

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**

№ 5'2020

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

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

No. 5'2020

Collection of Scientific papers

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2020

Kharkiv
NTU "KhPI", 2020

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», 2020. — № 5 (1359) 2020. — 96 с. — ISSN 2220-4784 (print), ISSN 2663-8738 (online).

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-технічного 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.

Мова статей – українська, російська, англійська.

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

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», 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>

Редакційна колегія серії

Головний редактор:

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

Відповідальний секретар:

Мірошніченко Н.М., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

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

Демидов І.М., проф., НТУ «ХПІ», Україна

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

Подустов М.О., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Горбунов Л.В., доц., НТУ «ХПІ», Україна

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

Й. Клемеш, проф., Керівник лабораторії

інтеграції сталого процесу, Вища технічна

техніка у Брно, Чеська Республіка

П. Варбанов, PhD, доц., с.н.с., Лабораторія

інтеграції сталого процесу, Технологічний

університет Брно, Чеська Республіка

П. Стехлик, PhD, проф., технологічний

університет, Брно, Чеська республіка

З. Краванья, проф., лабораторія системотехники и

устойчивого развития, Марибор, Словения

Ф. Фридлер, проф., Католический университет,

лабораторія Heriberto Cabezas, Будапешт, Венгрія

Л. Пуиджанер, професор, доктор філософії,

Політехнічний університет Каталонії, кафедра

хімічного машиностроєння, Барселона, Іспанія

И. Плазл, проф., факультет хімії и хіміческой

технології, Університет Любляны, Любляна, Словенія

Лам Хон Лунг, доктор філософії (Chem Eng); (I.T.),

Ноттингемський університет, кампус Малайзії, кафедра

хіміческой и екологической инженерии, Малайзія

Консультативна рада

Сокол Є.І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України,

НТУ «ХПІ», Україна

Говоров П.П., д-р техн. наук, проф., ХНУМГ ім.

О.М. Бекетова, віце-президент НАН вищої освіти

України «Енергетика та ресурсозбереження»

Кравченко О.В., д-р техн. наук, зав. відділу

нетрадиційних енерготехнологій, Інститут

проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного

НАН України

Editorial staff

Editor-in-chief:

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

Executive secretary:

Miroshnichenko N.M., as. prof., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

Gladky F.F., dr. tech. sc., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Demudov I.M., dr. tech. sc., prof., NTU "KPI", Ukraine

Arsenyeva O.P., dr. tech. sc., prof., NTU "KPI", Ukraine

Podustov M.O., dr. tech. sc., prof., NTU "KPI", Ukraine

Gorbunov, L.V., as. Profesor, NTU "KhPI", Ukraine

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

Jiří Jaromír Kleměš, dr. sc., Prof., Head of Sustainable Process

Integration Laboratory, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta

strojního inženýrství, Brno, Czech Republic

Petar Sabev Varbanov, PhD, as. Professor, Senior Researcher,

Sustainable Process Integration Laboratory, Brno University of

Technology, Brno, Czech Republic

Petr Stehlik, dr. sc., Professor of Process Engineering, Director of

Institute of Process and Environmental Engineering at the Faculty of

Mechanical Engineering, University of Technology, Brno, Czech

Republic

Zdravko Kravanja, Professor, PhD., Faculty of Chemistry and

Chemical Engineering, Laboratory for Process Systems Engineering

and Sustainable Development, Maribor, Slovenia

Ferenc Friedler, Professor, PhD., Pázmány Péter Catholic

University, Heriberto Cabezas's Lab, Budapest, Hungary

Luis Puigjaner, Prof., PhD., Universitat Politècnica de Catalunya,

Department of Chemical Engineering, Barcelona, Spain

Igor, Plazl, prof., dr., Faculty of Chemistry and Chemical

Technology, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

Lam, Hon Loong, PhD (Chem Eng); PhD (I.T.), University of

Nottingham, Malaysia Campus, Dept. of Chemical and

Environmental Engineering, Malaysia

Advisory Board

Sokol E.I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of

Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Govorov P.P., dr. tech. sc., prof., O.M. Beketov National

University of Urban Economy, vice-president of National

Academy of Sciences of higher education of Ukraine

Kravchenko O.V., dr. Head of department of nonconventional

energy technologies Podgorny Institute for Mechanical Engine-

ering's Problems of National Academy of Sciences of Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 2 від 28 лютого 2020 р.

С. І. БУХКАЛО, А. О. АГЕЙЧЕВА, О. О. АГЕЙЧЕВА, Л. В. БАБАШ, Н. Г. ПШИЧКІНА

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ РЕФОРМУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В СИСТЕМІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Стаття присвячена дослідженню складових дистанційного навчання та технологічним і методичним аспектам реформування дистанційного навчання у системі вищої освіти. У дослідженні виділено тенденції реформування дистанційного навчання у системі вищої освіти. Розкриті технологічні та методичні аспекти реформування дистанційного навчання в системі вищої освіти, зокрема: застосування інформаційно-комунікаційних технологій, захист інтелектуальної власності, створення електронних курсів, розробка дидактичних основ дистанційного навчання, підготовка педагогів-координаторів. Визначено напрями реалізації стратегії розвитку дистанційного навчання: розробка теоретичних моделей діагностики та моніторингу якості освіти; розробка системи критеріїв та засобів діагностики та моніторингу якості освіти; розробка організаційно-управлінських моделей і технологій управління якістю освіти.

Ключові слова: система вищої освіти, дистанційне навчання, тенденції реформування, зміст освіти.

С. И. БУХКАЛО, А. А. АГЕЙЧЕВА, А. А. АГЕЙЧЕВА, Л. В. БАБАШ, Н. Г. ПШИЧКІНА

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕФОРМИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Статья описывает исследование составляющих дистанционного обучения и технологические и методические аспекты реформирования дистанционного обучения в системе высшего образования. В исследовании выделены тенденции реформирования дистанционного обучения в высшем образовании. Раскрыты технологические и методические аспекты реформирования дистанционного обучения в системе высшего образования, в частности: применение информационно-коммуникационных технологий, защита интеллектуальной собственности, создание электронных курсов, разработка дидактических основ дистанционного обучения, подготовка педагогов-координаторов. Определены направления реализации стратегии развития дистанционного обучения: разработка теоретических моделей диагностики и мониторинга качества образования; разработка системы критериев и средств диагностики и мониторинга качества образования; разработка организационно-управленческих моделей и технологий управления качеством образования.

Ключевые слова: система высшего образования, дистанционное обучение, тенденции реформирования, этапы реформирования, содержание образования.

S. I. BUKHALO, A. O. AGEICHEVA, O. O. ANEICHEVA, L. V. BABASH, N. G. PSHYCHKINA

DISTANCE LEARNING REFORMING IN HIGHER EDUCATION METHODOLOGICAL ASPECTS

The article focuses on the components and reforming technological and methodological aspects of distance learning in higher education system. The study identifies distance learning reforming trends in higher education. The study highlighted reforming trends of distance learning in higher education. Revealed technological and methodological aspects of distance learning reforming in higher education: the use of information and communication technologies, intellectual property protection, the creation of e-learning courses, development of teaching the basics of distance learning, teacher training coordinator. The directions of the development strategy of distance learning: the development of theoretical models of diagnosis and monitoring of the education quality; development a system of criteria and diagnostic tools and monitoring the education quality; development of organizational and management models and techniques of quality management education. The development of distance learning in the national higher education system would be more effective if: the development and implementation of the state development strategy for distance learning; providing targeted state financial support for universities with distance learning, simplifying the procedure for certification of educational services related to distance learning; creation of an extensive network of remote access rate; regulation of distance learning and systematic monitoring of its quality; integration of library network in the educational environment, which contributes to the efficient functioning of distance learning centers; creation of a unified network of educational-methodical documentation, promotes the mobility of university education.

Keywords: system of higher education, distance learning, reforming trends, reforming stages, education content.

Вступ. Система управління дистанційним навчанням у вищій освіті є доцільною й ефективною. На основі аналізу наукових джерел з'ясовано, що в науковій літературі під дистанційним навчанням розуміється індивідуалізований процес набуття знань, умінь, навичок і способів пізнавальної діяльності людини, який відбувається в основному за опосередкованої взаємодії віддалених один від одного учасників навчального процесу у спеціалізованому середовищі, яке функціонує на базі сучасних психолого-педагогічних та інформаційно-комунікаційних технологій.

Метою дистанційного навчання є забезпечення громадянам можливості реалізації конституційного права на здобуття освіти та професійної кваліфікації, підвищення кваліфікації незалежно від статі, раси, національності, соціального і майнового стану, роду та характеру занять, світоглядних переконань, належності до партій, ставлення до релігії, віросповідання, стану здоров'я, місця проживання відповідно до їх здібностей.

© Бухкало С.І., Агейчева А.О., Агейчева О.О., Бабаш Л.В., Пшичка Н.Г., 2020.

Дистанційне навчання забезпечує надання освітніх послуг шляхом застосування у навчанні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій за певними освітніми або освітньо-кваліфікаційними рівнями відповідно до державних стандартів освіти, за програмами підготовки громадян до вступу у навчальні заклади, підготовки іноземців та підвищення кваліфікації працівників. Проблема впровадження дистанційного навчання привертає значну увагу з огляду на ряд соціально-економічних чинників. У зв'язку з необхідністю забезпечення матеріального добробуту студентів в умовах ринкової дійсності, зростає кількість студентів, які бажають отримати освіту без відриву від основного місця практичної діяльності. Впровадження інноваційних технологій в системі освіти збільшило кількість освітніх установ, що здійснюють підготовку в рамках різних способів, форм і методів навчання. Дистанційна форма навчання надає можливість навчатися в будь-якому освітньому закладі, незалежно від місця проживання та місця розташування освітнього закладу. Організація якісного дистанційного навчання має позитивний вплив на інтелектуальний потенціал держави.

Аналіз стану питання. У дослідженні проаналізовано діяльність щодо впровадження дистанційного навчання у системі вищої освіти. Установлено, що основними складовими дистанційного навчання є: навчальний процес, профільні курси, специфічні курси, самостійна робота, робота за індивідуальними програмами тощо. Проведене дослідження змісту й технологій зазначених складових дистанційного навчання дозволяє проаналізувати технологічні та методичні аспекти реформування дистанційного навчання.

Аналіз основних досягнень і літератури. Аналіз значної кількості джерел дозволив визначити напрями реалізації стратегії розвитку дистанційної освіти: розробка теоретичних моделей діагностики та моніторингу якості освіти; розробка системи критеріїв та засобів діагностики та моніторингу якості освіти; розробка організаційно-управлінських моделей і технологій управління якістю освіти[1,2]. Моніторинг ефективності використання та впровадження дистанційного навчання в системі вищої освіти вивчали П. Вестерберг, Н. Лісвал, Е. Лумхольд, С. Клара.

Мета дослідження. Виявлення основних тенденцій реформування дистанційного навчання і розкриття технологічних та методичних аспектів реформування дистанційного навчання в системі вищої освіти.

Постановка проблеми. Необхідність впровадження дистанційного навчання та недостатня розробленість теоретичних та методичних засад обумовлює вибір теми дослідження. Важливість застосування найбільш ефективних педагогічних технологій дистанційного навчання в системі вищої освіти України. Пошук шляхів подальшого розвитку

вищої освіти вимагає глибокого і всебічного вивчення досвіду реформування системи дистанційного навчання, аналізу позитивних і негативних результатів цих реформ з урахуванням національної та культурної специфіки країни. Аналіз провідних тенденцій освітніх реформ дозволяє виявити позитивний досвід реформування дистанційного навчання.

Методи дослідження. Порівняльний метод – розкриття реформування дистанційного навчання у системі вищої освіти; аналіз філософських, соціологічних, педагогічних ідей – для з'ясування стану розробленості проблеми, визначення сутності базових понять дослідження, узагальнення й осмислення основних положень.

Виклад основного матеріалу. Дистанційне навчання повинно сприяти вирішенню таких соціально значущих завдань, як:

- підвищення рівня освіченості суспільства і якості освіти;
- реалізація потреб населення в освітніх послугах;
- реалізація потреб населення в освітніх послугах у критичних та надзвичайних станах;
- задоволення потреб країни в якісно підготовлених фахівцях;
- підвищення соціальної і професійної мобільності населення, його підприємницької і соціальної активності, рівня самосвідомості, розширення кругозору;
- збереження і примноження знань, кадрового і матеріального потенціалів, накопичених українською вищою школою;
- розвиток єдиного освітнього простору в рамках світової спільноти, що припускає забезпечення можливості отримання освіти в будь-якій точці освітнього простору;
- рішення геополітичних завдань;
- підвищення якісного рівня освіти за рахунок більш активного використання наукового та освітнього потенціалу провідних університетів, академій, інститутів, галузевих центрів підготовки та перепідготовки кадрів, інститутів підвищення кваліфікації, інших освітніх установ;
- можливість отримання як базової, так і додаткової освіти паралельно з основною діяльністю;
- розширення освітнього середовища в Україні для найбільш повного задоволення потреб і прав людини в галузі освіти; інтеграція та удосконалення системи освіти. Створення умов для безперервної освіти – забезпечення принципово нового рівня доступності освіти при збереженні його якості.

Упровадження електронних, інформаційних або дистанційних освітніх технологій не повинне означати ліквідацію класичних освітніх технологій.

Стратегічна мета дистанційної освіти – вільний доступ до можливості отримання освіти будь-якого рівня за місцем свого проживання або професійної

діяльності. Досягнення цієї мети здійснюється за рахунок розповсюдження знань за допомогою інформаційних технологій.

Великий та незбагнений досвід вітчизняної педагогіки дає можливість побудувати дистанційне навчання, враховуючи шведський прогресивний досвід. У цілому розвиток дистанційного навчання в Україні містить усі досягнення і принципи як сучасної, так і зарубіжної педагогіки. Позитивною тенденцією сучасних освітніх процесів є їх спрямованість на інтеграцію культур, упровадження та використання сучасних освітніх технологій, розширення можливостей особистісного розвитку людини, що і призвело до розвитку дистанційного навчання [3]. Сьогодні дистанційна освіта – поширене явище в багатьох країнах світу, і з кожним роком її популярність зростає. Не існує єдиного визначення для дистанційного навчання. Швидше, існує багато підходів до розуміння цього терміну. Слід також зауважити, що поряд з терміном «дистанційна освіта» уживаються і такі поняття, як заочне навчання, домашня освіта, самостійне вивчення, відкрите навчання, незалежне навчання, екстернат, навчання на відстані тощо. Усі вони належать до однієї проблемної області, проте мають різні відтінки значень. У 80-х роках ХХ ст. поширився термін «дистанційна освіта», основною характеристикою якої є відокремлення викладача від студента, саме в цьому полягає різниця між дистанційною і традиційною освітою. Дистанційна освіта містить 2 підсистеми: дистанційне викладання та дистанційне навчання. Цей вид навчання дозволяє одержати освіту всім категоріям населення. Дистанційне навчання дає можливість негайно застосовувати отримані знання на практиці.

За допомогою дистанційного навчання з'являється можливість встановити баланс між суспільним попитом на освіту та його пропозицією. Враховуючи актуальність дослідження, перспективними напрямками впровадження позитивного досвіду дистанційного навчання у вищі навчальні заклади України є:

формування позитивного світогляду педагогічної спільноти щодо доцільності, необхідності і можливості впровадження дистанційних технологій в системі вищої освіти;

- підготовка педагогічних кадрів для дистанційного навчання;
- створення центрів дистанційної освіти у вищих навчальних закладах;
- розробка навчально-методичних комплексів дистанційного навчання;
- створення локальної телекомунікаційної мережі з виходом в Інтернет;
- формування експериментальних навчальних груп для адаптації стандартів дистанційного навчання.

Потенціал інформаційно-комунікаційних технологій та нових способів їх застосування є основою реформування дистанційного навчання.

