1, P. 352–360.
6. Начинов Г. Н., Кудрявцев Н. Т. *Рассеивающая способность электролитов и равномерность распределения гальванических покрытий / «Электрохимия» (Итоги науки и техники)*. Москва: ВИНТИ, 1979 – Т. 15. – С. 179–226.
7. ГОСТ 9.309-86 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия гальванические. Определение рассеивающей способности электролитов при получении покрытий.
8. Пат. 108610 Україна, МПК7 C25D 3/56. Электролит для нанесения покрытий сплавом залізо-кобальт-молибден / Єрмоленко І. Ю., Ведь М. В., Сахненко М. Д., Каракуркчі Г. В., Сачанова Ю. І., Зюбанова С. І. заявник і патентовласник НТУ «ХП». № u201600398; заявл.; 18.01.2016 опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14. 5 с.
9. Mikhailov I. F., Baturin A. A., Vikhailov A. A. Rapid diagnostic of

urinary using a portable EDXRF spectrometer. *J. X-Ray Science and Technology*. 2017. Vol. 25, № 3, pp. 515–521.

10. Белякова Л. А., Гудин Н. В. Теория и практика блестящих гальванических покрытий. Москва: Вильнос, 1963. 227 с.
11. Кудрявцев Н. Т., Пачушкина Л. А. Новейшие достижения в области электрохимической обработки поверхности металлов. *Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева*. 1977, № 95, С. 17–21.

References (transliterated)

1. Bobanova Zh. I., Sidelnikova S. P., Kroitoru D. M. Iznosostoykie galvanicheskie pokryitiya na osnove splyavov zheleza [Wear-resistant galvanic coatings based on iron alloys]. *Elektronnaya obrabotka materialov*. 2004, vol. 40, no 1, pp. 18–24.
2. Elezović N. C., Grgur B. N., Krstajić N. V., Jović V. D. Electrodeposition and characterization of Fe–Mo alloys as cathodes for hydrogen evolution in the process of chlorate production. *J. Serbian Chem. Soc*. 2005, vol. 70, no. 6, pp. 879–889.
3. Gomez E., Pellicer E., Valles E. Detection and characterization of molybdenum oxides formed during the initial stages of cobalt–molybdenum electrodeposition. *J. Appl. Electrochem*. 2003, no. 33, pp. 245–252.
4. Karakurkchi A. V., Ved M. V., Sakhnenko N. D., Zubanova S. I., Yermolenko I. Y. Elektroosazhdenie dvoynih i trojnyh splyavov zheleza iz citratnyh ehlektrolitov [Electrodeposition of binary and ternary iron alloys from citrate electrolytes]. *Nanotekhnologii: Nauka i proizvodstvo*. 2014, no. 3(30), pp. 24–27.
5. Yermolenko I. Y., Ved M. V., Sakhnenko N. D., Sachanova Y. I. Composition, morphology, and topography of galvanic coatings Fe-Co-W and Fe-Co-Mo. *Nanoscale research letters*. 2017, vol. 12, no. 1. P. 352–360.
6. Nachinov G. N., Kudryavtsev N. T. Rasseivayuschaya sposobnost ehlektrolitov i ravnomernost raspredeleniya galvanicheskikh pokryitiiy [Dissipating ability of electrolytes and uniformity of distribution of electroplating coatings] / «*Elektrokhimiya*» (*Itogi nauki i tekhniki*), Moscow: VINITI, 1979 – vol. 15. – pp.179–226.
7. ГОСТ 9.309-86 “Edinaya sistema zaschityi ot korrozii i stareniya. Pokryitiya galvanicheskie. Opredelenie rasseivayushey sposobnosti ehlektrolitov pri poluchenii pokryitiiy” [Unified system of protection against corrosion and aging. Coverings: galvanic. Determination of the dissipative capacity of electrolytes in obtaining postscripts].
8. Pat. 108610 Ukraine, MPK7 C25D 3/56. Elektrolit dlya nanesennia pokryttiv splyavom zallzo-kobalt-molibden [Electrolyte for formed alloys ferum-cobalt-molybdenum] / Ermolenko I. Yu., Ved M. V., Sahnenko M. D., Karakurkchi A.V., Sachanova Yu.I., Zubanova S.I. Zayavnik i patentovlasnyk NTU “HPI”. – № u201600398; zayavl.; 18.01.2016 opubl. 25.07.2016, Byul. № 14. P. 5.
9. Mikhailov I. F., Baturin A. A., Vikhailov A. A. Rapid diagnostic of urinary using a portable EDXRF spectrometer. *Journal of X-Ray Science and Technology*. 2017, vol. 25, no. 3, pp.515–521.
10. Belyakova L. A., Gudin N. V. Teoriya i praktika blestyaschih galvanicheskikh pokryitiiy [Theory and practice of shiny electroplating]. Moscow: Vilnyus, 1963. P. 227.
11. Kudryavtsev N. T., Pachushkina L. A. Noveyshie dostizheniya voblasti elektrokhimicheskoy obrabotki poverhnosti metallovo [The latest achievements in the field of electrochemical metal surface treatment]. *Trudyi MHTI im. D. I. Mendeleeva*. 1977, no. 95, pp. 17–21.

Надійшла (received) 19.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сачанова Юлія Іванівна (Сачанова Юлия Ивановна, Sachanova Yuliia Ivanovna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», молодший науковий співробітник, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-1651-8704; organick@ukr.net.

Сахненко Микола Дмитрович (Сахненко Николай Дмитриевич, Sakhnenko Nikolay Dmitrievich) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-5525-9525; e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Ведь Марина Віталіївна (Ведь Марина Витальевна, Ved' Maryna Vitalievna) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-5719-6284; e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua.

Єрмоленко Ірина Юріївна (Ермоленко Ирина Юрьевна, Yermolenko Irina Yurievna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-5496-9621; e-mail: kirlesha72@gmail.com.

УДК 623.459.7

**О. В. ГАЛАК, М. Д. САХНЕНКО, Г. В. КАРАКУРКЧИ, О. В. МАТИКІН, О. В. КОСАРЕВ,
І. О. БЕЛОУСОВ**

МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ВІД ХІМІЧНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методи очищення газоподібних викидів залежно від фізико-хімічних властивостей забруднювальних речовин, зокрема хімічно-небезпечних, їх агрегатного стану, концентрації в газовому середовищі. Проаналізовано вплив вмісту аерозолів, таких як пил і сажа; працездатність методів очищення в різних температурних інтервалах, способи очищення багатоконпонентних сумішей. Наведено порівняльну характеристику термохімічних, реагентних, сорбційних і каталітичних методів та оцінено перспективи їх застосування в фільтрувальних системах стаціонарних і мобільних об'єктів.

Ключові слова: очищення газів, метод, сполуки, окислення, речовина, домішки.

**А. В. ГАЛАК, Н. Д. САХНЕНКО, А. В. КАРАКУРКЧИ, А. В. МАТЫКИН, И. А. БЕЛОУСОВ,
А. Г. КОСАРЕВ**

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ХИМИЧЕСКИ-ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩИХ СИСТЕМ

Рассмотрены методы очистки газообразных выбросов в зависимости от физико-химических свойств загрязняющих веществ, в том числе химически опасных, их агрегатного состояния, концентрации в газовой среде. Проанализировано влияние содержания аэрозолей, таких как пыль и сажа; работоспособность методов очистки в различных температурных интервалах, способы очистки многокомпонентных смесей. Приведена сравнительная характеристика термохимических, реагентных, сорбционных и каталитических методов и оценены перспективы их применения в фильтровальных системах стационарных и мобильных объектов.