У дослідженні проведено аналіз науково-методичного забезпечення навчального процесу в умовах дистанційного навчання. Установлено доцільність максимального наближення матеріалів дистанційного навчання до практичної діяльності студента, передбачене навчання використанню спеціальної термінології та роботі з приладами. Важливим завданням в рамках організації дистанційного навчання є завдання формування науково-методичного забезпечення декількома способами: придбання у сторонніх осіб, розробляється на замовлення сторонніми організаціями або силами фахівців установи.

Виявлено, що головне в організації дистанційної форми навчання – створення електронних курсів, розробка дидактичних основ дистанційного навчання, підготовка педагогів-координаторів. Проблема в значній мірі вирішується шляхом використання нових технологій інформаційного обслуговування освітніх установ.

У галузі інформаційної підтримки освітнього процесу все більший розвиток одержують електронні бібліотеки, активно вирішується проблема тиражування й доставки в навчальні установи посібників, підручників і програмних продуктів при дистанційному навчанні.

У сфері програмного забезпечення, яке є необхідною умовою дистанційного навчання спостерігається поступовий перехід від інформаційної орієнтації до інтерактивної. Розвиток інтерактивних навчальних програм, доповнюючи засоби й можливості технологій дистанційного навчання, дозволяє збільшити творчу складову сучасної освіти [4].

Захист інтелектуальної власності дослідницьких університетів щодо онлайн-матеріалів дистанційних програм є важливим аспектом організації дистанційного навчання в системі вищої освіти [5]. Визначено основні методи захисту інтелектуальної власності у дистанційному навчанні:

- адміністративно-правовий спосіб захисту прав, що полягає в розгляді та вирішенні суперечки органом державного управління;
- цивільно-правовий спосіб захисту прав, який характеризується тим, що суперечки, пов'язані з порушенням прав інтелектуальної власності.

На основі аналізу процесу реформування дистанційного навчання в університетах, які є лідерами дистанційного навчання, а також вивчення й узагальнення урядових документів, університетських програм розвитку дистанційної освіти, навчальних програм та навчальних матеріалів дистанційних курсів виділено основні тенденції реформування дистанційного навчання в системі вищої освіти: національний характер узагальнення наукових знань, гуманізація, демократизація та відкритість освіти. Інтеграційні процеси досягли такого рівня, що економічні процеси в окремому регіоні викликають ланцюгову реакцію в економіці.

У сфері вищої освіти інструментом глобалізації та інтеграційних процесів є національний характер наукових знань. Рівень комунікації між науковими спільнотами такий, що нові знання, нові технології та розвиток на основі цих

знань стають надбанням всього людства і впливають на процес розвитку держави незалежно від національних, релігійних та інших особливостей;

- забезпечення загальної комп'ютерної грамотності та створення телекомунікаційного середовища. XXI століття визнається століттям інформаційних технологій. Нові інформаційні технології в освіті пов'язані з інтеграцією комп'ютерного обладнання в усі сфери діяльності людини, що викликало нові проблеми і відкрило нові перспективи перед системою освіти в цілому. Спочатку комп'ютери в системі вищої освіти з'явилися як інструмент проведення наукових досліджень. Однак технологічний прорив, пов'язаний зі створенням персональних комп'ютерів на початку 80-х років, призвів до якісного перелому по відношенню до цифрових технологій. Таким чином, намітилася й активно реалізується тенденція комп'ютеризації освіти;

- удосконалення методичного забезпечення дистанційного навчання. Систематичне розширення вищих навчальних закладів з потенційно цікавим і методично-обґрунтованим навчальним матеріалом для освіти. Спостерігаються розбіжності в навчальних планах для студентів, які навчаються в системі дистанційного навчання, у бік їх спрощення і полегшення. У даний час не існує додаткових критеріїв моніторингу програм дистанційного навчання та курсів, крім загальних, які використовуються для оцінювання традиційного навчання. Розвиток дистанційного навчання гальмується через виключно трудомістке створення пакетів прикладних програм, що підтримують інтерактивний процес навчання в рамках мультимедійних технологій;

- міграція професорсько-викладацького складу та розширення впливу англо-американської системи вищої освіти. Зміцнення національних наукових шкіл і розвиток системи вищої освіти, підсилення взаємодії національної системи вищої освіти з дослідницькими проектами та програмами. Економічний розвиток держави, різний рівень освіти, забезпечення прав і свобод громадян, рівень оплати праці, формування відкритого суспільства, інтернаціональний характер науки є складовими концепції розвитку. Необхідним елементом вищої школи є вивчення англійської мови – мови міжнародного наукового спілкування та цифрових комп'ютерних технологій.

Незважаючи на величезну кількість навчальних закладів у світі, попит на ринку освітніх послуг як і раніше перевищує пропозицію. Дистанційне навчання створює рівні можливості для бажаючих

здобути освіту, підвищити кваліфікацію, пройти перепідготовку та знайти роботу. Дана система дозволяє отримати вищу освіту паралельно з основною діяльністю людини, розширює можливості навчання за кордоном, отримання вчених ступенів, визнаних міжнародним освітнім співтовариством.

Дистанційна освіта передбачає більш широкі перспективи у виборі вишу. Звичайно, рівень необхідності навчання і можливості отримати освіту за допомогою комунікаційних технологій варіюється залежно від економічного розвитку окремо взятої країни.

В Україні популярність дистанційного навчання зростає з кожним роком. Дана освітня система, так само як і будь-яка інша, має ряд недоліків та переваг. Популярність дистанційної освіти, крім розвитку технологій, безпосередньо пов'язана із зростанням вартості очного навчання. Вартість Інтернет-освіти значно нижча, крім того, вона варіюється в залежності від спеціальності, форми навчальної програми та виду навчального закладу. Окрім цього, існують різні освітні гранти та стипендіальні програми, що дозволяють безкоштовно або за часткового фінансування навчатися за дистанційною формою. Більше того, у даному випадку відсутні витрати на переліт в країну навчання, на проживання, харчування, медичну страховку. Природно, що з розвитком системи дистанційного навчання, впровадженням нових інформаційних технологій в освіту, розробкою перспективних педагогічних технологій і в залежності від цілого ряду інших факторів технічного, технологічного, соціального та економічного характеру, будуть удосконалюватися і нормативно-правові основи дистанційних освітніх технологій.

Деякі приклади та методичні аспекти реформування дистанційного навчання в системі вищої освіти.

З метою реформування дистанційного навчання у системі вищої освіти було систематизовано та проаналізовано основні аспекти, експериментальної методичного підґрунтя, що створює необхідну основу для наукових досягнень.

Досліджуються концептуальні ідеї дистанційної освіти та подальші перспективи її розвитку за рахунок інформаційно-комунікаційних технологій дистанційної освіти. Основою діагностики та моніторингу якості освіти є навчальні програми, програми, зміст яких, наприклад, визначається підручниками та навчальними посібниками, науково-дослідницькими статтями у наукових виданнях за навчальними дисциплінами. Система управління студентами в умовах дистанційного навчання реалізує закони, що лежать в основі організації навчального процесу.

За 10 років застосування комплексного проектування тільки у серії «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів» Вісника

НТУ «ХП» за інноваційною тематикою проектів опубліковано матеріали-прикладні для дистанційної освіти: більше 50 статей як керівниками проекту, так і сумісних статей зі студентами різних вищих

навчальних закладів (ВНЗ), курсів та факультетів [6–20], а також видано більш ніж 20 навчальних посібників та підручників з грифом МОН України (рис. 1).



Рис. 1 – Приклади інтелектуальної власності дистанційної освіти



Рис. 2. Области вдосконалення навчання

Удосконалення методичного забезпечення дистанційного навчання пов'язане з визначенням та встановленням зв'язків між дисциплінами внутрішніми у самому ВНЗ та зовнішніми – міжвузівські з метою систематичного розширення заходів з потенційно цікавим і методично-обґрунтованим навчальним матеріалом для освіти (рис. 2).

Комплексне визначення властивостей сировини, напівфабрикатів та продуктів студентами учасниками

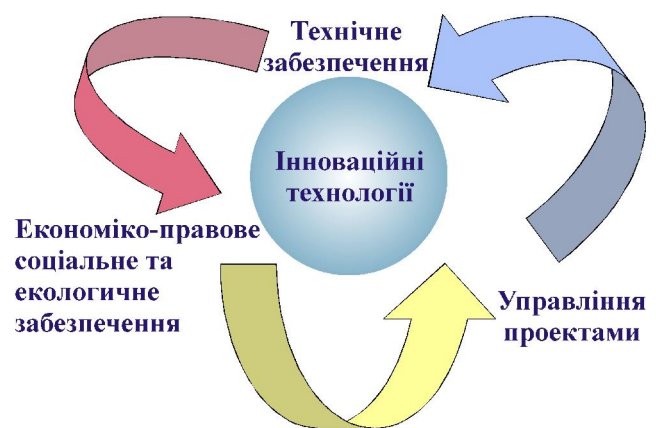


Рис.3 – Комплексні методи вдосконалення технологій

інноваційних курсових для всіх напрямків курсових проектів можна представити, наприклад, дослідженнями з метою забезпечення конкурентоспроможності сировини та продуктів в Україні і у світі відповідно вимогам міжнародних стандартів та стандартів України [1, 2].

Таким чином розроблені вимоги до інноваційних курсових проектів, наприклад: експериментальні дослідження та аналіз технічного забезпечення, можливостей управління проектами,

економіко-правове та екологічне забезпечення, аналіз та наукове обґрунтування досліджень (рис. 3).

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Здійснено аналіз науково-методичного забезпечення та методів захисту інтелектуальної власності в системі дистанційного навчання.

Досліджено застосування інформаційно-комунікаційних технологій у дистанційному навчанні з метою визначення стану їх впровадження. Сьогодні майже всі університети України мають добре організовану систему дистанційного навчання, яка дає можливість застосовувати інформаційно-комунікаційні технології в навчальному процесі.

Окреслено та охарактеризовано технічну інфраструктуру для організації дистанційного навчання, що має важливе значення для ефективного впровадження та покращення роботи всієї системи. Розглянуто аспекти інформатизації вищої освіти, враховуючи особливості та можливості дистанційного навчання.

У процесі дослідження виявлені елементи позитивного досвіду організації дистанційного навчання в системі вищої освіти, упровадження яких сприятиме ефективному розвитку дистанційного навчання в українській вищій школі:

- розробка і реалізація державної стратегії розвитку дистанційного навчання;
- надання цільової державної фінансової підтримки університетам, які надають освітні послуги через дистанційну форму;
- спрощення процедури сертифікації освітніх послуг, пов'язаних з дистанційним навчанням;
- створення розгалуженої мережі пунктів доступу до дистанційних курсів;
- регулювання дистанційного навчання і систематичний контроль за його якістю;
- інтеграція бібліотечної мережі в освітній простір, що сприяє ефективному функціонуванню центрів дистанційного навчання;
- створення єдиної мережі навчально-методичної документації, що сприяє мобільності університетського навчання.

Дистанційне навчання характеризується високим професіоналізмом, прагненням до співробітництва, самореалізації й розвитку, що є, по суті, наслідком використання комп'ютерного навчання та сучасних засобів комунікації. Враховуючи актуальність дослідження, перспективними напрямками впровадження позитивного досвіду дистанційного навчання у вищі навчальні заклади України є:

- 1) формування позитивного світогляду педагогічної спільноти щодо доцільності, необхідності і можливості впровадження дистанційних технологій в системі вищої освіти;
- 2) підготовка педагогічних кадрів для дистанційного навчання; створення центрів

дистанційної освіти у вищих навчальних закладах;

3) розробка навчально-методичних комплексів дистанційного навчання;

4) створення локальної телекомунікаційної мережі з виходом в Інтернет;

5) формування експериментальних навчальних груп для адаптації стандартів дистанційного навчання та ін.

Проблема вивчення досвіду створення і розвитку дистанційного навчання та можливості використання прогресивних ідей в Україні є актуальною.

Перспективи подальшого її дослідження можуть бути пов'язані з вивченням особливостей організації дистанційної освіти, порівнянням вітчизняних і зарубіжних технологій дистанційного навчання; розробками новітніх форм і методів дистанційної освіти.

Визначимо, що сучасні інформаційні технології і комунікаційні системи дозволяють корінним чином змінити роль і призначення освіти, значно розширити комплекс освітніх послуг, а також розробити і застосувати специфічні освітні технології, характерні для дистанційної освіти. При цьому виникає необхідність ретельного дослідження теоретичних основ і практичного досвіду впровадження подібних технологій освіти.

Список літератури

1. Hillman S. J. University infrastructural needs and decisions in moving towards online delivery programmes / M. G. Corkery, S. J. Hillman // *Journal of Higher Education Policy and Management*. 2010. – No. 32 (5). – P. 467–474.
2. Högskoleverkets Website [Електронний ресурс]. – Retrieved June 5, 2015 – Режим доступу: <http://www.hsv.se/abouttheagency.4.539a949110f3d5914ec8000522.html>
3. Guzman G. Packaging and unpacking knowledge in mass higher education – a knowledge management perspective / G. Guzman, L. F. Trivelato // *Higher Education, Online First™*. 2010. – 31 December.
4. Curran C. Online learning and the university / C. Curran // *Economics of distance and online learning. Theory, practice, and research* / Bramble & S. Panda (eds.). – New York : Routledge, 2008. – P. 26–51.
5. Moloney J. F. Scaling Online Education: Increasing Access to Higher Education / J. F. Moloney, I. B. Oakley // *Journal of Asynchronous Learning Net*. 2010.
6. Ageicheva A., Hunchenko Yu. Grammar Peculiarities of Scientific and Technical Translation in Construction Sphere. *International Journal of Engineering&Technology*, 7 (3.2) (2018), pp. 559–562.
7. Bukhhalo S.I., Ageicheva A. Complex projects development problems. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15-17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПИ». С. 220.
8. 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. X :НТУ «ХПИ». 205 с.

9. 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». С. 206.
10. Бухкало С.І. Деякі питання роботи вісника НТУ «ХПІ» серія Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15-17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 218.
11. Bukhhalo S.I., Ageicheva A. Complex projects competence development. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15-17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 193.
12. Бухкало С.І. Висновки з діяльності майстер-класу. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15-17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 219.
13. Бухкало С.І., Ольховська О.І., Іглін С.П., Зіпунніков М.М. Можливості розвитку комплексних екологічнобезпечних проектів утилізації-модифікації. 2018. – Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ». № 18 (1294). – С. 3–9.
14. Сирку М.А., Бухкало С.І., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнутова М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
15. Ситник В.В., Яценко Б.С., Бухкало С.І., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.
16. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
17. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
18. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo to kalenduly Vostochno-Evropskij zhurnal peredovih tehnologij. No.1/6(73), (2015), pp. 22–26. Harkiv: tehnologicheskij cent.
19. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Bukhhalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Thoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.
20. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, Vol. 70, (2018), pp.2047–2052.
21. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
22. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66-73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442. <http://journals.urau.ua/ejet/article/view/186442>.

References (transliterated)

1. Hillman S. J. University infrastructural needs and decisions in moving towards online delivery programmes / M. G. Corkery, S. J. Hillman // Journal of Higher Education Policy and Management. 2010. – No. 32 (5). – P. 467–474.
2. Högskoleverkets Website [Електронний ресурс]. – Retrieved June 5, 2015 – Режим доступу: <http://www.hsv.se/abouttheagency.4.539a949110f3d5914ec8000522.html>
3. Guzman G. Packaging and unpacking knowledge in mass higher education – a knowledge management perspective / G. Guzman, L. F. Trivelato // Higher Education, Online First™. 2010. – 31 December.
4. Curran C. Online learning and the university / C. Curran // Economics of distance and online learning. Theory, practice, and research / Bramble & S. Panda (eds.). – New York : Routledge, 2008. – P. 26–51.
5. Moloney J. F. Scaling Online Education: Increasing Access to Higher Education / J. F. Moloney, I. B. Oakley // Journal of Asynchronous Learning Net. 2010.
6. Ageicheva A., Hunchenko Yu. Grammar Peculiarities of Scientific and Technical Translation in Construction Sphere. International Journal of Engineering&Technology, 7 (3.2) (2018), pp. 559–562.
7. Bukhhalo S.I., Ageicheva A. Complex projects development problems. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15-17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 220.
8. S. Bukhhalo, 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 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kharkiv: NTU «KhPI», 205 p.
9. S. Bukhhalo, 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 E.I. Kharkiv: NTU «KhPI», 206 p.
10. Bukhhalo S.I. Dejaki pitannja roboti visnika NTU «HPI» serija Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15-17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 218.