Ключевые слова: очистка газов, метод, соединения, окисление, вещество, примеси.

**A. V. GALAK, M. D. SAKHNENKO, A. V. KARAKURKCHI, A. V. MATYKIN, I. A. BELOUSOV,
A. G. KOSAREV**

METHODS FOR CLEANING GAS EMISSIONS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF FILTERING SYSTEMS FROM HARMFUL SUBSTANCES

A wide variety of sources of emission of harmful substances into the atmosphere, differing in nature and concentration of harmful substances, temperature, pressure, periodicity and duration of release, the presence of associated impurities in the exhaust gases determine the choice of a rational method and equipment for gas purification. In the arsenal of air pollution protection techniques, there are numerous absorption, adsorption, catalytic, thermal and other methods of gas purification. The methods of purification of gaseous emissions depending on the physical and chemical properties of pollutants, in particular chemical-dangerous, their aggregate state, concentration in the gas environment are considered. The influence of aerosol content such as dust and soot; the efficiency of cleaning methods at different temperature intervals, methods of cleaning multicomponent mixtures. The comparative characteristics of thermochemical, reagent, sorption and catalytic methods are given and the prospects of their application in the filter systems of stationary and mobile objects are estimated.

Keywords: gas cleaning, method, connection, oxidation, substance, impurities.

Вступ. У сучасних умовах ведення бойових дій, а саме гібридні виклики, тероризм, застосування хімічної зброї в Сирії, нагальною проблемою є питання колективного захисту фортифікаційних споруд та рухомої техніки від хімічно-небезпечних речовин (далі – ХНР). Так під час руйнування хімічно небезпечних об'єктів фільтровентиляційні установки (агрегати), стаціонарні та на бронеоб'єктах, які створені ще в радянські часи повноцінно не захищають особовий склад від ХНР [1, 2, 3], чим створюють передумови для значних втрат особового складу та зниження боєздатності військових частин (підрозділів). З урахуванням наведеного вище розглянемо різні методи очищення повітря від забруднювальних речовин та визначити найоптимальніший і найефективніший метод.

Для знешкодження викидів за принципом видалення токсичних домішок поряд із фізичними використовують і хімічні процеси, за допомогою яких можна змінювати в широких межах фізичні властивості домішок (наприклад, перетворювати вихідні газоподібні забруднювачі в сполуки з високою температурою кипіння) з метою полегшення їх подальшого уловлювання. Для очищення газів в основному використовують засоби

хімічної технології. Тому класифікація засобів знешкодження викидів практично збігається з класифікацією процесів і апаратів хімічної промисловості, що утворюють шкідливі викиди як відходи основного виробництва [4]. З метою уловлювання газоподібних домішок застосовують процеси конденсації, сорбції (абсорбції і адсорбції), хемосорбції та перевтілюють забруднювачі в нешкідливі сполуки за допомогою термохімічних (термічна деструкція, термічне і термокаталітичне окислення) та хімічних процесів.

Для очищення викидів від газоподібних забруднювачів найчастіше застосовують способи абсорбції, адсорбції, каталітичної очищення, термознешкодження і конденсації газових домішок.

Викладання основного матеріалу досліджень. Розрізняють такі методи очищення повітря від забруднювальних речовин, а саме: 1) термохімічне знешкодження газових викидів; 2) каталітичне очищення газових викидів; 3) високотемпературне знешкодження газових викидів; 4) абсорбційне очищення викидів; 5) біохімічне очищення газів; 6) фотокаталітичний метод очищення газів і т.п.

© Галак А. В., Сахненко Н. Д., Каракуркчі Г. В., Матикін О. В., Белоусов І. О., О. В. Косарев, 2018

Метод термохімічного знешкодження газових викидів полягає у спалюванні і допалюванні шкідливих домішок, здатних окислюватися, цей метод знаходить все більше застосування для очищення дренажних і вентиляційних викидів. Він вигідно відрізняється від інших (наприклад, мокрого очищення в скруберах) високим ступенем очищення.

За типом реакцій відбуваються методи термознешкодження, які можна розділити на термовідновлювальні і термоокислювальні.

У свою чергу термовідновлювальні методи є специфічними і розробляються індивідуально для кожного конкретного забруднювача. З них до теперішнього часу в техніці газоочищення знайшли застосування способи термохімічного (з використанням аміаку) і термокаталітичного відновлення NO_x до N_2 , термокаталітичного відновлення SO_2 до S_2 , деякі інші.

З усіх термоокислювальних процесів для термознешкодження придатні виключно реакції з киснем, оскільки за участю інших окисників, принципово неможливо отримати нешкідливі продукти окислення. Термоокислювальні методи менш специфічні, ніж термовідновлювальні, однак і вони не універсальні.

Можливості термоокислювального методу знешкодження обмежуються також кількістю газів і вмістом у них горючих компонентів. Якщо концентрація горючих компонентів викидів не досягає нижньої межі займання («бідні» палим викиди), то їх вогневе оброблення вимагає додаткової витрати палива на прогрівання викидів до температури самозаймання, яка для парів вуглеводнів становить близько $500\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$. Температурний рівень процесу термокаталітичного окислення дещо нижче (зазвичай $350\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$), що також вимагає відповідних витрат палива [5]. Недоліками цього методу є неможливість використання для знешкодження газів, які під час спалювання утворюють продукти, що за токсичністю в багато разів перевищують вихідний газовий викид (наприклад, під час спалювання газів, що містять фосфор, галогени, сірку).

Каталітичні методи очищення газів засновані на реакціях за наявності твердих каталізаторів, тобто на закономірностях гетерогенного каталізу. В результаті каталітичних реакцій домішки, що знаходяться в газі, перетворюються на інші сполуки, на відміну від розглянутих методів домішки не витягаються з газу, а трансформуються в нешкідливі з'єднання. У результаті реакцій, домішки, які перебувають у газі, перетворюються на інші сполуки, що становлять меншу небезпеку, або легко відокремлюються від газу.

Каталітичні нейтралізатори застосовують для знешкодження оксиду вуглецю, легких вуглеводнів, розчинників, відпрацьованих газів у хімічних установках. Каталітичне очищення застосовується в основному за невеликої концентрації компонента, що видаляється в очищуваний газ. У цьому випадку процес протікає за температури $200\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$,

що значно менше температури, необхідної для повного знешкодження під час прямого спалювання в печах і дорівнює $950\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$. Завдяки застосуванню каталізаторів можна досягти високого ступеня очищення газу, що досягає в низці випадків $99,9\%$. Розрізняють два види каталізу: гомогенний (однорідний) і гетерогенний (неоднорідний). За гомогенного каталізу речовини і каталізатор утворюють однофазну систему (рідке або газове).

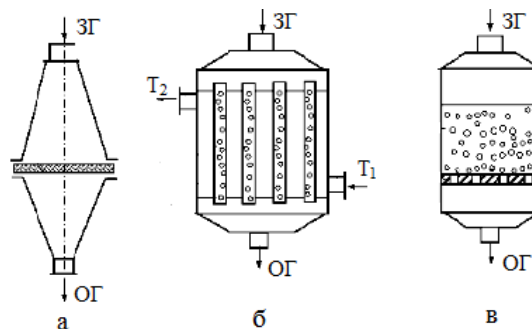
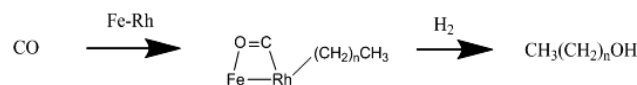


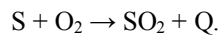
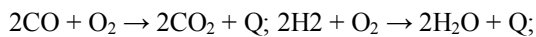
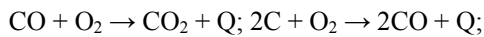
Рис. 1 – Схеми контактних апаратів:
а – з металевою сіткою; б – з трубчастим каталізатором;
в – з насипним шаром

Одним із прикладів гетерогенного каталізу є гідратування монооксиду вуглецю на поверхні залізородієвого каталізатору:



За гетерогенного каталізу каталізатор становить самостійну фазу (зазвичай тверду). За такого типу тип каталізу одержав значну частину продукції, що виробляється хімічною і суміжними галузями промисловості, що отримують з допомогою гетерогенного каталізу. Менш поширений гетерогенний каталізу у рідкій фазі. Каталітичні реакції підпорядковуються загальним законам хімії та термодинаміки, але мають при цьому свої особливості, оскільки у них завжди бере участь один додатковий компонент – каталізатор. У ролі ефективних каталізаторів доводиться застосовувати дорогі речовини – платину, паладій, рутеній; використовують і більш дешеві – нікель, хром, мідь, але вони менш ефективні. У процесах санітарного каталітичного очищення відхідних газів високою активністю володіють каталізатори на основі благородних металів (платина, паладій, срібло та ін), оксидів марганцю, міді, кобальту, а також оксидні контактні маси, активовані благородними металами ($1,0\text{--}1,5\%$). Недоліком цього методу є те що у процесі експлуатації каталізатори в тій або іншій мірі піддаються поступовій дезактивації або деструкції, які викликаються хімічними або каталітичними отрутами, механічним стиранням, спіканням, агрегуванням, що призводить до необхідності періодичної регенерації (активації) або заміни каталізаторів [5, 6].

Метод високотемпературного очищення газів полягає в окисленні знешкоджувальних компонентів киснем. Цей метод можна застосовувати практично для знешкодження будь яких парів і газів, продукти спалювання, яке менш токсичні, ніж вихідні речовини. Пряме спалювання використовують в тих випадках, коли концентрація горючих речовин у відхідних газах не виходить за межі займання. Вогневим обробленням, як і термодокаталітичним окисленням, принципово можливо знешкодити лише речовини, молекули яких не містять яких-небудь інших елементів, крім водню, вуглецю і кисню. За допомогою спалювання можливе знешкодження зазначених речовин у газоподібному, рідкому і твердому станах, диспергованих або компактних, а за допомогою термодокаталітичного окислення – тільки в газоподібному. Термодокаталіз неприйнятний і для оброблення газів (парів) і високомолекулярних висококиплячих речовин, які, погано випаровуючись з каталізатора, коксується і «отруюють» його [5]. Під час горіння проходять такі основні хімічні реакції:



Розрізняють три схеми термічного очищення: пряме спалювання ($t = 600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$); термічне окислення ($t = 600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$); каталітичне спалювання ($t = 250\text{--}480\text{ }^\circ\text{C}$). Пряме спалювання – використовують, коли відхідні гази забезпечують значну частину енергії, яка необхідна для здійснення процесу. З економічних міркувань цей вклад повинен перебільшувати 50% загальної теплоти згорання [6].

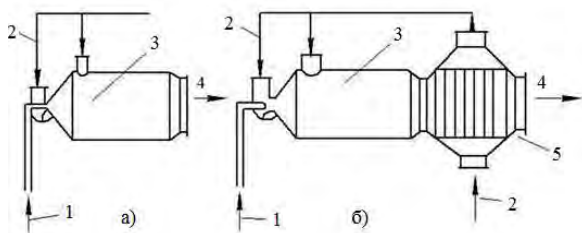


Рис. 2 – Схема термічних нейтралізаторів: а) – без теплообмінника; б) – з теплообмінником: 1 – подавання палива; 2 – подавання забруднених газів; 3 – камери згорання; 4 – знешкоджені гази; 5 – теплообмінник

Схема відкритої факельної установки зі знешкодженням всього об'єму технологічних газів наведена на рисунку 3. Термічне окислення використовують, поперше, коли вихідні гази мають високу температуру, але в них немає достатньої кількості кисню, подруге, коли концентрація горючих домішок надзвичайно низька (не забезпечує теплоту для підтримання полум'я, тобто пряме спалювання є економічно не вигідним).

Суть методу абсорбційного очищення викидів полягає у витяганні з газів діоксиду сірки,

сірководню та інших сірчистих сполук, оксидів, пари кислот (HCl, HF), діоксиду та оксиду вуглецю, різноманітних органічних сполук (фенол, формальдегід, леткі розчинники).

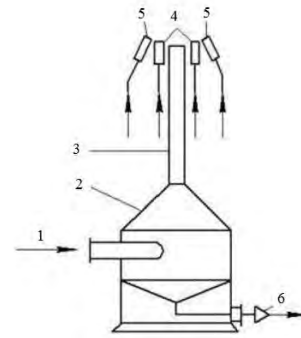


Рис. 3 – Схема факельної установки: 1 – забруднені гази; 2 – сепаратор; 3 – факельна труба; 4 – чергові пальники; 5 – запальні пальники; 6 – гідрозатвор

Абсорбційний метод реалізує процеси, що відбуваються між молекулами газів і рідин. Якщо відсутня взаємодія між розпилювальною рідиною і зрощуваним газом, то ефективність поглинання компонентів із пароповітряної суміші визначається тільки рівновагою парарідина.

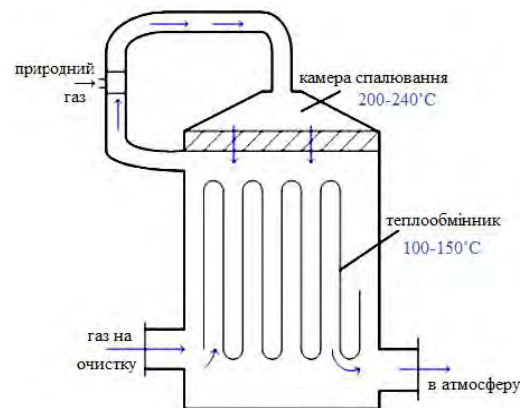


Рис. 4 – Принципова схема термічного каталітичного нейтралізатора

Абсорбційне очищення застосовується як для вилучення цінних компонентів із газового потоку та повернення їх знову в технологічний процес для повторного використання, так і для поглинання з викидних газів шкідливих речовин із метою санітарної очищення газів. Зазвичай раціонально використовувати абсорбційне очищення, коли концентрація домішок у газовому потоці перевищує 1%. Недоцільно використовувати воду для очищення викидів із нерозчинними в ній органічними домішками. Такі забруднювачі, як правило, добре поглинаються органічними рідинами, серед яких можуть використовуватися як абсорбенти висококиплячі речовини, такі як етаноламін і важкі вуглеводні (мінеральні масла). Абсорбція органічним розчинником найбільш ефективна для видалення газоподібних органічних забруднювачів, оскільки в

цьому випадку забезпечується достатня розчинність. У вигляді рідких органічних абсорбентів застосовують моно-, ді- та триетаноламін та метилдіетаноламін. Використання таких абсорбентів обмежене системами, що не містять твердих частинок, оскільки тверді речовини забруднюють органічні рідини. До оброблення органічним абсорбентом газів необхідно видалити дисперсні домішки, інакше абсорбент швидко забруднюється і стає відходом, практично не піддається очищенню [5, 6].