11. Bukhhalo S.I., Ageicheva A. Complex projects competence development. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 193.
12. Bukhhalo S.I. Visnovki z dijalnosti majster-klasu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 219.
13. Bukhhalo S.I., Ol'hov'ska O.I., Iglin S.P., Zipunnikov M.M. Mozhlivosti rozvitku kompleksnih ekologichnobezpechnih proektiv utilizacii-modifikacii. 2018. – Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI». № 18 (1294), pp. 3–9.
14. Sirku M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannya kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 342.
15. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Viznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 343.
16. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
17. Bukhhalo S.I. Viznachennja zagal'noї tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 217.
18. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo to kalenduly Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij. No.1/6(73), (2015), pp. 22–26. Harkiv: tehnologicheskij cent.
19. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Bukhhalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.
20. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, Vol. 70, (2018), pp.2047–2052.
21. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138–144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/frujc/article/view/258>.
22. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442. <http://journals.uran.ua/ejeet/article/view/186442>.

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Bukhhalo Svetlana Ivanovna, Bukhhalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Агейчева Анна Олександрівна (Ageicheva Anna Aleksandrovna, Ageicheva Anna Oleksandrivna) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри загального мовознавства та іноземних мов, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2184-8820>; e-mail: ageicheva@ukr.net

Агейчева Олександр Олександрівна (Ageicheva Oleksandra Oleksandrivna, Aheicheva Oleksandra Oleksandrivna) – аспірант, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна.

<http://orcid.org/0000-0002-0140-9604>; e-mail: ageicheva@ukr.net

Бабаши Лариса Володимирівна (Babash Larisa Vladimirovna, Babash Larisa) – викладач кафедри загального мовознавства та іноземних мов Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія м Полтава, Україна;

e-mail: ageycheva@i.ua

Пшичкіна Наталія Гергієвна (Pshychkina Natalia Georgievna, Pshychkina Natalia Georgievna) – викладач спеціальних дисциплін Полтавський коледж нафти і газу Полтавського національного університету імені Юрія, м. Полтава, Україна;

e-mail: pshychkina@ukr.net

Л. І. МОРОЗЮК, А. Є. ДЕНИСОВА, СААД АЛДІН АЛХЕМІРІ ДАУД ЛІЛА, ХУССЕЙН ДЖАМАЛ ТАЛІБ

ПРИНЦИП СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ТРИГЕНЕРАЦІЇ З СОНЯЧНОЮ ЕНЕРГОУСТАНОВКОЮ

Розвиток малих систем тригенерації з відновлювальними джерелами енергії вирішує проблему життєзабезпечення населення багатьох регіонів світу, віддалених від центральних постачальників електроенергії, забезпечуючи цілорічно стабільне отримання електричної енергії, гарячого водопостачання, кондиціонування та опалення жилих приміщень. Запропоновано метод створення систем тригенерації на підставі термодинамічного аналізу характеристик термотрансформаторів для умов Близького Сходу, наведено приклад розрахунку теплотехнічних характеристик елементів тригенерації на засадах енергозбереження.

Ключові слова: тригенерація, режими роботи, інсоляція, термотрансформатори, термодинамічний аналіз, фотоелектричний перетворювач, автономний споживач.

Л. І. МОРОЗЮК, А. Є. ДЕНИСОВА, СААД АЛДІН АЛХЕМІРІ ДАУД ЛІЛА, ХУССЕЙН ДЖАМАЛ ТАЛІБ

ПРИНЦИП СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ТРИГЕНЕРАЦИИ С СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ

Развитие малых систем тригенерации с возобновляемыми источниками энергии решает проблему жизнеобеспечения населения многих регионов мира, удаленных от центральных поставщиков электроэнергии, обеспечивая круглогодичное стабильное потребление электрической энергии, горячего водоснабжения, кондиционирования и отопления жилых помещений. Предложен метод создания систем тригенерации на основе термодинамического анализа характеристик термотрансформаторов для условий Ближнего Востока, приведен пример расчета теплотехнических характеристик элементов тригенерации на основе энергосбережения.

Ключевые слова: тригенерация, режимы работы, инсоляция, термотрансформаторы, термодинамический анализ, фотоэлектрический преобразователь, автономный потребитель.

L. I. MOROZYUK, A. E. DENYSOVA, SAAD ALDIN ALHEMIRI DAOWD LILA, HUSSEIN JAMAL TALIB

PRINCIPLE OF DEVELOPMENT OF THE TRIGENERATION SYSTEM WITH SOLAR POWER UNIT

The development of small trigeneration systems with renewable energy sources solves the problem of life support for the population of many regions of the world which are remote from central electricity suppliers. The autonomous system provides year-round stable production of electric energy, hot water, air conditioning and heating in residential premises. The solar power plant is represented by two units: a photovoltaic converter for electric power generation and solar collectors for heating. A method for creating trigeneration systems based on the theory of thermal transformers is proposed. A thermodynamic analysis of the characteristics of compressor and absorption step-down and step-up thermal transformer for the conditions of the Middle East is carried out. The method of determining the characteristics of the elements of the system based on models of processes occurring in them is presented. An example of calculating the thermal characteristics of all elements of the trigeneration system taking into account energy conservation is given. Recommendations are developed for the selection of temperature operating conditions and equipment completing the system.

Keywords: trigeneration, operating modes, insolation, thermotransformers, thermodynamic analysis, photoelectric converter, autonomous consumer.

Вступ. Розвиток малих систем тригенерації з відновлювальними джерелами енергії пов'язаний зі зростанням цін на традиційне централізоване енергопостачання та з дефіцитом електричних комунікацій у великій кількості населених пунктів багатьох регіонів світу, віддалених від центральних постачальників електроенергії. Рішення про доцільність застосування систем тригенерації може бути прийнятим на основі вивчення численних різноманітних чинників, в тому числі соціальних. У якості чинника соціального виступає життєдіяльність людини, обумовлюючи усе різноманіття соціального життя суспільства. Соціальний фактор для оцінки будь-якої технічної системи став до розглядання нещодавно [1]. Стан клімату та його зв'язок з людиною має соціальний характер. Людина постійно знаходиться під впливом клімату тієї місцевості, де мешкає. Клімат розглядається як сукупність

чинників: температури та вологості повітря, атмосферного тиску, опадів, сонячної радіації, рельєфу місцевості тощо. Для кожного регіону чи країни чинники будуть своїми власними і можуть виявитися взагалі неприйнятними для інших регіонів. Відповідно, кожний випадок вимагає великого пізнання в сфері енергетичного, екологічного та економічного стану споживача, моніторингу роботи дійсних установок у подібних умовах. Тільки так можна зібрати необхідну інформацію, за допомогою якої досягається максимальна ефективність проекту, що реалізується.

Багаторічний моніторинг процесу акліматизації людей, які мігрують між різними кліматичними регіонами, констатує, що для людини перше значення має не стільки кліматогеографічні умови

© Морозюк Л.І., Денисова А.Є., Саад Алдін Альхемірі, Хуссейн Джамал Таліб, 2020

середовища, скільки сприятливі умови побуту та праці. Проблема взаємодії людини та клімату, що має правові, соціальні, екологічні аспекти, гігієнічні та медичні питання займають велике місце і часто набувають першорядного значення

Вивчення енергетичного, екологічного, економічного та соціального стану країн та населення Близького Сходу дозволило встановити, що для забезпечення нормальних умов існування населення доцільним є використання малих енергетичних установок з відновлювальними джерелами теплоти для цілорічного сезонного кондиціювання та опалення приміщень [2].

В даний час здійснюється інтенсивне виробництво малих енергетичних установок різної продуктивності з різними типами первинної енергії. Світовий ринок відреагував на запит споживачів, які відлучені від центрального постачальника енергії або страждають від його низької якості. Але втілювати реальні проекти покупець бажає тільки високої енергетичної та економічної ефективності. Завданням енергозберігаючих технологій є вдосконалення систем тригенерації, що використовують відновлювальні джерела енергії

Постановка задачі в загальному вигляді і її зв'язок термодинамічних принципів створення системи тригенерації з науковими і практичними завданнями.

Розглянемо метод створення систем тригенерації на базі термодинамічних зворотних циклів, які можуть служити для виробництва холоду та тепла, більш або менш оборотним шляхом передаючи тепло від джерела з однією температурою до джерела з іншою температурою. Термотрансформатори – це пристрої, які призначені для перетворення тепла. Враховуючи кінцевий ефект роботи термотрансформатора можна констатувати, що він є енергоперетворювальною системою, яка складається з енергетичної установки, теплового насоса та (або) холодильної машини з сумісною дією прямого та зворотного циклів. Тригенерацію, як об'єднану систему енергоперетворення і споживача надано на рис.1.

Сонячна енергетична установка містить два типи сонячних генераторів: колектори для виробництва тепла (СК) та фотоелектричний перетворювач (ФЕП) для виробництва електроенергії. Споживачів електричної енергії відносять до цілорічних. Споживання помітно змінюється протягом доби, але відносно стає протягом року. Наявність ФЕП у складі енергетичної установки є обов'язковим.

Кондиціювання повітря та опалення за допомогою термотрансформаторів – штучна автоматична підтримка в закритих приміщеннях всіх або окремих параметрів повітря (температури, відносної вологості, чистоти, швидкості руху повітря) з метою забезпечення оптимальних

кліматичних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей. Первинною енергією для отримання вказаних корисних ефектів є тепло від сонячних колекторів СК та електроенергія від ФЕП. В систему з СК включені тепловикористальні термотрансформатори АТТ (абсорбційні, машини) [3], електроенергія ФЕП використовується для приводу механічних термотрансформаторів КТТ (компресорні машини) [4].

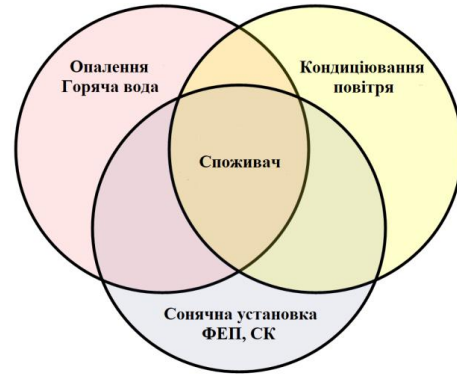


Рис. 1 – Об'єднана система енергоперетворення і споживача

Тепло використовується і за прямим призначенням – отриманням гарячої води Для умов жаркого клімату з високими середньорічними температурами навколишнього середовища температура та витрата споживаної гарячої води майже не змінюється за сезонами.

Використання вказаних машин має цілком конкретні межі, визначені кліматичними умовами навколишнього середовища та термодинамічними характеристиками циклів, робочими речовинами.

Мета. На основі термодинамічних принципів обрентувати вибір системи тригенерації.

Методи дослідження. Термодинамічний аналіз різних режимів роботи системи, які визначають оптимальні умови роботи при зміні сезонних або добових умов, що дозволяє спрогнозувати працездатність економічну та енергетичну ефективність системи для конкретних кліматичних умов і вимог споживача.

Термодинамічний аналіз почнемо в визначення температурних меж роботи КТТ та АТТ в системі тригенерації. Розглянемо принцип їх роботи, враховуючи, що і прямий і зворотний цикли здійснюються між джерелами з постійними температурами Такий підхід до розглядання явища, що відбувається, спрощує аналіз і зводиться до розгляду еквівалентних циклів Карно (рис.2), а енергетичну ефективність визначено через відношення температур в процесах підведення та відведення тепла для обох циклів термотрансформаторів [5, 6], Температури для

аналізу прийнято з урахуванням зовнішньої незворотності в процесах теплопередавання.

Для знижувального термотрансформатора коефіцієнт перетворення COP визначено як:

$$COP_{\text{зниж}} = \frac{T_m (T_z - T_x)}{T_z (T_m - T_x)}, \quad (1)$$

Відповідно для підвищувального:

$$COP_{\text{підв}} = \frac{1}{COP_{\text{зниж}}} = \frac{T_z (T_m - T_x)}{T_m (T_z - T_x)}, \quad (2)$$

де T_z , T_m , T_x – високо-, середньо-, низькопотенційний температурний рівень джерел тепла, відповідно.

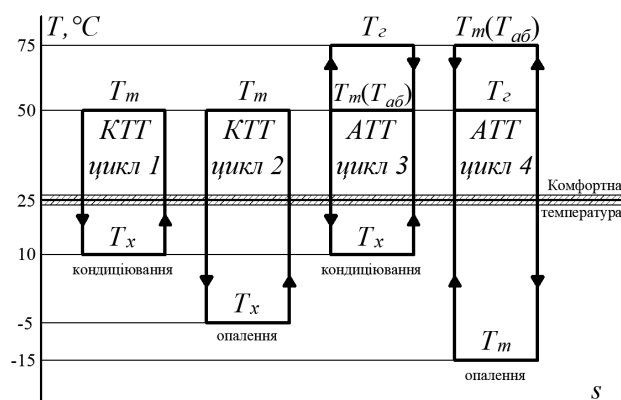


Рис. 2 – Цикли-взірці абсорбційного (АТТ) та компресорного (КТТ) термотрансформаторів

Простіша парова компресорна машина з низькокиплячою робочою речовиною працює в режимі кондиціювання повітря в інтервалі робочих температур: конденсації T_m та кипіння T_x , яка визначає стан повітря в приміщенні, яке охолоджується (цикл 1). В залежності від потреб споживача машина працює в режимі теплового насоса на опалення. Тоді температурний режим становить: температура конденсації T_m визначає стан повітря в приміщенні, що опалюється (цикл 2) а температура кипіння T_x теоретично дорівнює температурі навколишнього середовища. Вибір робочої речовини холодильної машини визначається енергетичною ефективністю та експлуатаційною надійністю машини.

Дійсні значення COP_d завжди менші за COP_k через великі незворотності у прямому циклі за малими різницями температур. Подібні цикли не мають інженерного втілення в компресорних машинах, і розглянуті лише як термодинамічний взірець [6].

Простіша абсорбційна машина в режимі кондиціювання (цикл 3) розглядається як знижувальний термотрансформатор з трьох

джерелами тепла T_z , $T_m(T_{аб})$, T_x , які знаходяться в однозначній залежності. Як правило, T_m , T_x задано,

тоді існує T_z^{min} , яка визначає працездатність машин [5].

Абсорбційний підвищувальний термотрансформатор АТТ, який іменують «звернена абсорбційна машина» (цикл 4) використовують для опалення за умови середніх температур СК і низьких температур зовнішнього повітря, які спостерігаються під час значних сезонних або добових коливань в умовах різкого континентального клімату в країнах Близького Сходу [5]. Прямий цикл здійснюється в інтервалі температур T_z і T_x , зворотний – в $T_m(T_{аб})$ та T_z . Як показує термодинамічний аналіз дійсного циклу АТТ, зі зниженням температури зовнішнього повітря збільшується кількість тепла, яке виробляється в абсорбері на рівні. Отже, виробництво гарячого теплоносія співпадає з його використанням в опалювальній системі [5].

Термодинамічний аналіз показав, що за ступенем термодинамічної досконалості система тригенерації з ФЕП і КТТ має переваги, а економічний аналіз віддав пріоритет СК – АТТ з водоаміачним розчином як робочою речовиною. Аналіз здійснювався за однаковими вихідними параметрами: в температурному режимі кондиціювання повітря та середньої холодопродуктивності 10...50 кВт [7].