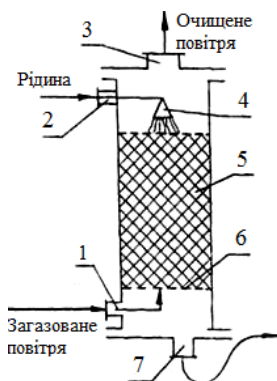


Рис. 5 – Схема башти абсорбера:

1 – вхідний патрубок для загазованого повітря; 2 – патрубок для подавання рідини; 3 – вихідний патрубок для відведення очищеного повітря; 4 – розбризкувач; 5 – шар рідини з насадкою; 6 – сітка; 7 – вихідний патрубок для відведення забрудненої води

Недоліками цього методу є можливість використання тільки за низького вмісту домішок у вхідному газі, складність оброблення газів регенерації, механічне руйнування адсорбенту, зниження його активності в процесі експлуатації, значні втрати тиску в апаратах.

Метод біохімічного очищення газів заснований на здатності мікроорганізмів руйнувати і перетворювати різні сполуки. Поглинання і знешкодження шкідливих домішок, що містяться в повітрі, під час біологічного очищення здійснюється за рахунок життєдіяльності мікроорганізмів. Особливістю методу є використання природних біологічних процесів без застосування чужих екологічної системі матеріалів та реагентів. Сутність біохімічного методу полягає в аеробному розкладанні, окисленні та асиміляції мікроорганізмами уловлених домішок. Розкладання речовин відбувається під дією ферментів, що виробляються мікроорганізмами під впливом окремих сполук або групи речовин, наявних в очищуваних газах. Його застосовують для утилізації широкого спектру забруднювальних речовин органічного походження, а також деяких неорганічних сполук, наприклад, H_2S , SO_2 , та NH_3 [7]. Недоліком цього методу є те, що при біологічному очищенні необхідно створити певний температурно-вологісний режим для мікроорганізмів, які є живими істотами і потребують певного середовища і харчування. Якщо одна з умов

(температура, вологість, відповідна живильне середовище) не створено, кількість мікроорганізмів різко зменшується і вони можуть загинути.

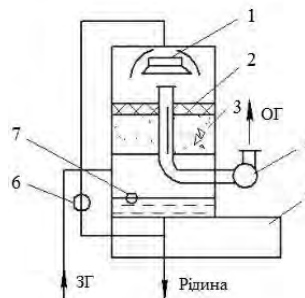


Рис. 6 – Біореактор тонкого очищення з насадкою «Полінет»:

1 – водозливна тарілка; 2 – розподільна плита; 3 – насадка; 4 – вентилятор; 5 – опорна арматура; 6 – насос; 7 – поплавкова водопровідна лінія

Суть методу фотокаталітичного очищення газів полягає в окисленні токсичних домішок на поверхні фотокаталізатора під дією ультрафіолетового випромінювання (рис. 7).

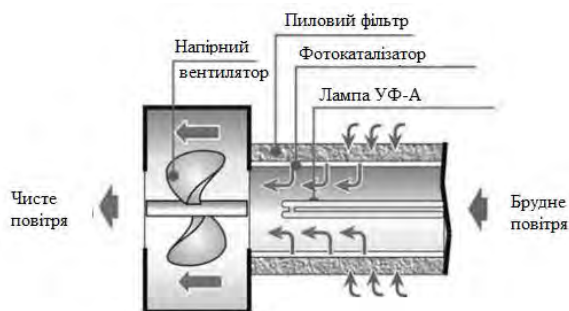


Рис. 7 – Очищення повітря фотокаталітичним методом

Фотокаталітичні процеси, які протікають, дозволяють вирішувати такі проблеми як розкладання токсичних органічних і неорганічних сполук у газових викидах і стічних водах, створення пристроїв нанофотоніки отримання водню та інтенсифікація процесів органічного синтезу [8]. Практичне використання ускладнено внаслідок достатньо невисокої активності фотокаталізатора у видимій області спектра. Ефективним шляхом підвищення спектральної чутливості матеріалу є допірування напівпровідникових наноструктур оксидами перехідних металів у кількості 1–10 мас % [9, 10]. Єдиним недоліком фотокаталізу є утворення пероксидних сполук (наприклад оксидів азоту), які часто зустрічаються серед «осколків», молекул, які не до кінця розклалися. Але вони набагато безпечніше озону, який під час фотокаталізу не утворюється. Фотокаталіз придатний для побутового використання, оскільки може відбуватися за кімнатної температури. Наприклад, термокаталітичний спосіб руйнування шкідливих речовин вимагає попереднього нагрівання повітря до температури вище ніж 200 °С.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Розглянувши існуючі методи очищення повітря необхідно зазначити, що найоптимальнішим методом очищення повітря є фотокаталітичне очищення газів, в якому в якості фотокаталізатору використовуються сплави титану, що здатні ефективно знешкоджувати (розкладати) токсини різної природи за високих показників роботоспроможності в широкому інтервалі температур. Тому в подальшому можна розглядати встановлення у фільтрипоглиначі фільтровентиляційних установок на бронетехніку та стаціонарні об'єкти, сітки із оксидних систем сплаву титану для нейтралізації ХНР.

Список літератури:

1. Галак О. В. Фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та на бронеоб'єктах / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, Я. В. Грибнінук // Системи озброєння і військової техніки. 2016. № 4 (48). С. 5–9.
2. Галак О. В. Фільтровентиляційні установки сучасності на бронеоб'єктах типу Т-64 / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, Ю. Ю. Кошкарів // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2017. № 1 (50), С. 147–150.
3. Галак О. В. Фільтровентиляційні установки на бронеоб'єктах іноземних держав світу / О. В. Галак, Г. В. Каракуркчі, М. Д. Сахненко, С. М. Меньшов // Системи озброєння та військової техніки. Х.: ХНУПС. 2017. № 1 (49). С. 92–95.
4. Артем'єв С. Р. Екологічна безпека військ / [С. Р. Артем'єв, О. М. Блекот, В. В. Марущенко та ін.]. Х.: НТУ «ХПІ», 2012. 308 с.
5. Ратушняк Г. С. Засоби очищення газових викидів / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. 208 с.
6. Кузнецов І. Е. Оборудование для санитарной очистки газов / И. Е. Кузнецов, К. И. Шмат, С. И. Кузнецов. – К.: «Техника», 1989. – 304 с.
7. Кричківська Л. В. Процеси та апарати біологічної очистки та дезодорації газоповітряних викидів / Л. В. Кричківська, О. В. Шестопалов, Г. Ю. Бахарєва. Х.: НТУ «ХПІ», 2013. 200 с.
8. Быканова В. В. Синтез і фотокаталітичні властивості покриттів $Ti/Ti_2O_3/ZrO_2$ / В. В. Быканова, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь // Вісник НТУ «ХПІ». 2014. № 27 (1070). С. 13–20.
9. Сахненко Н. Д. Конверсионные и композиционные покрытия на сплавах титана: монографія / Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь, М. В. Майба. Х.: НТУ «ХПІ», 2015. 176 с.

10. Bykanova V. V. Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the $Ti_2Zr_3O_8$ system / V. V. Bykanova, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved' // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2015. vol. 51, No 3. pp. 276–282. DOI: 10.3103/S1068375515030047.

References (transliterated)

1. Halak O.V. Fil'troventylyatsiyni ustanovky (ahrehaty) statsio-narni ta na broneob'yektakh [Filter and ventilation units (units) are stationary and on armored objects] / O.V. Halak, H.V. Karakurkchi, Ya.V. Hrybnyuk // Systemy ozbroynnyia i viys'kovoyi tekhniky [Arms and military equipment systems]. 2016. No. 4 (48), pp. 5–9.
2. Halak O. V. Fil'troventylyatsiyni ustanovky suchasnosti na broneob'yekakh typu T-64 [Filter ventilation installations of the present on armored doors of type T-64] / O. V. Halak, H. V. Karakurkchi, Yu. Yu. Koshkarov // Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho natsional'noho universytetu Povitryanykh Syl [Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces]. 2017. No. 1 (50), pp. 147–150.
3. Halak O. V. Fil'troventylyatsiyni ustanovky na broneob'yektakh inozemnykh derzhav svitu [Filter ventilation units on armored objects of foreign countries of the world] / O. V. Halak, H. V. Karakurkchi, M. D. Sakhnenko, S. M. Men'shov // Systemy ozbroynnyia ta viys'kova tekhnika [Arms and military equipment systems]. – Kharkiv: KhNUPS. 2017. № 1 (49), pp. 92–95.
4. Artem'yev S. R. Ekologichna bezpeka viys'k / S. R. Artem'yev, O. M. Blekot, V. V. Marushhenko ta in. Kharkiv: NTU «KhPI», 2012. 308 p.
5. Ratushnyak H. S. Zasoby ochyshchennya hazovykh vykydiv / H. S. Ratushnyak, O. H. Lyalyuk. Vinnytsya: UNIVERSUM, 2008. 208 p.
6. Kuznecov I. E. Oborudovanie dlja sanitarnoj ochistki gazov / I. E. Kuznecov, K. I. Shmat, S. I. Kuznecov. Kiev «Tehnika», 1989. 304 p.
7. Kry'chkovs'ka L. V. Procesy ta aparaty biologichnoyi ochy'stky ta dezodoraciyi gazopovitryany'x vy'ky'div / L. V. Kry'chkovs'ka, O. V. Shestopalov, G. Yu. Baxaryeva. Xarkiv: NTU «KhPI», 2013. 200 p.
8. Bykanova V. V. Sintez i fotokataliticheskie svoystva pokrytij $Ti/Ti_2O_3/ZrO_2$ / V. V. Bykanova, N. D. Sakhnenko, M. V. Ved' // Visnyk NTU «KhPI» [Bulletin of the National Technical University «KhPI»]. Kharkov, NTU «KhPI» Publ. 2014. № 27 (1070), pp. 13–20.
9. Sakhnenko N. D. Konversionnye i kompozitsionnye pokrytiya na splavakh titana: monografiya [Conversion and composite coatings on titanium alloys: monograph] / N. D. Sakhnenko, M. V. Ved', M. V. Mayba. Khar'kov: NTU «KhPI», 2015. 176 p.
10. Bykanova V. V. Synthesis and photocatalytic activity of coatings based on the $Ti_2Zr_3O_8$ system. Surface Engineering and Applied Electrochemistry / Bykanova V. V., Sakhnenko N. D., Ved M. V. 2015. vol. 51, No. 3, pp. 276–282. doi: 10.3103/S1068375515030047.

Поступила (received) 05.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Галак Олександр Валентинович (Галак Александр Валентинович, Galak Alexander) – кандидат технічних наук, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», начальник кафедри хімії та бойових токсичних хімічних речовин факультету радіаційного хімічного біологічного захисту та екологічної безпеки, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-> e-mail: galak79@gmail.com.

Сахненко Микола Дмитрович (Сахненко Николай Дмитриевич, Sakhnenko Nikolay) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-> e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Каракуркчі Ганна Володимирівна (Каракуркчи Анна Владимировна, Karakurkchi Ann) – кандидат технічних наук, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», начальник навчального відділу, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-> e-mail: anutyukukr@gmail.com.

Матикін Олексій Володимирович (Матикин Алексей Владимирович, Matykin Alexey) – Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри радіаційного, хімічного, біологічного захисту факультету радіаційного хімічного біологічного захисту та екологічної безпеки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-> e-mail – lelik19798089@gmail.com

Косарєв Олександр Владиславович (Косарев Александр Владиславович, Kosarev Alexander) – Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри тактико-спеціальних дисциплін факультету радіаційного хімічного біологічного захисту та екологічної безпеки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002->; e-mail – kosarev13@ukr.net.

Белоусов Іван Олексійович (Белоусов Иван Алексеевич, Belousov Ivan) – Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», викладач кафедри хімії та бойових токсичних хімічних речовин факультету радіаційного, хімічного, біологічного захисту та екологічної безпеки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002->; e-mail – belousovio@ukr.net.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

<i>Бухкало С. І., Ольховська О. І., Ізлін С. П., Зіпунніков М. М.</i> Можливості розвитку компетентностей комплексних екологічнобезпечних проектів утилізації-модифікації	3
<i>Мазуренко А. С., Денисова А. Е., Кандеева В. В., Губарь Л. Б.</i> Парогазовая установка повышенной экономичности за счет снижения необратимости процессов теплообмена в котле утилизаторе.....	10
<i>Ageicheva Anna, Komarova Oleksandra, Babash Larysa</i> Distance learning reforming swedish experience implementation into ukrainian higher education system	15
<i>Иванова Л. В.</i> Низкотемпературные испарительные водоохладители. анализ возможностей и эколого-энергетических характеристик	20

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

<i>Василенко А. А., Кусаков С. К., Бочарников И. А., Зоренко В.В., Арсеньева О. П.</i> Математическая модель пластинчатого теплообменника для утилизации тепла конденсируемых газовых потоков	29
<i>Бухкало С. І.</i> Синергетичні моделі для екологічнобезпечних процесів ідентифікації-класифікації вторинних полімерів	36
<i>Кондратюк Н. В., Степанова Т. М., Бурак В. Г., Малецький М. В.</i> Оптимізація базової рецептури желе плодово-ягідного на основі уронатного полісахариду та сухих концентратів соків	45
<i>Григоров А. Б.</i> Дослідження кореляційного зв'язку між показниками якості рециклінгових пластичних мастил	53

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

<i>Мельник С. И., В. Р. Никульшин, А. Е. Денисова, А. В. Белоусов</i> Термодинамический анализ систем производства сахара	57
<i>Поливанов Є. А.</i> Квантово-хімічне моделювання системи «глутатіон-пектин» та оцінка можливості її використання у складі харчових продуктів	65
<i>Шеманська Є. І., Литвиненко О. А., Довбенко А. Р.</i> Дослідження технологічних режимів пресування насіння ріжюю	69
<i>Белых И. А., Самойленко С. И., Варанкина А. А., Ларинцева Н. В., Высеканцев И. П.</i> Влияние некоторых экзогенных веществ на пролиферативную активность продуцентов в биотехнологии	74

ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

<i>Сахненко М. Д., Ведь М. В., Овчаренко О. О., Проскуріна В. О., Ненастіна Т. О.</i> Властивості композиційних електрохімічних покриттів, модифікованих діоксидом цирконію	80
<i>Сачанова Ю. І., Сахненко М. Д., Ведь М. В., Єрмоленко І. Ю.</i> Дослідження впливу густини струму на розсіювальну здатність комплексного електроліту, вихід за струмом та склад покриттів сплавами Fe-Co-Mo	85
<i>Галак О. В., Сахненко М. Д., Каракуркчі Г. В., Матикін О. В., Косарев О. В., Белоусов І. О.</i> Методи очищення газових викидів від хімічно-небезпечних речовин для підвищення ефективності фільтрувальних систем	89

ЗМІСТ.....	94
------------	----

ІНФОРМАЦІЯ.....	96
-----------------	----

CONTENT

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC DEVELOPMENTS

<i>Bukhhalo S. I., Olkhovska O.I., Iglin S.P., Zipunnikov M. M.</i> Possibilities of development of competencies of comprehensive eco-friendly projects of recycling-modification	3
<i>Mazurenko A. S., Denysova A. E., Kandeeva V. B., Gubar L. B.</i> Combined-cycle installation increased efficiency by reducing the irreversibility of heat exchange processes in waste heat boiler	10
<i>Ageicheva Anna, Komarova Oleksandra, Babash Larysa</i> Distance learning reforming swedish experience implementation into ukrainian higher education system	15
<i>Ivanova L. V.</i> Low-temperature evaporative water coolers. analysis of opportunities and environmental-energy characteristics	20

MODELING AS A TOOL OF INNOVATION

<i>Vasilenko A. A, Kusakov S. K., Bocharnikov I. A., Zorenko V. V., Arsenyeva O. P.</i> Mathematical model of plastic heat exchanger for utilization of heat of condensed gas flows	29
<i>Bukhhalo S.I.</i> Synergetic models for environmentally safe processes of identification-clasification of secondary polymers	36
<i>Kondratjuk N. V, Stepanova T. M., Burak V. G., Maletsky M. V.</i> Optimization of basic composition of the fruit-berry jelly with uronate polysaccharide and juice dried concentrates	45
<i>Grigorov A. B.</i> The research of correlation between recycling plastic lubricants quality indicators	53

ENERGY AND RESOURCE SAVING AS PROBLEMS AND TECHNOLOGIES OF INNOVATIONS

<i>Melnik S. I., Nikulshyn V. R., Denysova A. E., Belousov A. V.</i> Thermodynamic analysis of sugar production systems	57
<i>Polyvanov Y. A.</i> Quantum-chemical modeling of glutathione-pectin system and evaluation of the possibility of their using in the foodstuffs composition	65
<i>Shemanska E. I., Litvinenko O. A, Dovbenko A.R.</i> Investigation of technological regimes of pressing seeds of the camelina	69
<i>Bielykh I. A., Samoilenko S. I., Varankina A. A., Larintseva N. V., Vysekantsev I. P.</i> Influence of some exogenous substances on proliferative activity of producers in biotechnology	74

INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH DIFFERENT PURPOSES

<i>Sakhnenko M. D., Ved' M. V., Ovcharenko O. O., Proskurina V. O., Nenastina T. O.</i> Properties of composite electrochemical coatings modified with zirconia	80
<i>Sachanova Yu. I., Sakhnenko M. D., Ved' M. V., Yermolenko I. Yu.</i> Study of the influence of suction current on the rolling complicability of complex electrolyte, exhaust and composition of coatings with alloy Fe-Co-Mo	85
<i>Galak A. V., Sakhnenko M. D., Karakurkchi A. V., Matykin A. V., I. A. Belousov, Kosarev A.G.</i> Methods for cleaning gas emissions to improve the efficiency of filtering systems from harmful substances	89

CONTENT	94
---------------	----

INFORMATION	96
-------------------	----

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЛИСТ

Європейська федерація хімічної інженерії (EFCE) являє собою об'єднання національних неприбуткових федерацій (асоціацій) хімічної інженерії. Вона була створена у 50-х роках минулого сторіччя з метою сприяння кооперації у Європі національних неприбуткових професійних наукових та технічних об'єднань для забезпечення прогресу хімічної інженерії та розробки сучасних засобів та технологій.

Структура EFCE включає в себе робочі групи та секції з основних напрямків хімічної та харчової інженерії. Найменування секцій: 1) проектування та інженерія цільового продукту; 2) харчової інженерії; 3) мембранної інженерії; 4) сталого розвитку.

Робочі групи федерації: 1) освіти; 2) комп'ютерної процесної інженерії; 3) безпеки на виробництві та мінімізації шкідливих промислових викидів; 4) інженерія хімічних реакцій; 5) сепарація рідин; 6) електрохімічна інженерія; 7) кристалізація; 8) течія багатофазних середовищ; 9) змішання; 10) механіка подрібнених твердих фаз; 11) статична електрика у промисловості; 12) сушка; 13) роздроблення та класифікація; 14) системи характеристики частинок; 15) технології високого тиску; 16) інженерія полімерних реакцій; 17) агломерація; 18) інтенсифікація процесів; 19) термодинаміка та транспортні властивості; 20) дизайн та якість.

Українська асоціація хімічної і харчової інженерії (CFE-UA) являється структурно складовою частиною EFCE. Вчені України представлені в робочих групах – 2 (проф. П.О. Капустенко, НТУ «ХП»), – 4 (проф. А.А. Фокін, НТУУ «КП»), та – 15 (академік АА. Долинський, ІТ НАН України).

З ціллю підвищення визнання досягнень української хімічної і харчової інженерії вченими Європейської спільноти задачами CFE-UA вважаються: 1) підвищення рівня цитування наукових робіт у міжнародних науково-метричних базах; 2) зміцнити представництво України в робочих групах та секціях EFCE делегатами від асоціації CFE-UA за означеними напрямками; 3) сприяти безкоштовній публікації наукових розробок членів асоціації у провідних європейських журналах; 4) публікація матеріалів рекламного напрямку виробників та розробників хімічної і харчової продукції у виданнях; 5) надання регулярної інформації про проведення різного рівня міжнародних конференцій, форумів та семінарів в Україні та Європі; 6) утворення сприятливих умов для участі молодих вчених у Європейських конференціях за рахунок, наприклад, зниження суми організаційних внесків; 7) сприяння підвищенню професійного та етичного рівня своїх членів шляхом надання їм безкоштовної методологічної і консультативної допомоги, організація і проведення лекцій, семінарів та інших заходів; 8) надання майданчиків і площ для проведення занять, тренувальних заходів і оздоровчих практик; 9) розробка пропозицій до державних програм, законодавчих актів, спрямованих на розвиток і удосконалення громадського суспільства в Україні, Євросоюзі та інших країн, сприяння втіленню їх у життя, і т.і.