Співвідношення теплових потужностей та температурних режимів установок виробництва тепла і холоду повністю визначаються конкретним споживачем. Остаточний вибір систем тригенерації залежить від конкретного споживача: наявності джерел тепла та кліматичних умов його життєдіяльності [8].

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення найбільшої енергетичної і екологічної ефективності використання систем тригенерації малої енергетики в країнах з тропічним кліматом необхідно розробити методики розрахунку теплових процесів в її складових елементах та виконати числове моделювання процесів в елементах системи тригенерації.

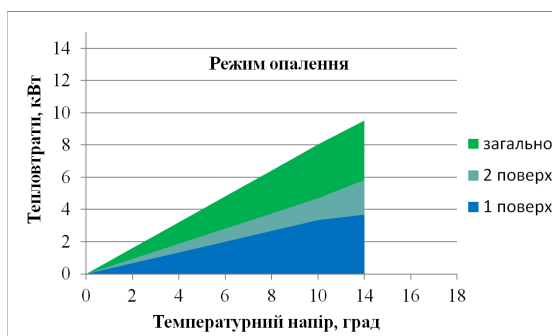
Об'єктом дослідження є система тригенерації, де використовуються ФЕП та компресорна машина для кондиціювання та опалення з метою забезпечення комфортних умов існування людей в приватних будівлях на засадах енергозберігаючих технологій незалежно від сезонних та добових коливань температур зовнішнього повітря. Терміни для кондиціювання повітря визначаються температурою навколишнього середовища, яка вища за комфортну в конкретному приміщенні. Періодами споживання вважають жаркі сезони року та денні часи в різні сезони. Терміни для опалення визначаються температурою навколишнього середовища, яка нижча за комфортну в конкретному

приміщенні. Періодами споживання вважають холодні сезони року та нічні часи в різні сезони.

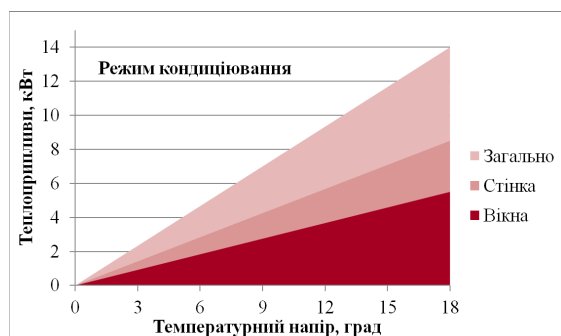
- Умовно система має чотири основних елементи:
- автономний ФЕП та СК;
 - приміщення-споживач корисних ефектів;
 - машина тепло- холодопостачання;
 - сонячний водонагрівач-акумулятор

Процеси опалювання або охолодження приміщення, здійснюються одноступеневою паровою компресорною холодильною машиною з приводом від електродвигуна та складається з чотирьох головних елементів: компресора, конденсатора, випарника та дроселя. Температурний режим в приміщенні підтримує потік свіжого повітря з системи активної вентиляції, охолоджений або підігрітий в теплообмінних апаратах машини [8].

Енергетичні ресурси інсоляції, що використовується в енергетичній установці залежать від географічної широти місцевості, кліматичних умов в різні пори року. Для практичних розрахунків можна рекомендувати дані щодо сумарної добової радіації, яка надходить на горизонтальну поверхню, в різних регіонах країн Близького Сходу [2]. Теплова потужність ФЕП повинна задовольняти потреби конкретного споживача на протязі доби в різні пори року. На кількісні й якісні показники машини, яка виробляє тепло та холод, що споживаються, впливають теплові навантаження будівлі. Розрахунок позитивних та негативних теплових навантажень можна здійснити різними способами з використанням класичних методик [9]. Для довгострокової надійної роботи системи тепло- і холодопостачання її холодильна потужність або тепла потужність в режимі теплового насоса повинні бути більшими за величину максимальних теплових навантажень



а)



б)

Рис. 3 – Тепловантаження на будинок крізь зовнішню огорожу: а) тепловтраги в режимі опалення, б) теплоприпливи в режимі кондиціонування

Максимальні позитивні та негативні теплові навантаження на приміщення будинку з урахуванням можливих внутрішніх джерел тепла:

- для режиму опалення – 9,8 кВт;
- для режиму кондиціонування – 14,0 кВт.

Розрахунок машини для тепло- і

Характеристики елементів машини розраховуються як функції температур кипіння та конденсації для конкретної робочої речовини з використанням класичних методик холодильної техніки [10, 11].

Математичне моделювання акумулювання теплоти в рідинному акумуляторі для підігрівання води здійснюється за рекомендаціями роботи [12, 13]. Запропоновані математичні моделі для різних режимів роботи системи, які визначають оптимальні умови роботи при зміні сезонних або добових умов, є основою для числового моделювання

Приклад розрахунку автономної системи тригенерації. У якості прикладу об'єкту тепло- і холодопостачання використано приватний житловий будинок. Характеристика будівлі:

- Кількість поверхів – 2;
- Кількість жилих приміщень – 6;
- Загальна площа будівлі – 416 м²;
- Площа жилих приміщень – 152 м²;
- Будівельний об'єм – 1887 м³;
- Об'єм приміщення для устаткування 36 м³.

Для розрахунку розглянуто такі режими тепло- і холодозабезпечення (рис.3):

- опалення для температур зовнішнього повітря від 10°C до 20 °C при температурі в приміщенні 23 °C (рис. 3,а);

- кондиціонування для температур зовнішнього повітря від 40 °C до 30 °C при температурі в приміщенні 23 °C (рис. 3,б).

Тепловтраги крізь зовнішню огорожу в режимі опалення виконано з залученням методичних матеріалів [14] теплоприпливів – з залученням методичних матеріалів [15]. Результати представлено в графічному вигляді на рис.3.

холодопостачання складався з вибору робочих речовин, порівняльного термодинамічного аналізу циклів в режимі кондиціонування та опалення за вирішенням «енергетичної» або «транспортної» задач [10], вибору устаткування на засадах енергозбереження.

Рішення «енергетичної» задачі пов'язано з оцінюванням на підставі порівняння термодинамічної ефективності циклів з різними робочими речовинами. Рішення «транспортної» задачі пов'язано з визначенням мінімальних масогабаритних характеристик компресорів, які

комплектують холодильну машину, з урахуванням робочих речовин, що розглядаються.

В графічному вигляді порівняльний аналіз за результатами рішення двох задач проілюстровано на рис. 4.

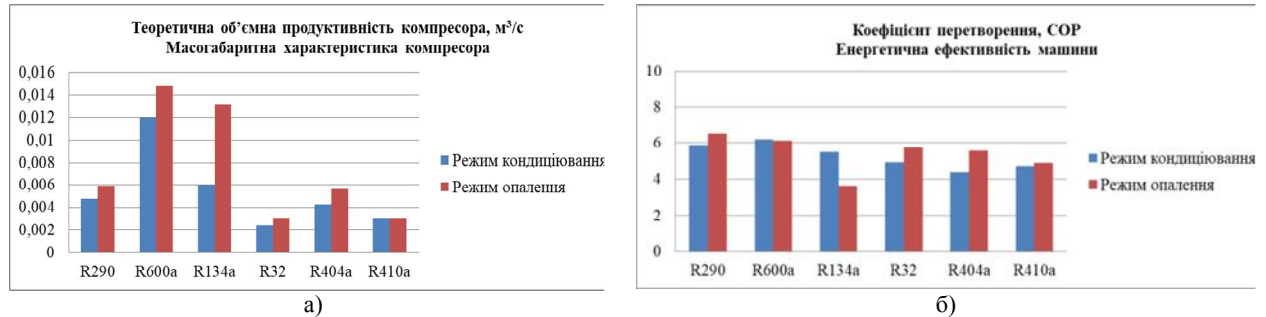


Рис. 4 – Порівняльний термодинамічний аналіз з вибору робочої речовини до машини

Виходячи з термодинамічного аналізу та моніторингу ринку робочих речовин тільки R32 може бути рекомендованим з цієї групи речовин для реальних проектів. Підставою є серійні спіральні компресори фірми BITZER.

Для будинку, який досліджується, необхідна ємність акумулятора гарячої води - 0,8м³ та загальна площа сонячного колектору – 16м². Розрахунки виконано з залучення рекомендацій [12,13].

Розрахунком ФЕП визначають: номінальну потужності модулів, їх кількість, схеми з'єднання, тип, умови експлуатації та ємність акумуляторної батареї; потужності інвертора і контролера заряду-розряду; параметри з'єднувальних кабелів[16]. Нижче наведено простий метод розрахунку автономного ФЕП для будинку, на прикладі даних температур зовнішнього повітря однієї доби в травні в країнах Сирії, Саудівської Аравії, Іраку і Туреччини [17].

Розрахунок системи складається з таких основних етапів:

- визначення навантаження і споживаної енергії;
- визначення необхідної площі фотоелектричних модулів.

Результати розрахунків наведено в табл. 1.1 і 1.2. Кількість електроприладів (табл. 1.1) прийнято, виходячи з середніх статистичних даних для родин з середніми фінансовими доходами [18]. Споживання електроенергії та тривалість роботи в різних режимах за добу, згідно рис. 5, для кожної країни наведено у табл. 1.2.

Ефективна потужність компресора в режимі кондиціювання та в режимі опалення обчислена з використанням даних теплового розрахунку компресора та рис. 5, як середньопланіметричну за період дії відповідного режиму

Таблиця 1.1. Характеристики електроприладів побутового призначення.

Споживач	Потужність, Вт	Сезон	Середня добова тривалість роботи, години	Добова витрата електроенергії, кВт·год
Основні регулярні споживачі				
Інвертор	20	завжди	24	0,48
Освітлення, підвал	200	завжди	3	0,6
Освітлення,1 поверх	200	завжди	6	3,2
Освітлення,2 поверх	180	завжди	3	0,54
Холодильник	500	завжди	9	4,5
Пральна машина	500	завжди	2	1,0
Праска	1500	завжди	1	1,5
Телевізор	1200	завжди	2	2,4
Комп'ютер	300	завжди	2	0,6
Нерегулярні споживачі				
Електричний чайник	2000	завжди	0,05	0,1
Пилосос	1800	завжди	0,5	0,9
Кухонні прилади	2000	завжди	1	2
Косметичні прилади	2000		0,15	0,3
Всього				16,1

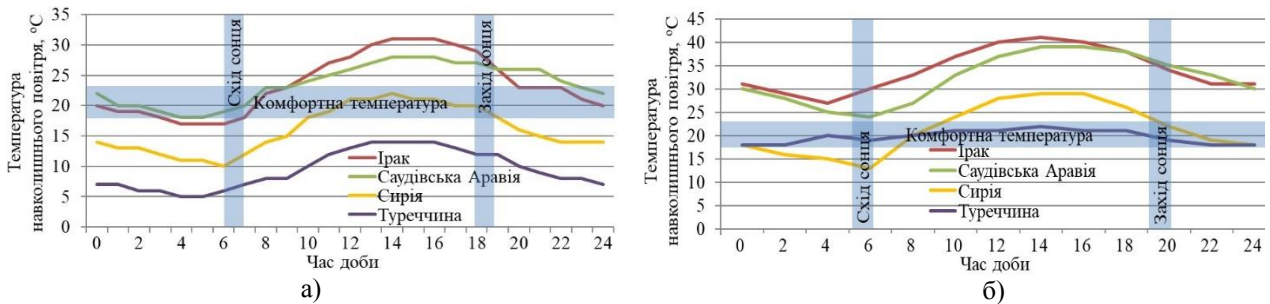


Рис. 5. Характеристика періоду ефективної роботи сонячної системи для лютого (а) і травня (б)

Таблиця 1.2. Розрахункові характеристики фотоелектричного перетворювача для умов травня

Характеристика	Одиниці виміру (кВт·год/м ²)/доба	Ірак	Саудівська Аравія	Сирія	Туреччина
Характеристика інсоляції		6,5	6,0	7,0	6,35
Тривалість режиму, кондиціонування	год/доба	24	20	8	0
Тривалість режиму опалення	год/доба	0	0	0	0
Тривалість ефективної роботи ФЕП	год/доба	14	14	14	14
Розрахункові теплоприпливи (+) і втрати (-)	кВт	+11,5	+9,5	+6,0	0
Холодопродуктивність	кВт	16,22	10,72	7,22	0
Потужність компресора	кВт	3,24	2,14	1,44	0
Загальна витрата електроенергії	кВт·год /д	78,37	11,15	14,07	32,77
Розрахункова потужність ФЕП	кВт/м ²	0,464	0,354	0,292	0,22
Розрахункова площа ФЕП	м ²	170,0	102,0	25,0	18,8

Результати свідчать, що навіть при зменшеній сонячній освітленості навесні в різних країнах необхідно кондиціонування та опалення (рис. 5). За таких умов фотоелектричний перетворювач буде працювати лише долею модулів, чим забезпечується енергозбереження.

Результати розрахунків характеристик фотоелектричного перетворювача з урахуванням ступеня природної інсоляції у різних регіонах Близького Сходу, сезонних та добових погодних умов, свідчать, що за цілодобовим використанням режиму кондиціонування або опалення для будинку площею 400м² необхідна площа фотоелектричного перетворювача до 200 м². За інших умов перетворювач буде працювати лише долею модулів, чим забезпечується енергозбереження.

Аналіз результатів дослідження. Результати числового моделювання «енергетичної» задачі свідчать, що R404A, R410, R32, в режимах кондиціонування та опалення мають однакову енергетичну ефективність, відрізняючись на більше ніж 10%. Робочі речовини R290, R600a, мають високу ефективність в обох режимах, R134a в режимі опалення має низьку ефективність і не може конкурувати з іншими.

Проведене числове моделювання схемно-циклового рішення одноступеневої компресорної машини тепло- і холодопостачання передбачало наявність декількох обов'язкових умов, якими є:

наявність групи робочих речовин, які відповідають сучасним вимогам експлуатації холодильних машин і здатні створити альтернативу один одному; наявність серійного устаткування, та його характеристики за даними світових фірм-виробників

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

1. Проведеними дослідженнями встановлено, що одноступенева компресорна холодильна з приводом від автономного сонячного фотоелектричного перетворювача, здатна забезпечити приміщення приватного споживача кондиціонуванням та опаленням в залежності від зміни сезонних та добових коливань температури навколишнього повітря на протязі цілого року.

2. Термодинамічний аналіз встановив, що цикли з R134a/R404A, R410/R290, R600a, R32 робочими речовинами в машині для тепло- і холодопостачання мають високу енергетичну ефективність: COP=4,0...6,0 в режимі кондиціонування, COP=5,0...6,5 в режимі опалення,

3. Термодинамічний аналіз рекомендував виключити R134a і R600a з розгляду «транспортної» задачі як не конкурентно здатних за масогабаритними характеристиками компресорів, які в 3...4 рази більші за інші.

4. Дослідження дозволяє стверджувати, що одноступенева компресорна холодильна машина з приводом від автономного фотоелектричного

перетворювача є новим науково-технічним рішенням для реалізації ідеї забезпечення енергетичних, соціально-екологічних потреб населення регіонів з складними кліматичними умовами.

5. Представлені результати можна враховувати початком в дослідженні одноступеневих компресорних холодильних машин в системах тригенерації з автономними сонячними фотоелектричними перетворювачами. Розвиток спрямувати на пошук нових об'єктів тепло- і холодопостачання з розширенням інтервалів робочих температур та пошуком нових робочих речовин для їх практичної реалізації

Список літератури

1. Адаптация деятельности человека к условиям жаркого климата [Электронный ресурс]. Режим доступа eco.bo.brodobro.ru/109.
2. A.E.Denysova, Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila, L.I. Morozyuk. Discussion of the possibility of creating trigeneration systems in the climate of the Middle East // Refrigeration Engineering and Technology, № 5. 2018. С.36–43. DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v5i4i5.1249>
3. Морозюк Т.В. Водоаміачні термотрансформатори (теорія, аналіз, синтез, оптимізація): дисс. док.тех. наук: 05.14.06 / Т.В. Морозюк. –ОНПУ, Одесса, 2001. – 382 с.
4. А.С.Денисова, Л.І.Морозюк, Саад Алдін Алхемірі Дауд Ліла, А.В. Цуркан. Схемно-конструктивні та технологічні особливості систем тригенерації для умов Близького Сходу // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». 2018, №40 (1316). С.10–16. DOI:10.15587/1729-4061.2019.156129 http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2018_40.pdf
5. Блиер Б.М. Теоретические основы проектирования абсорбционных термотрансформаторов / Б.М. Блиер, А.В. Вургафт. – М.: Пищ. Пром. 1971. – 204 с.
6. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / В.С. Мартыновский. – М.: Энергия, 1979. – 285 с.
7. Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications / Angrisani G., Akisawa A., Marrasso E. et al. // Elsevier. – 2016.
8. Morozyuk L., Denysova A., Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila. Synthesize of the integrative trigeneration system for a «Solar House» in the Middle East region// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2019. – Vol. 1, N 8 (97). С 43–50. <https://doi.org/10.15587/17294061.2019.148049>.
9. Klymchuk, A.Denysova, G.Balasanian, Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila, Krystyna Borysenko. Implementation of an integrated system of intermitted heat supply for education institutions //Eureka: Physics and Engineering, 2018.– Vol. 1(14). P.3–11 (Publisher OÜ «Scientific Route» European Union, «EUREKA: Physical Sciences and Engineering», Tallin, <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/557/543>
10. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов / Т. В. Морозюк. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.
11. А.С. Денисова, Л.І. Морозюк, Саад Алдін Алхемірі Дауд Ліла, Г.В. Лужанська. Характеристики та принципи регулювання роботи елементів малої системи тригенерації в умовах тропічного клімату // Refrigeration Engineering and Technology, № 6. 2018. С. 50–58. DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v5i4i6.1240>
12. A.Mazurenko, A. Denysova, G. Balasanian, A. Klymchuk, K. Borisenko. Improving the efficiency of operation mode heat pump hot water system with two-stage heat accumulation // Eastern-European journal of enterprise technologies, 1/8, 2017. – p.27-34. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92495 <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/92495>
13. Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Thermal Efficiency of Power Module “Boiler with Solar Collectors as Additional Heat Source” For Combined Heat Supply System // Journal of the Academy of Sciences of Moldova Problemele energeticii regionale. Seria Termoenergetică. 2015.– 1 (27) 2015. P.44–50. Web of Science (Thomson Reuters) http://journal.ie.asm.md/assets/files/04_01_27_2015.pdf
14. Расчет отопления <http://buderus.narod.ru/article/ras-otop.htm>. 3.
- 15.Строй А.Ф., Колодяжний В.В. Расчет и проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха, Киев, Изд. «Феникс», 2014, 343 с.
16. Расчет солнечной электростанции <https://avtonomny-dom.ru/solnechnyieatarei/raschetolnechnoyelektrostantsii.html>
17. RETScreen Plus Expert "Renewable Energy Project Analysis Software, Energy Model and Solar Resource and Heating Load Calculation" (SR&HLC).
18. Виды электрической мощности в электроэнергетике. Расчетная и установленная мощность <https://nkkconsult.ru/vidy-elektricheskoi-moshchnosti-v-elektroenergetikeraschetnaya-i.htm>
19. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.

References (transliterated)

1. Adaptacia dejatelnosti cheloveka k usloviam garkogo klimata [Elektronny resurs]. Regim dostupa eco.bo.brodobro.ru/109.
2. A.E. Denysova, Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila, L.I. Morozyuk. Discussion of the possibility of creating trigeneration systems in the climate of the Middle East // Refrigeration Engineering and Technology, № 5. 2018, pp. 36-43. DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v5i4i5.1249>
3. Morozyuk T.V. Vodoamiachnye termotransformatory (teoria, analiz, sintez, optimizacia): dis. doc.tech. nauk: 05.14.06 / T.V. Morozyuk. ONPU, Odessa, 2001. – 382 p.
4. A.E. Denysova, L.I. Morozyuk, Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila, A.V. Tsurkan. Schemes, design and technological features of trigeneration systems for the conditions of the Middle East // Bulletin of the National Technical University

- "KhPI". Ser.: Innovation researches in students' scientific work, 2018, №40 (1316), pp.10–16.
DOI:10.15587/1729-4061.2019.156129
http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2018_40.pdf
5. Blier B.M. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya absorbcionnykh termotransformatorov /B.M.Blier, A.V.Vurgaft. – M.: Pisch. prom. 1971. – 204 p.
 6. Martynovskiy V.S.. Cykly, ckhemy i kharakteristiki ermotransformatorov /V.S. Martynovskiy. – M.: Energia, 1979. – 285 p.
 7. Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications/ Angrisani G., Akisawa A., Marrasso E.et al. Elsevier. 2016.
 8. Morozyuk L., Denysova A., Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila. Synthesize of the integrative trigeneration system for a «Solar House» in the Middle East region// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2019. . – Vol. 1, N 8 (97), pp. 43–50.
<https://doi.org/10.15587/17294061.2019.148049>.
 9. Klymchuk, A.Denysova, G.Balasanian, Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila, Krystyna Borysenko. Implementation of an integrated system of intermitted heat supply for education institutions //Eureka: Physics and Engineering, 2018. – Vol. 1(14). P.3–11 (Publisher OÜ «Scientific Route» European Union, «EUREKA: Physical Sciences and Engineering», Tallin, <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/557/543>
 10. Morozyuk T.V. Teoria kholodilnykh mashin i teplovykh nasoosov / T.V. Morozyuk. – Odessa: Studia «Negotsiant», 2006. – 712 p.
 11. A.E.Denysova, L.I. Morozyuk, Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila, G.V.Luzhanska. Characteristics and principles of regulation of components within a small trigeneration system for tropical climate conditions// Refrigeration Engineering and Technology, № 6. 2018. P. 50–58.
DOI <https://doi.org/10.15673/ret.v54i6.1240>
 12. A.Mazurenko, A. Denysova, G. Balasanian, A. Klymchuk, K. Borisenko. Improving the efficiency of operation mode heat pump hot water system with two-stage heat accumulation // Eastern-European journal of enterprise technologies, 1/8, 2017. – p.27-34.
DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92495
<http://journals.uran.ua/ejet/article/view/92495>
 13. Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Thermal Efficiency of Power Module “Boiler with Solar Collectors as Additional Heat Source” For Combined Heat Supply System // Journal of the Academy of Sciences of Moldova “Problemele energeticii regionale. Seria Termoenergetică”. – 2015.– 1 (27) 2015. P.44 – 50. Web of Science (Thomson Reuters) http://journal.ie.asm.md/assets/files/04_01_27_2015.pdf
 14. Raschet otoplenia <http://buderus.narod.ru/article/ras-otop.htm>. 3.
 15. Stroi A.F., Kolodiagnyi D.D. Raschet i proektirivanie sisitem ventilii i kondicionirovaniya vozdykha, Kiev, Izd. «Feniks», 2014, 343 p.
 16. Raschet solnechnoy elektrostancii <https://avtonomny-dom.ru/solnechnyiebatarei/raschetsolnechnoyelektrostantsii.html>
 17. RETScreen Plus Expert "Renewable Energy Project Analysis Software, Energy Model and Solar Resource and Heating Load Calculation" (SR&HLC).
 18. Vidy elektricheskoy moschnosti v elektroenergetike. Raschetnaya i ustanivlennaya moschnost <https://nkkconsult.ru/vidy-elektricheskoi-moshchnosti-v-elektroenergetikeraschetnaya-i.htm>.
 19. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.

Надійшла (received) 19.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Морозюк Лариса Іванівна (Морозюк Лариса Ивановна, Morozyuk Larisa Ivanivna) – доктор технічних наук, доцент, Одеська національна академія харчових технологій, *професор*, кафедри криогенної техніки, м. Одеса, Україна, вул. Канатна, 112; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4133-1984>; e-mail: Lara.morozyuk@mail.ru

Денисова Алла Євсїївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsiiivna) – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, директор Українсько-польського інституту; м. Одеса, проспект Шевченка, 1, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3906-3960>; e-mail: alladenysova@gmail.com

Саад Алдін Алхемірі Дауд Ліла (Саад Алдин Алхемири Дауд Лила, Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila) – PhD, Одеський національний політехнічний університет, інженер Центру трансфертехнологій; м. Одеса, проспект Шевченка, 1, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4860-7923>; e-mail: eng.saadaldin@outlook.com

Хуссейн Джамал Таліб (Хуссейн Джамал Талиб, Hussein Jamal Talib) – аспірант, Одеський національний політехнічний університет; м. Одеса, проспект Шевченка, 1, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6973-0421>; e-mail: tomjamal18@yahoo.com

П. П. ГОВОРОВ, С. І. БУХКАЛО, А. К. КІНДИНОВА, К. В. ГОВОРОВА

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ НА ОСНОВІ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

У матеріалах статті розглядається енергоефективна технологія знезараження питної води, що базується на використанні світлодіодних джерел світла для генерації ультрафіолетового випромінювання. Розроблені та досліджені деякі теоретичні та експериментальні моделі знезаражування води з урахуванням проведеного аналізу літературних джерел інформації. Запропоновано структуру системи знезараження води, методику та алгоритм розрахунку світлорозподілу світлодіодних джерел світла, що забезпечують ефективне використання електричної енергії на знезараження води.

Ключові слова: ультрафіолетове випромінювання, світлодіодні джерела світла, бактерицидна установка, структура, методика, алгоритм, програма розрахунку світлорозподілу

П. П. ГОВОРОВ, С. И. БУХКАЛО, А. К. КИНДИНОВА, К. В. ГОВОРОВА

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В материалах статьи рассматривается энергоэффективная технология обеззараживания питьевой воды, основанной на использовании светодиодных источников света для генерации ультрафиолетового излучения. Разработаны и исследованы некоторые теоретические и экспериментальные модели обеззараживания воды с учетом проведенного анализа литературных источников информации. Предложена структура системы обеззараживания воды, методика и алгоритм расчета светораспределения светодиодных источников света, обеспечивающих эффективное использование электрической энергии на обеззараживание воды.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, светодиодные источники света, бактерицидная установка, структура, методика, алгоритм, программа расчета светораспределения

P. P. HOVOROV, S. I. BUKHALO, A. K. KINDINOVA, K. V. HOVOROVA

ENERGY-EFFICIENT WATER DISINFECTION SYSTEM BASED ON LED LIGHT SOURCES

In the article the energy-efficient technology of disinfection of drinking water which is based on the use of LED light sources for generating ultraviolet radiation. Some theoretical and experimental models of water disinfection have been developed and investigated. The structure of the system of water disinfection technique and algorithm for calculating the light distribution of LED light sources that provide efficient use of electricity in the disinfection of water. The fragmentation algorithm is attached for the development of the bactericidal anti-infection system. The authors have devised a methodology for the synthesis of light on the basis of the distorted power of a single light switch of a light switch. The problem associated with the need to improve the efficiency of water disinfection at the stages of its treatment in an increasingly unfavorable trend of deterioration of microbiological parameters in the reservoirs of the first category is considered. Historical facts of development and the application of this technology in the water treatment system are described.

Keywords: ultraviolet radiation, LED light sources, bactericidal installation, structure, methods, algorithm, the program of calculation of light distribution

Вступ.

Відомі методи очищення води, а також системи та схеми її знезаражування не спроможні забезпечити сучасні вимоги до якості питної води і не в повній мірі відповідають вимогам енергоефективності у зв'язку із застосуванням малоефективної техніки та технологій, а також забезпечення безпеки життєдіяльності населення. Класифікація-ідентифікація методів знезаражування води має загальні підходи до визначення її складових: 1) хімічні 2) фізико-хімічні або комбіновані; 3) фізичні – механічні, електричні, променеві, акустичні, термічні.

Загальні питання за темою можна визначити алгоритмом дії: 1) Вибір методу знезараження питної води.

2) Фактори, що впливають на ефективність обраного методу знезараження. 3) Порівняльна характеристика методів знезараження питної води. 4) Вибір та розрахунки оптимальних параметрів системи знезараження.

Існуючі бактерицидні установки (можна віднести до 3 групи) побудовані на використанні ультрафіолетових газорозрядних ртутно-аргонових або ртутно-кварцових ламп. Наявність у воді завислих речовин та низька світлова віддача ламп знижують ефективність процесу знезаражування. Крім того, конструкція установок дозволяє здійснювати очистку води тільки в місцях що мають дуже високу бактеріальну забрудненість.

© Говоров П.П., Бухкало С.І., Кіндінова А.К., Говорова К.В., 2020

У зв'язку з цим установки для знезараження води на основі існуючих бактерицидних ламп являються малоєфективними, хоча досить привабливими взагалі, а пошук нових та вдосконалення існуючих технологій знезараження питної води є важливою і актуальною задачею. При цьому необхідно визначити – вода питної якості за органолептичними властивостями, мікробіологічним та хімічним складом, відповідає діючим санітарним нормам і правилам, а також безпечна для життя і здоров'я людини [1–6].

Результати дослідження.

Технологія ультрафіолетового опромінення при знезараженні питної та стічної води застосовується досить широко. При впливі на органічні клітини різних бактерій ультрафіолетовим випромінюванням спостерігається руйнація клітин мікроорганізмів у спектрі від 200 до 400 нм. [7] Такі можливості треба використовувати для підвищення ефективної роботи бактерицидних установок, необхідним є пошук енергоефективних джерел світла, що працюють в діапазоні 200–400 нм.

Як свідчить аналіз, високі техніко-економічні показники забезпечують бактерицидні установки, що працюють на основі використання світлодіодних джерел світла, які нарівні з покращенням енергетичних характеристик, забезпечують ще й можливість зменшення ефекту післядії за рахунок розосередження установки і багатоступеневі структури системи знезараження води. У той же час, дослідження процесів знезараження води та визначення вимог до бактерицидних установок на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла досі не проводилось.

Тому, для виявлення загальних закономірностей створення світлового простору світлодіодними світловими приладами авторами розроблена методика синтезу світлових приладів на основі відомої кривої сили світла (КСС) одиничного світлодіодного джерела світла. Для формування кривої сили світла приладу використана модель виду [8]:

$$I'(\lambda) = F(I(\lambda), N, K) = F(I_0, N, 2\theta_{0,5}, K) \quad (1)$$

де $I'(\lambda)$ – розподіл сили світла СП; $I(\lambda)$ – розподіл сили світла одного світлодіода (СД); N – число світлодіодів в приладі; I_0 – осьова сила світла одного СД; $2\theta_{0,5}$ – кут свічення одного світлодіода; K – коефіцієнт, що враховує розподіл сили світла від оптичного елемента світлового приладу.

Моделювання світлорозподілу світлодіодів здійснювалося на основі кривих ламбертовського типу з використанням сплайн – апроксимації, як найбільш ефективного опису цього процесу. Знаходження шуканої сплайн – функції, що описує розподіл сили світла світлодіодного джерела світла в просторі, зведено до рішення системи лінійних рівнянь алгебри. Для цього розроблено програмне забезпечення Light Power, що забезпечує розрахунок КСС світлодіодних приладів з довільним розташуванням і орієнтацією відносно певного центру світлодіода, а також для кожного стану середовища пропускання.

На рис. 1 представлений алгоритм розрахунку параметрів і характеристик світлових приладів на основі світлодіодних джерел світла.