CFE-UA сприятиме співробітництву вчених та виробників хімічної та харчової промисловості України з EFCE для загального розвитку хімічної та харчової промисловості. Члени Української асоціації хімічної і харчової інженерії своєчасно сплачувати вступні (400–1000 грн від регіонального осередку) та членські внески (400–1000 грн від регіонального осередку) в розмірах та строки, що встановлюються Правлінням Організації (протягом поточного місяця). Додаткову інформацію та реквізити для сплати членських внесків можна знайти на сайті асоціації cfe.org.ua

Громадська організація «Українська асоціація хімічної і харчової інженерії»

ОКПО 41071591

п/р 2600800119725 в ПАТ «СКАЙ БАНК», МФО 351254

Адреса: 61002, м. Харків, вул. Багалія, буд.21

ФІП та організація платника

Тел: +380577202223

Обов'язково на сайті cfe.org.ua треба заповнити анкету. Для листування можна використовувати адресу кафедри ІТПА НТУ «ХП» як адресу Українській асоціації хімічної і харчової інженерії: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП», каф. ІТПА, секретар проф. Бухало С.І.; тел. [+380932430788](tel:+380932430788), email: cfe.ukraine@gmail.com

АТ «УКРГАЗВИДОБУВАННЯ» – ДРАЙВЕР ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ ЗАКОНУ ПРО ОЦІНКУ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ В УКРАЇНІ

Станом на сьогодні АТ «Укргазвидобування» розпочато понад 100 процедур з оцінки впливу на довкілля: 1) розпочали 57 процедур по спецдозволам; 2) натомість по бурінню – 8. Представниками Товариства було підготовлено 54 звіти з оцінки впливу на довкілля по спецдозволам та 16 по бурінню. Разом з представниками Міністерства екології та природних ресурсів та Українського наукового-дослідного інституту природних газів провели 24 громадських слухання. Слухання відбуваються згідно з Законом України «Про оцінку впливу на довкілля», організатором яких виступає Міністерство екології та природних ресурсів України.

Представники Департаменту земельних відносин АТ «Укргазвидобування» повідомляють, що видобуток природного газу проводиться з дотриманням усіх вимог чинного законодавства України та з врахуванням екологічних інтересів громадськості.

– Від продовження дії спеціальних дозволів на користування надрами, залежить можливість здійснювати видобуток природного газу, що напряму впливає на стан та рівень забезпечення енергетичної безпеки України, зазначив начальник відділу зв'язків з місцевими громадами та органами влади Департаменту земельних відносин АТ «Укргазвидобування» Олексій Сердюченко.

– Проведення громадських слухань потребують залучення наукових ресурсів АТ «Укргазвидобування» з оцінки впливу на довкілля, зокрема, оцінка впливу на атмосферне повітря, ґрунт, підземні води, обґрунтоване ставлення щодо оцінки спеціалістами факторів впливу надає впевненість в достовірності висновків щодо впливу на компоненти навколишнього середовища, зазначає начальник відділу екологічних досліджень, охорони навколишнього середовища і промислової санітарії Українського наукового-дослідного інституту природних газів Наталя Німець.

Громадські слухання проходять у рамках чинного Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059, прийняття якого очікували більше десяти років, коли вперше Україна була визнана країною, яка не виконує взяті на себе зобов'язання відповідно до Організації економічної співпраці та розвитку Європейської Економічної Комісії ООН про доступ до інформації, участь громадськості у процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля. Вона набрала чинності 30 жовтня 2001 року. Україна підписала Організацію економічної співпраці та розвитку конвенцію 25 червня 1998 року, а Верховна Рада України ратифікувала її 6 липня 1999 року (Закон України від 06.07.1999 № 832). На початок 2010 року вже 44 країни є Сторонами Конвенції, а саме: Албанія, Австрія, Азербайджан, Білорусь, Бельгія, Боснія і Герцеговина, Велика Британія, Болгарія, Вірменія, Греція, Грузія, Данія, Естонія, Європейський Союз, Італія, Іспанія, Казахстан, Кіпр, Киргизстан, Латвія, Литва, Люксембург, Македонія, Мальта, Молдова, Нідерланди, Німеччина, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Сербія, Словаччина, Словенія, Чехія, Чорногорія, Таджикистан, Туркменістан, Угорщина, Україна, Фінляндія, Франція, Хорватія, Швеція, Орхуська

Конвенція була прийнята з метою сприяння захисту права кожної людини нинішнього і прийдешніх поколінь жити в навколишньому середовищі, сприятливому для її здоров'я та добробуту, кожна із Сторін гарантує права на доступ до інформації, на участь громадськості в процесі прийняття рішень і на доступ до правосуддя з питань, що стосуються навколишнього середовища, відповідно до положень зазначеної Конвенції. Вона базується на трьох основних положеннях:

- 1) доступ до екологічної інформації (статті 4-5);
- 2) участь громадськості в обговоренні та прийнятті рішень (статті 6-8);
- 3) доступ до правосуддя в справах екологічного характеру (стаття 9).

Позитивним елементом у прийнятті і впровадженні даного Закону є залучення громадськості з ранніх стадій в обговоренні планованої діяльності шляхом формування переліку питань, які досліджуються під час ОВД.

Місцеві жителі, на території яких відбувається, або планується діяльність Товариства мають можливість впливати на вибір альтернативного місця здійснення планованої діяльності, а також, на впровадження переліку заходів, які зменшуватимуть вплив на довкілля такої діяльності. Завдяки цьому, зростає рівень свідомості громадян на місцях, що в кінцевому результаті позитивно впливає на рівень екологічної освіченості в державі.

АТ «Укргазвидобування» дякує кожному, хто залучається до обговорення, адже активна позиція допоможе спільно здійснювати діяльність згідно чинного законодавства з дотриманням усіх норм.

Інформацію про оголошення можна знайти на єдиному реєстрі з оцінки впливу на довкілля: <http://eia.menr.gov.ua/>

Гаряча лінія Департаменту земельних відносин АТ «Укргазвидобування»: +38 067 413 08 94

ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів викладає нормативну дисципліну «Загальна технологія харчової промисловості» для студентів 2 та 3 курсів факультету ТОР, які навчаються за напрямком Харчової технології та інженерія спеціальностей Технологія жирів і жирозамінників й Технологія бродильних виробництв та виноробства понад 15 років. За цей час видано 12 підручників та навчальних посібників з грифом МОН України та ні, які забезпечують викладання дисципліни за усіма видами навантаження (Вища освіта: Бакалаврат), наприклад:

1. Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник), Харків: НТУ «ХПІ», 2003, – 184 с., наклад 300.
2. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.А., ХАВИН Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение (навч. посібник), Харків: НТУ «ХПІ», 2005, – 460 с., тираж 500.
3. Ілюха М.Г., Лазарев М.І., Бухкало С.І., Лазарева Т.А., Рубан Н.П., Новосельцев О.О. Процеси та апарати харчових виробництв (навч. посібник з грифом МОН України), Харків: УПА, 2009, – 153 с., наклад 300.
4. Лазарева Т.А., Бухкало С.І., Ілюха М.Г., Скородумова О.Б. Технологічне обладнання харчової галузі (навч. посібник з грифом МОН України), Харків: УПА, 2009, – 185 с., наклад 300.
5. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О., АРСЕНЬЄВА О.П., ОЛЬХОВСЬКА О.І., ОРЛОВА С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (підручник з грифом МОН України), Київ: Центр учбової літератури, 2011, – 832 с., наклад 1000.
6. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості: тестові завдання (підручник з грифом МОН України), Київ: Центр учбової літератури, 2014, – 412 с., наклад 1000.
7. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості: інноваційні заходи (підручник з грифом МОН України), Київ: Центр учбової літератури, 2014, – 456 с., наклад 1000.
8. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ДЕНИСОВА А.Є., ДЕМИДОВ І.М., КАПУСТЕНКО П.О., АРСЕНЬЄВА О.П., БІЛОУС О.В., ОЛЬХОВСЬКА О.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (підручник з грифом МОН України: 2-ге видання перероблене), Київ: Центр учбової літератури, 2016, – 470 с.