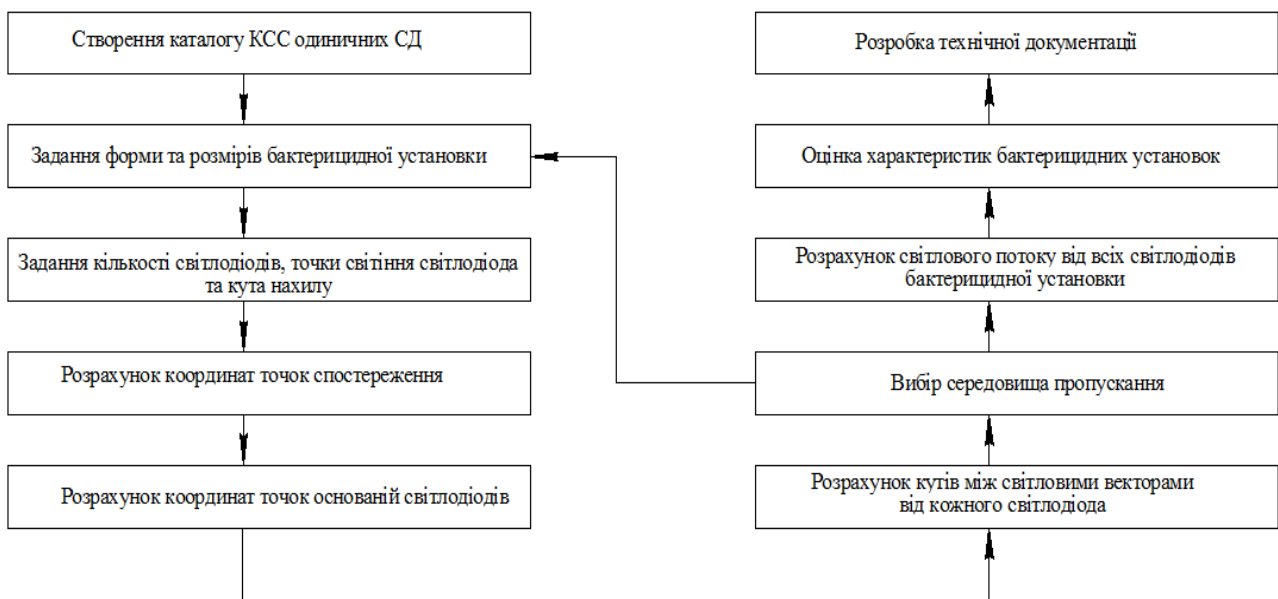


Рис. 1 – Алгоритм розрахунку бактерицидних установок зі світлодіодними джерелами світла

Результатом розрахунку є графік світлорозподілу в площині, де розташовані точки спостереження. Графік є кривою сили світла (КСС) в довільно вибраній площині, що проходить через вісь лампи. Величина сили світла в цій залежності є результат складання сил світла в точці спостереження, від усіх світлодіодів, які розміщені в світлодіодній лампі (СДЛ). Величина кута визначена, як кут між віссю лампи і променем, проведеним в точку спостереження. Для обчислення сили світла використовується закон квадрата відстані $I=E \cdot L^2$. Для розрахунку КСС СДЛ використовуються КСС одиничних світлодіодів (СД), що наведені в паспортних даних. В розглянутих умовах КСС СД – це кубічний сплайн апроксимації, отриманий на основі експериментальних вимірів для одиничного світлодіода. КСС модельованої СДЛ розраховується в два етапи.

На першому етапі створюється каталог КСС одиничних світлодіодів різних модифікацій, з яких передбачається створювати СДЛ.

На другому етапі в точках спостереження здійснюється розрахунок сили світла від усіх світлодіодів лампи.

Другий етап завдання здійснюється у відповідності з розробленою методикою:

- розрахунок координат точок спостереження залежно від кута спостереження для заданого кроку зміни кута;
- розрахунок координат точок підстав світлодіодів для заданих точок світіння світлодіода і кута нахилу осі світлодіода до осі лампи;
- розрахунок кутів між світловими векторами від кожного світлодіода і вектором, задаючого вісь світлодіода.

Застосування розробленої методики дозволяє розрахувати КСС від СДЛ для любых умов застосування. Розрахунок КСС для СДЛ зводиться до розрахунку сили світла в будь-якій точці середовища пропускання A_i з координатами (x_a, y_a, z_a) в системі координат, у якій вісь OZ співпадає з віссю лампи. Точка початку координат є уявним центром світимості лампи, який може бути вибраний довільно в області площини розміщення діодів. Площина XOY перпендикулярна осі OZ і проходить через точку нуль осі OZ . Напрямок осі OX вибирається довільно. Алгоритм, застосований в завданні для розрахунку точок спостереження A_i середовища пропускання, заснований на твердженні, що ці точки знаходяться в площині XOZ .

Для розрахунку координат точок світіння середовища пропускання застосовано алгоритм розрахунку координат, який полягає в знаходженні координат рівновіддалених точок середовища пропускання, при обертанні їх навколо початку координат. Для того, щоб скористатися цим

алгоритмом задаються наступні величини [8]:

- відстань до точок розрахунку R від нульової точки системи координат;

- крок зміни кута при руху точки розрахунку навколо точки нульової осі OZ . На основі кроку виконується розрахунок кута між точкою розрахунку і негативним напрямом осі OZ .

По теоремі косинусів визначаються відстані до точок розрахунку та їх координат:

$$a = -R \cdot \cos(\gamma) \quad (2)$$

На рис. 2 зображена геометрична інтерпретація отримання координат точок розрахунку в результаті обертання точки розрахунку навколо центру координат.

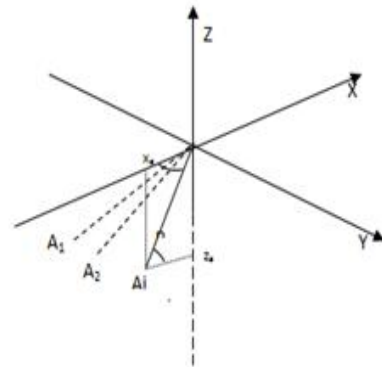


Рис. 2 – Визначення координат точок розрахунку

Координати двох точок простору, вказані в певному порядку, задають єдиний вектор. Таким чином, якщо задати дві точки, що лежать на промені осьової сили світла світлодіода. Цього достатньо для завдання напрямку осі світлодіода. Точка кінця вектора світлодіода повинна задаватися як координати оптичного центру світлодіода. Точка початку вектора світлодіода може бути вибрана довільно, але обов'язково повинна належати променю осьової сили світла світлодіода. Для визначення координат точки початку вектора світлодіода в завданні кутом між осями світлодіода і лампи розраховується кут, отриманий в результаті проведення площини крізь вісь OZ і точку оптичного центру світлодіода відновлюється перпендикуляр до осі OZ . Гіпотенузою, цього трикутника виступатиме відрізок геометричного променя з точки оптичного центру світлодіода до осі OZ . Кут між гіпотенузою і віссю OZ задається при конструюванні лампи і є кутом нахилу осі світлодіода до осі лампи. Точкою початку вектора світлодіода, виходячи з цієї побудови, являється точка перетину гіпотенузи з віссю OZ . Позначивши точку оптичного центру світлодіода координатами $D_s (x_s, y_s, z_s)$ і використовуючи теорему тангенсів для прямокутного трикутника,

знаходимо величину катета, що належить осі OZ у вигляді:

$$b = a \cdot \operatorname{tg}(\gamma) \quad (3)$$

де a – довжина катета, яку можна знайти з координат точки оптичного центру світлодіода.

У площину XOY проекція точки оптичного центру діода має координати, відповідно x_s і y_s , довжина вектора від оптичного центру до осі OZ, дорівнює $\sqrt{x_s^2 + y_s^2}$. Таким чином, катет b визначається, як:

$$b = \operatorname{tg}(x_s^2 + y_s^2) \quad (4)$$

Координати точки перетину гіпотенузи з віссю OZ (0, 0, $z_s + b$). На рис.3 зображена геометрична інтерпретація отриманих координат точок основи світлодіодів.

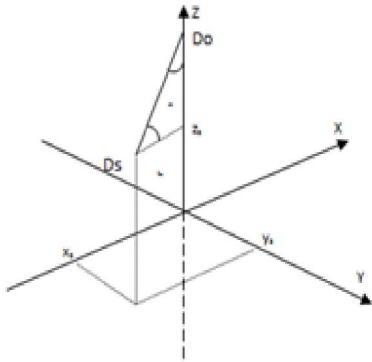


Рис. 3 – Визначення координат точки основи світлодіода

Можна задати координати точки початку вектора діода просто з геометричного зображення лампи. У завданні застосовується розрахунок координат точки початку вектора діода для кожного діода лампи по описаному алгоритму, якщо задані координати точки оптичного центру діода і кут нахилу осі діода до осі лампи.

При завданні координат точок початку і кінця вектора діода з геометричної побудови лампи, необхідність завдання кута нахилу осі діода до осі лампи відпадає.

Для розрахунку сили світла від оптичного центру світлодіода до точки розрахунку, визнається кут між вектором, задаючим вісь світлодіода і вектором з точки оптичного центру світлодіода до точки розрахунку. Кут між векторами в просторі знаходиться, використовуючи поняття скалярного множення векторів у відповідності з цим скалярним здобутком двох векторів $a(x_a, y_a, z_a)$ і $b(x_b, y_b, z_b)$ є сума множень відповідних координат векторів:

$$ab = x_a \cdot x_b + y_a \cdot y_b + z_a \cdot z_b.$$

З іншого боку, скалярним добутком цих

векторів, є добуток довжин векторів помножений на косинус кута між ними:

$$ab = |a| \cdot |b| \cdot \cos(\alpha) \quad (5)$$

Для знаходження кута між віссю світлодіода і вектором з оптичного центру світлодіода в точку спостереження, визначаються точки початку і кінця для кожного з векторів. На рис. 4 зображена геометрична інтерпретація отримання кута між векторами, що задають вісь світлодіода і вектором з оптичного центру світлодіода, спрямованого в точку спостереження (вектор спостереження).

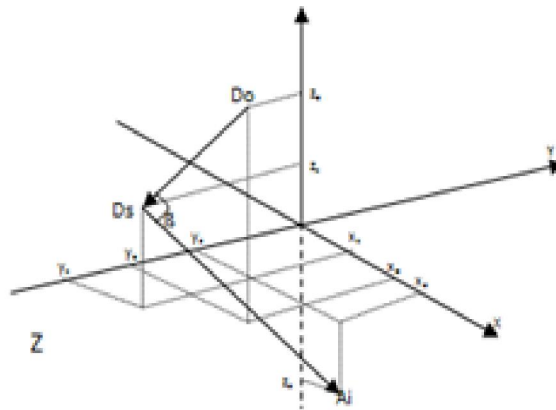


Рис. 4 – Визначення кута між віссю світлодіода і вектором розрахунку

Перший вектор задає вісь світлодіода і належить променю осьової сили світла світлодіода. Вектор проведений з будь-якої точки, що лежить на промені осьової сили світла світлодіода D_o до оптичного центру світлодіода D_s . Другий вектор – з точки оптичного центру світлодіода D_s до точки спостереження A_i .

Координати точок, що визначають обидва вектори: $D_s(x_s, y_s, z_s)$ – точка оптичного центру світлодіода; $D_o(x_o, y_o, z_o)$ – точка основи світлодіода; $A_i(x_i, y_i, z_i)$ – точка розрахунку (точка, в якій розраховується сумарна сила світла від світлодіодів розміщених в лампі).

Координати вектора світлодіода $D(D_o, D_s)$ і вектора розрахунку $A(D_s, A_i)$ знаходяться використовуючи координати точок початку і кінця вектора: $D(x_s - x_o, y_s - y_o, z_s - z_o)$; $A(x_a - x_s, y_a - y_s, z_a - z_s)$. Визначивши довжини векторів обчислюється їх скалярний добуток: $DA = |D| \cdot |A| \cdot \cos(\beta)$.

Використовуючи раніше знайдені довжини векторів і функцію \arccos , знаходиться необхідний кут. Використовуючи отриманий кут між вектором, задаючим вісь світлодіода і вектором з точки оптичного центру світлодіода до точки спостереження і провівши інтерполяцію з використанням функції апроксимації кубічного

сплайна для вибраного світлодіода, вичислюємо силу світла від конкретно взятого світлодіода у вибраній точці спостереження. Підсумкове значення, отриманих сил світла від усіх світлодіодів СДЛ, надає інформацію про силу світла в даній точці спостереження.

Розроблений метод знаходження кута між вектором, що задає вісь світлодіода і вектором з точки оптичного центру світлодіода до точки спостереження, не залежить від методів розрахунку координат точок спостереження і точок основ світлодіодів. Тому, він може бути застосований для будь-яких довільно вибраних точок спостережень, основ світлодіодів і середовища їх розташування, що робить алгоритм придатним для розрахунку світлорозподілу від світлодіодних систем бактерицидного знезараження води.

Зв'язок проведених досліджень з розробками заходів і проектів екологічної безпеки.

Додатково до викладеного матеріалу необхідно формувати у студентів усіх рівнів навчання знання про теоретичні і правові засади нормування в Україні принципів якості довкілля та категорій нормативних документів, з визначенням системи понятійної термінологічної бази якості довкілля [9–13]. Завдання розвитку таких закономірностей пов'язані з визначенням місця і ролі нормування основних характеристик в системі заходів підвищення якості та рівнів екологічної безпеки довкілля:

- основні положення в галузі стандартизації та нормування якості довкілля;
- поняття та визначення – ідентифікація-класифікація системи;
- категорії нормативних документів;
- систему нормативних документів, які регламентують якість повітря, води та водних об'єктів, ґрунтів та ін.;
- класифікація системи різновидів відходів та ідентифікація-класифікація твердих побутових відходів (ТПВ);
- санітарно-гігієнічне значення централізованого водопостачання населених пунктів;
- системи методів покращення якості води і технологічні процеси обробки води;
- сучасні ресурсо- та енергозберігаючі способи освітлення води (видалення завислих речовин у відстійниках, флоатція, фільтрування та ін.);
- безпечні способи знебарвлення води шляхом коагуляції, напірної флоатції, окислювачами (хлор, озон, перманганат калію), сорбентами (активоване вугілля) та ін.;
- системи комплексних способів знезараження води;
- системи коагуляція води (коагулянти, флокулянти, організація реагентного господарства, дозування реагентів);
- сучасні системи відстоювання води;

- сучасні системи фільтрування води;
- сучасні екологічно-безпечні системи хлорування питної води (реагенти, механізми та діапазони бактерицидної дії; методи хлорування води, дозування реагентів; обладнання для хлорування; контроль ефективності хлорування води, переваги та недоліки);

- сучасні екологічно-безпечні системи знезараження води озоном (механізм бактерицидної дії, озонаторні установки, контроль ефективності, переваги та недоліки);

- переваги та недоліки сучасних екологічно-безпечних систем знезараження води УФ-промінням, іонами срібла, йодом, ультразвуком, гамма-випромінюванням, контроль їх ефективності;

- попередній санітарний нагляд за покращенням якості води на водопроводах;

- поточний санітарний нагляд за ефективністю покращення якості води на водопроводах.

Гарантоване постачання населенню України питної води, що є безпечною для здоров'я та належної якості, забезпечують два основоположні законодавчі документи: Водний кодекс України та закон України «Про питну воду та питне водопостачання» [1, 2, 5]. Одним із завдань, що спрямовані на досягнення вищезазначеної мети, є об'єктивне оцінювання екологічного стану і якості поверхневих та підземних вод – джерел централізованого питного водопостачання, на основі екологічних та гігієнічних показників та критеріїв, що відповідають вимогам стандартів, способів, методів та технологій, прийнятих в ЄС [6]. Класифікація якості поверхневих та підземних вод України – джерел питного водопостачання – є морально та змістовно застарілою.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Результати дослідження показали можливість їх застосування.

1. Проведені дослідження дозволили встановити науково-обґрунтовані вимоги до бактерицидних установок.

2. Для визначених умов та призначення запропоновано структуру енергоефективної бактерицидної установки на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла, що забезпечує розосереджене багаторівневе знезараження води.

3. Розроблена методика моделювання КСС СД СП по відомій КСС одиничного світлодіода і обґрунтована можливість її застосування для розрахунку і проектування бактерицидних установок на основі СД.

Експериментально розроблені оптимальні технологічні параметри енергоефективної бактерицидної установки на основі ультрафіолетових світлодіодних джерел світла. Під час досліджень встановлена необхідність формулювання оцінки характеристик бактерицидних установок.

Слід відмітити, постійне зростання попиту на безпеку життєдіяльності людини, що, насамперед, пов'язане з факторами її визначення: сучасних характеристик в системі заходів підвищення якості та рівнів екологічної безпеки довкілля; застосування високоефективних інноваційних технологій, техніки та обладнання з метою забезпечення безпеки життєдіяльності населення; вивчення даних про принцип дії ультрафіолетового випромінювання і самому впливі знезараження ультрафіолетового випромінювання на мікроорганізми, що знаходяться у воді, і є джерелом забруднення; вивчення даних про існуючі зараз проблеми при очищенні води шляхом ультрафіолетового опромінення; збір,

систематизація, аналіз уже відомих даних і результатів різних досліджень, експериментів по знезараженню води методом ультрафіолетового опромінення; внесення пропозиції щодо вдосконалення систем водопідготовки із знезараження води методом ультрафіолетового опромінення.

Ці фактори, у свою чергу, стимулюють подальше розвинення досліджень з метою розробки сучасних енергоефективних систем знезараження води на основі світлодіодних джерел світла та її впровадження [1–8, 14], а також сприяють розвитку створення інтелектуальної власності студентами та аспірантами [9–21].

Список літератури

1. Загальнодержавна програма «Питна вода України» на 2006-2020 роки, затверджено Законом України від 03.03.2005 р., №2455-IV.
2. Центральна санітарно-епідеміологічна станція МОЗ України «Про стан джерел водопостачання та якість питної води в Україні», Київ – 2002.
3. Гончарук В.В. и др. Обеззараживание природных вод озонированием совместно с УФ-облучением // Химия и технология воды, 2005, т. 27, № 3. С 266 – 282.
4. Гончарук В.В. и др. Разработка эколого-гигиенической классификации качества поверхностных вод Украины – источников централизованного питьевого водоснабжения // Химия и технология воды, 2003, т. 25, № 2. – С. 106 – 128.
5. Водний кодекс України. – Київ, 1995. – 06.06.05. 10. Закон України «Про питну воду та питне водопостачання» від 10.01.02 № 2918-III.
6. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official J. of the European Communities, L 327/1, 22.12.2000/EN.
7. Зеленков І.А. Електротехнологічні опромінювальні установки: Вища школа. – К. 2004 – 101с.
8. Говоров Ф.П. Моделирование параметров и характеристик световых приборов на основе энергосберегающих светодиодных источников света / Ф. П. Говоров, Н. И. Носанов, Т. И. Романова, О. В. Король // Технічна електродинаміка. Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Ч. 2. – Київ: ІЕДНАН України, 2012. – С. 95 – 101.
9. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
10. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
11. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
12. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zippunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
13. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
14. Походило Є.В., Гонсьор О.Й. Формування методичних засад для вибору способу оброблення води, призначеної для споживання людиною, 2006 Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
15. Бухкало С.І., Сериков А.В., Ольховская О.И. и др. Об утилизации полимерных отходов как комплексе инновационных проектов / С.И. Бухкало, А. В. Сериков, О.И. Ольховская и др.// Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ». 2012. – № 10. – с. 160–166.
16. Бухкало С.І., Гардер С.Е., Ольховская О.И. и др. Регулирование эффективности ресурсо- и энергосбережения на комплексных предприятиях по переработке отходов // Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ». 2012. – № 10. – с. 72–80.
17. Бухкало С.І. Ресурсосберегающие технологии использования полимерных отходов. Интегрированные технологии та энергосбережения. Харків. НТУ «ХПІ», 2001, № 2, с. 106–112.
18. Zippunnikov, Mykola; Bukhkalov, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144>. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
19. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhkalov, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66-73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/186442>.
20. Bukhkalov, S. I., Klemes, J. J., Tovazhnyansky, L. L., Arsenyeva, O. P., Kapustenko, P. O., & Perevertaylenko, O. Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
21. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhkalov, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and

calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26.
doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.

References (transliterated)

- Zagal'noderzhavna programa «Pitna voda Ukraïni» na 2006-2020 roki, zatverdzheno Zakonom Ukraïni vid 03.03.2005 r., №2455-IV.
- Central'na sanitarno-epidemiologichna stancija MOZ Ukraïni «Pro stan dzherel vodopostachannja ta jakist' pitnoï vodi v Ukraïni», Kiïv – 2002.
- Goncharuk V.V. i dr. Obezrazhivanie prirodnyh vod ozonirovaniem sovместно s UF-oblucheniem // Himija i tehnologija vody, 2005, t. 27, № 3, pp 266 – 282.
- Goncharuk V.V. i dr. Razrabotka jekologo-gigienicheskoj klassifikacii kachestva poverhnostnyh vod Ukrainy – istochnikov centralizovannogo pit'evogo vodosnabzhenija // Himija i tehnologija vody, 2003, t. 25, № 2, pp. 106 – 128.
- Vodnij kodeks Ukraïni. – Kiïv, 1995. – 06.06.05. 10. Zakon Ukraïni «Pro pitnu vodu ta pitne vodopostachannja» vid 10.01.02 № 2918-III.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official J. of the European Communities, L 327/1, 22.12.2000/EN.
- Zelenko I.A. Elektrotehnologichni oprominjuval'ni ustanovki: Vishha shkola. – K. 2004. – 101p.
- Govorov F.P. Modelirovanie parametrov i charakteristik svetovyh priborov na osnove jenergosberegajushhijh svetodiodnyh istochnikov sveta / F. P. Govorov, N. I. Nosanov, T. I. Romanova, O. V. Korol' // Tehnichna elektrodinamika. Tem. vipusk «Silova elektronika ta energoefektivnist». Ch. 2. – Kiïv: IEDNAN Ukraïni, 2012, pp. 95–101.
- Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noï tehnologii kompleksnih kursovyh proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Ć.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 217.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
- Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noï vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
- Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2019. № 15(1340), pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
- Bukhhalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017): Ch. III, – p. 14.
- Pohodilo Ć.V., Gons'or O.J. Formuvannja metodichnih zasad dlja viboru sposobu obroblennja vodi, priznachenoï dlja spozhivannja ljudinoju, 2006. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
- Bukhhalo S.I., Serikov A.V., Ol'hovskaja O.I. i dr. Ob utilizacii polimernyh othodov kak kom-plekse innovacionnyh proektiv. Visnik NTU «KhPI». 2012. № 10, pp. 160–166.
- Bukhhalo S.I., Garder S.E., Ol'hovskaja O.I. i dr. Regulirovanie jeffektivnosti resurso- i jenergosberezhenija na kompleksnyh predprijatijah po pererabotke othodov // Visnik NTU «KhPI». 2012. № 10, pp 72–80.
- Bukhhalo S.I. Resursosberegajushhie tehnologii ispol'zovanija polimernyh othodov. Integrovani tehnologii ta energosberezhenija. Kh.: NTU «KhPI», 2001, № 2, pp. 106–112.
- Zipunnikov Mykola; Bukhhalo Svetlana; Kotenko Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2>, pp. 138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
- Bilous O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/186442>.
- Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., & Perevertaylenko O.Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
- Bilous O., Demidov I., Bukhhalo S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

Говоров Пилип Парамонович (Govorov Philip Paramonovich, Novorov Pylyp Paramonovich) – доктор технічних наук, професор кафедри, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0379-1448>; e-mail: philip.govorov@gmail.com

Кіндінова Анастасія Костянтинівна (Kindinova Anastasiya Konstantinovna, Kindinova Anastasiia Kostyantynivna) – магістерка, Харківський Національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2575-0767>; e-mail: kindinova.anastasiia@gmail.com

Говорова Катерина Владленівна (Govorova Kateryna Vladlenivna, Novorova Kateryna Vladlenivna) – аспірантка Харківського Національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, молодший науковий співробітник ННЦ «Інститут метрології», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0893-8605>; e-mail: english.beatles2015@gmail.com

О. В. КУСТУРОВА, О. А. ЖУГАН, А. В. ПЕЧЕНИЖСЬКА, Д. В. МОЦАРЬ, М. О. СУГРОБОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАЛІЮ ХЛОРИСТОГО НА РЕОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ БЕНТОНІТУ

Розглянуто зміни реологічної активності бентонітової глини, які впливають на стійкість стовбура свердловин при бурінні в Мезозойських відкладах ДДз. Експериментально показано, що зміни реологічної активності глини впливають на стабільність бурового розчину. Всесвітня практика встановила високі вимоги до технологічних рідин для буріння, та обмежила використання бентоніту. Зниження концентрації бентоніту для поліпшення якості буріння, на думку авторів, негативно впливає на стійкість стінок свердловин складених теригенними відкладами Мезозою. Сучасні процеси спорудження та експлуатації свердловин в Україні відбуваються не тільки в складних гірничо-геологічних умовах, але і в часи складної економічної кризи. Дані умови сприяють розвитку науково-дослідних робіт для мінімізації витрат на приготування технологічних рідин на основі вітчизняної сировини. Технологічні рідини для буріння свердловин не повинні забруднювати навколишнє середовище і продуктивні горизонти.

Ключові слова: пласт, глина, реологія, мінералізація.

Е. В. КУСТУРОВА, О. А. ЖУГАН, А. В. ПЕЧЕНЕЖСКАЯ, Д. В. МОЦАРЬ, М. О. СУГРОБОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАЛІЮ ХЛОРИСТОГО НА РЕОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ БЕНТОНІТУ

Рассмотрены изменения реологических активности бентонитовой глины, которые влияют на устойчивость ствола скважин при бурении в Мезозойских отложениях ДДв. Экспериментально показано, что изменения реологической активности глины влияют на стабильность бурового раствора. Мировая практика установила высокие требования к технологическим жидкостям для бурения скважин и ограничила использование бентонита. Снижение концентрации бентонита по мнению авторов, негативно влияет на устойчивость стенки скважины. Сооружение и эксплуатация скважин в Украине происходит не только в сложных горно-геологических условиях, но и во время тяжелой экономической ситуации. Данная ситуация способствует развитию научно-исследовательских работ для минимизации затрат на приготовление технологических жидкостей на основе отечественных реагентов. Технологические жидкости на основе синергетических смесей для бурения скважин не должны загрязнять окружающую среду продуктивные горизонты.

Ключевые слова: пласт, глина, реологія, мінералізація.

O. V. KUSTUROVA, O. A. ZHUGAN, A. V. PECHENIZHSKA, D. V. MOT SAR, M. O. SUHROBOV

RESEARCH INFLUENCE OF POTASIU M CLORIDE ON BENTONITE AKTIVITY

Changes in the rheological activity of bentonite clay, which affects the stability of the wellbore during drilling in the Mesozoic deposits DDh, are considered. It has been experimentally shown that changes in the rheological activity of clay affect the stability of the drilling fluid. World practice has set high requirements for process fluids for drilling wells and has limited the use of bentonite. The decrease in the concentration of bentonite, according to the authors, negatively affects the stability of the well wall. Well construction and operation in Ukraine takes place not only in difficult mining and geological conditions, but also during a difficult economic situation. This situation contributes to the development of research work to minimize the cost of preparing process fluids based on domestic reagents. Process fluids based on synergistic mixtures for drilling wells should not pollute the environment productive horizons.

Keywords: stratum, clay, rheology, mineralization.

Вступ. При бурінні свердловин на нафту і газ в Мезозойських відкладах ДДз, в інтервалі встановлення проміжних колон, останнім часом практикують застосовувати бурові розчини з мінералізацією до $50 \text{ кг/м}^3 \text{ NaCl}$ або KCl . Крім того, для економії хімічних реагентів, додавання солей можливе після проходження покладів Крейди. Отже, при проходженні прісних Юрських відкладів, складених глинами, зазвичай ускладнень не відбувається, але при входженні у Тріас при зменшенні швидкості буріння та підвищенні пластової температури до $50 \text{ }^\circ\text{C}$, набухання глин у привибійній зоні спричиняє ускладнення у вигляді звуження стовбура свердловини, що потребує додаткових проробок і підвищує ймовірність таких ускладнень як: затяжки та прихоплення бурового інструменту.

Аналіз літератури. Глина бентонітова – сипуча різнокольорова (в залежності від домішок) речовина з густиною $2400\text{--}2600 \text{ кг/м}^3$ (насіпна густина $750\text{--}900 \text{ кг/м}^3$). При надходженні води в глину, тверда речовина збільшується в об'ємі. Якщо концентрацію води збільшувати, то утворюється стабільна реологічно-активна суспензія. Такі властивості глини пояснюються особливостями в будові монтморилоніту який складає основу глини. Структура молекули монтморилоніту має розвинені поверхні оксидів алюмінію та кремнію (Al_2O_3 – 39 % мас. та SiO_2 – 47 % мас.), за рахунок рухливості цих шарів, молекула монтморилоніту має адсорбційну здатність і як наслідок гідроізоляційну властивість.

© О. В. Кустурова, О. А. Жуган, А. В. Печенижська, Д. В. Моцарь, М. О. Сугробов, 2020

Проблема роботи вирішується за рахунок дослідження реологічної активності бентонітової суспензії, яка впливає на забезпечення успішного проведення технологічних операцій і якість будівництва свердловин.

Монтморилоніт у складі породи має велику пористість, але низьку проникність. На границі розділу фаз «глина – фільтрат бурового розчину» відбувається адсорбційний процес, який прискорюється при підвищенні температури, що і спостерігається при бурінні.

В даній роботі досліджено вплив солей на реологічні показники бентонітової суспензії, як моделі взаємодії глинистих відкладів з фільтратом бурового розчину.

Методика проведення експерименту. Для експериментальних досліджень застосовували зразок бентонітової глини та досліджували його фізико-хімічні показники. Визначення виходу глинистого розчину з глинопорошку проводили згідно ГОСТ 25796.1-83 за допомогою віскозиметру ВСН-3. Це дослідження можна проводити за умови, що волога глини не перевищує 10 %, мас.

Визначення вмісту вологи зразка бентонітової глини проводили за допомогою сушильної шафи наступним чином: у фарфорові бюкси зважили наважки по 5 г бентоніту з точністю 0,0001 г та сушили впродовж 4 годин при температурі 105 °С. Перед зважуванням зразки охолоджували в ексикаторі протягом 30 хв. Середній показник вологи визначений між двома наважками склав 9,70 %, мас. та різниця між показниками не перевищила 0,02 % мас. Підготували декілька наважок бентонітової глини 20, 25, 34, 52, 86 г, які відповідають виходу глинистого розчину 20; 16; 11,8; 7,7; 4,7 м³/т з

точністю 0,1 г, та повільно додавали при перемішуванні протягом 15 хв в 400 мл дистильованої води. Розчини герметизували і витримували не менше 16 годин.

Після витримки отримані суспензії перемішували 30 хв, заливали у контейнер приладу і проводили замір кута закручування пружини при 600 об/хв.

Для кожного зразка фіксували при якій концентрації глини кут закручування буде більший 80° (табл. 1 п.4). Для визначення виходу розчину будували лінійну залежність між двома точками де знаходиться кут закручування 80° пружини приладу ВСН-3 при 600 об/хв, це точки №3–4 (11,8–7,7 м³/т з кутами 51–174° відповідно).