Таблиця 1. Комплексний план навчальних занять першого модулю (приклад)

№ п/п	Вид нз	Години	Найменування тем і питань кожного заняття комплексу	
1	лк	2	Загальні відомості про: об'єкти вивчення та предмет дисципліни, ціль навчання, вимоги до знань студентів; історичний розвиток харчової технології як науки в Україні; узагальнену структурну схему технологічної лінії та стадії харчового виробництва; основні питання модернізації виробництва	
	лк	2	Загальна характеристика підготовчої стадії, режими та засоби зберігання різних видів сировини	
	лк	2	Підготовка різновидів сировини до виробництва	
	лк	2	Технологія зберігання зерна: основні операції та апаратне оснащення основних стадій	
	лб	2	Одержання, дослідження та аналіз деяких властивостей клейковини для різновидів пшеничного борошна	
	лб	2	Дослідження та аналіз автолітичної активності для різновидів пшеничного борошна – визначення α -амілази	
	пз	2	Розрахунок маси сухих речовин і вологи у сировині для виробництва тіста	
	пз	2	Розрахунок кількості борошна на заміс тіста	
	2	лк	2	Технологія борошна: основні стадії виробництва різновидів борошна та їх апаратне виконання, помел зерна.
		лк	2	Технологія круп та круп'яних виробів: принципова схема виробництва, призначення та апаратне оформлення основних стадій: лущення, полірування, шліфування, технологічні режими
лк		2	Технологія хліба: хлібопекарні властивості борошна; принципова схема хлібопекарного виробництва; основні стадії технології та їх апаратне оснащення; технологічні параметри та їх вплив на процеси на основних стадіях виробництва хліба.	
лк		2	Технологія макаронних виробів: особливості рецептур макаронних виробів; принципова схема, технологічні режими та апаратне оформлення основних стадій виробництва.	
лб		2	Дослідження та аналіз впливу режимів виготовлення тіста та його складових на реологічні властивості	
лб		2	Вивчення і аналіз властивостей пшеничного борошна	
пз		2	Розрахунки допоміжної сировини на заміс тіста	
пз		2	Розрахунки взаємозамінної сировини для замісу тіста, модульна контрольна робота	

Відмінною особливістю навчання студентів за вказаними напрямками є його комплексний характер (таблиці 1 та 2), оскільки сумісно розглядаються різновиди представлених матеріалів навчальних занять (нз): теоретичні питання курсу «Загальна технологія харчової промисловості», на яких засновані включені в підручник лабораторні роботи (лб), багатоваріантні тестові завдання у вигляді задач з основних тем курсу (пз), індивідуальні завдання та контрольні завдання, оціночний матеріал з урахуванням кількості годин.

Загальні відомості про об'єкти вивчення та предмет дисципліни, ціль навчання, вимоги до знань студентів мають інноваційне комплексне розвинення у всіх семестрах реалізації комплексного плану.

У підручниках та навчальних посібниках [1–8] за вищевказаною дисципліною, використовуються методологічні основи системного підходу до вивчення складних технологічних систем основних виробництв харчової промисловості за основними положеннями болонської системи навчання. Також приведені, наприклад, основні положення для складання та аналізу кінетичних моделей хімічних реакцій, апарати для їх проведення; розглянуто математичне моделювання хімічних реакторів з різною структурою потоків та принципи їх вибору.

Таким чином, при застосуванні комплексних навчальних занять відбувається формування і розвиток у студентів професійних компетенцій, що дозволяють їм виконувати інженерно-дослідну роботу з конкретними технологічними процесами. Для представленого матеріалу характерна різноманітність тем і завдань, які відповідають основним розділам курсу «Загальна технологія харчової промисловості» з включенням розділів «Класифікація основних закономірностей харчової технології» та «Основні характеристики комплексних проектів інноваційного промислового підприємства», що розширює можливості підготовки бакалаврів. При виконанні індивідуальних завдань, лабораторних робіт студенти закріплюють знання, отримані при вивченні теоретичного матеріалу, вивчають на практиці вплив технологічного режиму на ефективність досліджуваного процесу, поглиблюють знання про нього, удосконалюються в методах обробки результатів експериментальних досліджень, в тому числі із застосуванням обчислювальної техніки, що відповідає вимогам болонської системи навчання.

В якості оціночних матеріалів для поточного, підсумкового контролю знань з різних розділів, для самоконтролю та контролю освоєння компетенцій у навчальний процес включено завдання в тестовій формі – багатоваріантні завдання, які дозволяють, при відносно невеликій кількості аудиторних занять, провести якісний контроль за всіма видами занять, включаючи самостійну роботу студентів.

Таблиця 2. Комплексний план навчальних занять другого модулю (4 семестр)

№ п/п	Вид нз	Години	Найменування тем і питань кожного заняття комплексу
3	лк	2	Технологія хлібопекарських дріжджів: сировина та технологічні режими основних стадій виробництва пресованих дріжджів
	лк	2	Технологія борошняних кондитерських виробів: технологічні режими на кожній стадії процесу виробництва, їх вплив на якість виробів.
	лк	2	Технологія цукристих кондитерських виробів: технологічні режими на кожній стадії процесу виробництва карамелі, їх вплив на якість виробів.
	лк	2	Технологія шоколадних виробів: технологічні режими на кожній стадії процесу виробництва, їх вплив на якість виробів.
	лб	2	Вивчення і аналіз властивостей хлібопекарських пресованих дріжджів
	лб	2	Дослідження та аналіз виробництва карамелі на патоці
	пз	2	Розрахунки температури і витрат води на заміс тіста
	пз	2	Визначення виходу хлібобулочних виробів за розрахунками.
4	лк	2	Загальна технологія харчових концентратів: стадії виробництва різновидів продукції та їх апаратне виконання (перші блюда).
	лк	2	Загальна технологія харчових концентратів: стадії виробництва різновидів продукції та їх апаратне виконання (другі та треті блюда).
	лк	2	Загальна технологія овочесушильного виробництва: особливості процесів та апаратне оформлення основних стадій виробництва
	лк	2	Технологія овочесушильного виробництва: особливості процесів та апаратне оформлення основних стадій виробництва.
	лб	2	Дослідження та аналіз газоутворювальної здатності борошна
	лб	2	Виготовлення та методи аналізу цукрової помадної маси
	пз	2	Розрахунки виробничих рецептур у виробництві хлібобулочних виробів
	пз	2	Модульна контрольна робота № 2

При написанні підручників використано багаторічний досвід викладання дисципліни «Загальна технологія харчової промисловості» в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» на кафедрі інтегрованих технологій, процесів і апаратів. Цей досвід і добре знання предмета зумовили високу якість матеріалу для викладання дисципліни, а питання, що розглядаються пропущені через призму власного творчого сприйняття, що робить матеріал особливо цінним.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХП»
СЕРІЯ: ІННОВАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАУКОВИХ РОБОТАХ
СТУДЕНТІВ**

Збірник наукових праць

№ 18 (1294) 2018

Науковий редактор: канд. техн. наук, чл-кор. АН вищої освіти України, проф. С.І. Бухкало

Технічний редактор ст. викл. О.І. Ольховська

Відповідальний за випуск канд. техн. наук І. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП».
Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів.
Тел.: (057) 707-63-04; +380673010613, e-mail: bis.khr@gmail.com

Підп. до друку 13.06.18 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,0. Облік.-вид.
арк. 8,75 Тираж 300 пр. 1-й з-д 1-100. Зам. № б/н. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2