Для отримання точного показника в рівняння прямої замість (у) підставляли (80) та знаходили:

$$(x = (80-405)/(-30) = 10,8 \text{ м}^3/\text{т}) \text{ (рис. 1).}$$

Результати експерименту і їх обговорення. Відомо [1], що солі застосовуються в буровому розчині як інгібітори набухання глин, натомість мінералізовані розчини підвищують гідратацію глини, що при бурінні спричиняє рух глинистої породи в стовбур свердловини. Отже, для моделювання процесу взаємодії глинистих порід з фільтратом бурового розчину у привибійній зоні стовбуру свердловини в даному дослідженні використана бентонітова суспензія.

Концентрація бентоніту 50 кг/м³. В експерименті в розчин додавали 0,1; 0,5; 1; 5; 10 г/л КСІ та герметизували і витримували 16 годин. Після чого проводили реологічні дослідження на віскозиметрі OFITE 800 (табл. 2) [2].

Таблиця. 1. Визначення виходу глинистих суспензій

Глина бентонітова, г на 400мл Н ₂ O/(кг/м ³)	Вихід розчину, м ³ /т	Кут закручування при 600 об/хв (ВСН-3), град
20/(50)	20	15
25/(62,5)	16	30
34/(85)	11,8	51
52/(130)	7,7	174
86/(215)	4,7	>275

Таблиця. 2. Дослідження бентонітових суспензій

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація КСІ, кг/м ³					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	32	34	41	47	60	43
300	28	30	33	41	45	26
200	24	27	29	37	39	22
100	21	23	24	32	32	18
60	19	21	22	30	28	16
30	16	19	20	26	25	13
6	12	13	14	19	12	6
3	11	12	13	17	9	4

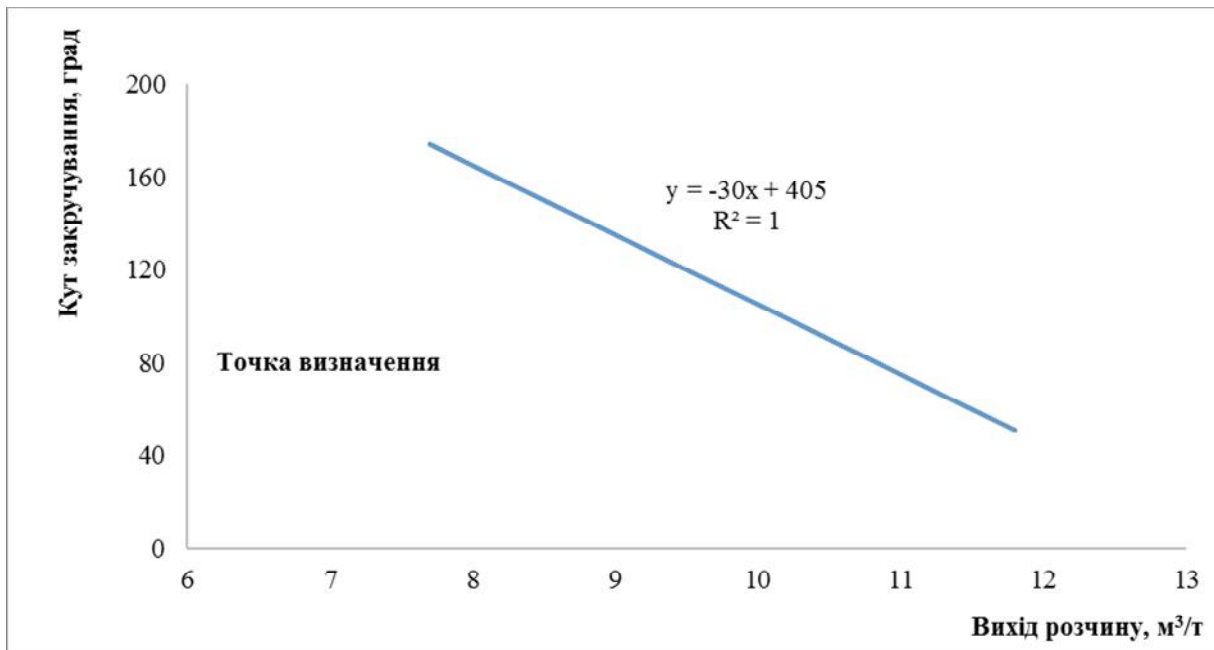


Рис. 1 – Залежність кута закручування від виходу розчину

Збільшення кута закручування відбулось при додаванні КСІ в концентрації 1 кг/м³ в бентонітову суспензію та вихід розчину збільшився до 20 %, але при концентрації КСІ – 5 кг/м³, кут закручування різко знижується до параметрів вихідної глини при швидкості приладу 3 об/хв. Дані дослідження демонструють вплив КСІ на бентоніт при температурі 20 °С. Для моделювання процесу в свердловині, суспензії прогрівали при 50 °С на протязі 4 годин. Після прогрівання глинистих суспензій відбулось зменшення кута закручування при концентрації КСІ 1 кг/м³. Тобто, при збільшенні температури з 20 до 50 °С реологічна активність бентонітової суспензії сягає піку при концентрації КСІ 1 кг/м³ (табл. 2, 3). Крім того, дослідження з NaCl показали (табл. 4, 5), що NaCl різко не збільшує кут закручування при 300–600 об/хв, навіть при підвищенні температури до 50 °С. А також відсутня втрата кута закручування при 3–6 об/хв в порівнянні з КСІ. Отже, при застосуванні в буровому розчині у якості мінералізатору NaCl, глиниста основа прісного пласта буде більш стабільною і прогнозованою, як і буровий розчин, в порівнянні з бентонітовою суспензією обробленою КСІ. Визначено, що взаємодія іонів калію з монтморилонітом призводить

до набухання глинистої складової і при тестуванні на приладі при 600 об/хв фіксується збільшення кута закручування приладу на 45 % (табл.3 при концентрації 5 кг/м³ КСІ в бентонітовій суспензії), а після прогріву, при 3 об/хв відбувається зниження кута закручування приладу на 70 % (табл.3 при концентрації 10 кг/м³ КСІ в бентонітовій суспензії). Збільшення кута закручування приладу яке фіксується при 600 об/хв, на практиці погіршує прокачку бурового розчину та видалення колоїдної фази з бурового розчину. Різке зниження кута закручування при 3 об/хв демонструє нам, що підвищується швидкість переходу глини з пласта в буровий розчин і створюється розуцільнене середовище стовбуру свердловини, що і спостерігається при бурінні свердловин.

Для сповільнення процесу розуцільнення стовбуру свердловини необхідно підвищити непроникуваність глини за рахунок гідрофобізації. Тому, в експерименті, у глинисті суспензії оброблені КСІ додавали 0,01 %, мас. змащувальної домішки на основі маслорозчинних поверхнево-активних речовин (табл. 6, 7). Поверхнево-активні речовини знижують вихідні реологічні показники суспензії бентонітової глини (табл. 6).

Таблиця. 3. Дослідження бентонітових суспензій після прогріву

Швидкість ОФІТЕ об/хв	Концентрація КСІ, кг/м ³					
	0	0,1	0,5	1	5	10
800						
600	30	33	38	44	39	31
300	24	29	32	39	35	24
200	22	26	29	37	32	21
100	18	24	27	34	29	18
60	17	22	23	31	27	16
30	15	20	21	28	25	15
6	11	14	17	21	8	4
3	10	13	15	18	6	3

Таблиця 4. Дослідження бентонітових суспензій

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація NaCl, кг/м ³					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	35	35	36	36	36	40
300	26	26	27	27	28	31
200	23	23	24	24	25	28
100	18	19	19	19	21	24
60	16	17	17	17	19	22
30	14	14	14	15	17	20
6	10	10	10	11	13	15
3	9	9	9	10	11	14

Таблиця 5. Дослідження бентонітових суспензій після прогріву

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація NaCl, кг/м ³					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	37	36	37	37	39	39
300	28	27	28	28	30	30
200	24	24	25	25	27	28
100	19	19	19	19	21	22
60	18	18	18	18	20	21
30	16	16	16	16	18	19
6	11	11	11	11	13	15
3	10	10	10	10	11	13

Таблиця 6. Дослідження бентонітових суспензій з гідрофобізатором

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація KCl, кг/м ³					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	29	29	34	39	65	41
300	21	21	25	30	58	34
200	17	17	22	27	54	29
100	13	13	18	24	48	26
60	11	11	16	23	44	24
30	9	9	15	22	40	22
6	7	8	13	19	34	8
3	3	7	12	18	15	5

Таблиця 7. Дослідження бентонітових суспензій з гідрофобізатором після прогріву

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація KCl, кг/м ³					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	31	31	34	35	56	36
300	24	24	28	30	54	32
200	20	20	24	29	51	29
100	16	17	21	27	43	25
60	14	15	20	26	40	23
30	12	13	19	25	35	21
6	9	10	17	23	11	7
3	8	9	16	22	9	4

При збільшенні іонів калію в бентонітовій суспензії за рахунок додавання KCl в кількості 5 кг/м³ її реологічні показники підвищуються. Тобто, покращується стабільність стовбура свердловини. Майже аналогічні результати з KCl та гідрофобізатором отримали після прогріву (табл. 7). Як видно, різкої зміни реологічної активності бентоніту не відбулось.

Нагадаємо, що після прогрівання глинистих суспензій відбулось збільшення кута закручування приладу при концентрації KCl 1 кг/м³ (табл. 3), а при додаванні гідрофобізатору збільшення значення кута закручування при концентрації KCl 1 кг/м³ нижчі. Тобто, при додаванні гідрофобізатору реологічна активність починає знижуватись при більших концентраціях KCl. Цей факт також вказує на

покращення стабільності стовбура свердловини та системи глинистого бурового розчину.

Отже, необхідно зазначити, що маслорозчинні поверхнево-активні речовини зменшують кут закручування приладу вихідної глини, зменшуючи її реологічну активність на поверхні, що сприяє введенню додаткових хімічних реагентів в буровий розчин. Вуглеводні речовини у невеликих концентраціях сприяють стабільності системи свердловина-розчин. Одним із відомих, широкоживаних в бурінні реагентів такого типу є крохмаль, який виробляється в Україні і є нетоксичними [2–5].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. За результатами лабораторних досліджень можна сказати, що невеликі концентрації солей, які використовують в бурових розчинах при бурінні інтервалів Мезозойських відкладів підвищують реологічну активність глини, що впливає як на стабільність стовбура свердловини, так і на стабільність бурового розчину.

Список літератури

1. Токунов В.И. Технологические жидкости и составы для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин / В.И. Токунов, А.З. Саушин. – М. : Недра, 2004. – 711 с.
2. Поп Г.С. Глушение скважин с предварительным блокированием продуктивных пластов дисперсными системами / Г.С. Поп, А.В. Бачериков. – М. : ВНИИЭгазпром, 1992. – 30 с.
3. Бухкало С.И. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.

4. Товажнянский Л.Л., Кошелева М.К., Бухкало С.И. Общая химическая технология в примерах, задачах, лабораторных работах и тестах: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 447 с.
5. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Buhkalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.

References (transliterated)

1. Tokunov V.I. Tehnologicheskie zhidkosti i sostavi dla povishenia productivnosti neftanih i gazovih skvazhin [Technological fluids and mixes increase yield of oil and gas wells] / V.I. Tokunov, A.Z. Saushin. – Moscow. : Nedra, 2004. – 711 p.
2. Pop G.S. Glushenie skvazhin s predvaritel'nim blokirovaniem productivnih plastov dispersnimi sistemami [Kill wells with defensive productive layers by dispersive fluids] / G. S. Pop, F.V. Bacherikov. – Moscow. : VNIIGazprom, 1992. – 30 p.
3. Bukhhalo S.I. Zahalna tekhnolohiia kharchovoi promyslovosti u prykladakh i zadachakh (testovi zavdannia): Pidruchnyk. – K.: TsNL, 2014. – 412 p.
4. Tovazhnyanskyi L.L., Kosheleva M.K., Bukhhalo S.I. Obshchaia khymicheskaiia tekhnolohiia v prymerakh, zadachakh, laboratornykh rabotakh y testakh: Ucheb. posobyie. – M.: INFRA-M, 2015. – 447 p.
5. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Buhkalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.

Надійшла (received) 20.02.20

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кустурова Олена Валеріївна (Кустурова Елена Валериевна, Kusturova Olena Valerivna) – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: kusturova.elena@ndigas.com.ua

Жуган Оскар Анатолійович (Жуган Оскар Анатольевич, Zhugan Oskar Anatoliovich) – старший науковий співробітник відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: zhugan.oskar@ndigas.com.ua

Печеніжська Аліна Вікторівна (Печенежская Алина Викторовна, Pechenizhska Alina Victorivna) – молодший науковий співробітник відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: pechenezskaya@gmail.com

Моцарь Дмитро Володимирович (Моцарь Дмитрий Владимирович, Motsar Dmytro Volodymyrovych) – провідний інженер відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна; e-mail: dmytro.motsar@ndigas.com.ua

Сугрובов Максим Олегович (Сугрובов Максим Олегович, Suhrovov Maksim Olegovich) – інженер відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: sugrovov.maks@ndigas.com.ua

В. В. ВИСОЧИН, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Є. ДЕНИСОВА, В. О. БУДАРИН

УЗГОДЖЕНІ ПАРАМЕТРИ СЕЗОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ ДЛЯ ГЕЛІОСИСТЕМИ

Досліджено нестационарні процеси теплообміну в геліосистемі з сезонним акумулятором теплоти для періодичної його зарядки в літній період і розрядки в зимовий для різних регіонів України. Проведено чисельні дослідження геліосистеми, що враховують взаємний вплив геліоприймача і сезонного твердотілого акумулятора теплоти з тепловою ізоляцією. Був розглянутий варіант з фіксованими розмірами бака-акумулятора, тому що вибір розмірів зазвичай пов'язаний зі зручністю його розташування в межах заданої ділянки, оскільки при фіксованому об'ємі акумулятора кількість накопиченої енергії визначається тільки його температурою. Ітераційним методом підбиралися умови повного автономного теплопостачання споживача по опалювальному навантаженню. Обґрунтовано можливість підвищення ефективності роботи акумулятора шляхом вибору раціонального його об'єму. Запропоновано метод конструктивного вибору розмірів акумуляторного блоку для різних регіонів. Були отримані залежності температури теплового акумулятора від місяця року, його питомого навантаження від співвідношення об'єму акумулятора та площі сонячних колекторів, а також знайдений аналітичний опис залежності сумарного річного вироблення теплоти в геліосистемі від ефективності сонячного колектора в нормалізованому вигляді. Розраховано річне теплове вироблення геліосистеми, представлене в нормалізованому вигляді щодо навантаження в кінці опалювального сезону, від комплексу параметрів, що визначають конструктивні характеристики геліоколекторів.

Ключові слова: сезонний акумулятор теплоти, геліосистема, аналітичний опис.

В. В. ВИСОЧИН, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Е. ДЕНИСОВА, В. А. БУДАРИН

СОГЛАСОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЗОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ГЕЛИОСИСТЕМЫ

Исследованы нестационарные процессы теплообмена в гелиосистеме с сезонным аккумулятором теплоты для периодической зарядки аккумулятора в летний период и разрядки в зимний для разных регионов Украины. Проведены численные исследования гелиосистемы, учитывающие взаимное влияние гелиоприемника и сезонного твердотельного аккумулятора теплоты с тепловой изоляцией. Был рассмотрен вариант с фиксированными размерами бака-аккумулятора, так как выбор размеров обычно связан с удобством его расположения в пределах заданного участка, поскольку при фиксированном объеме аккумулятора количество накопленной энергии определяется только его температурой. Итерационным методом подбирались условия полного автономного теплоснабжения потребителя по отопительной нагрузке. Обоснована возможность повышения эффективности работы аккумулятора путем выбора рационального его объема. Предложен метод конструктивного выбора размеров аккумуляторного блока для разных регионов. Были получены зависимости температуры теплового аккумулятора от месяца года, его удельной нагрузки от соотношения объема аккумулятора и площади солнечных коллекторов, а также найдено аналитическое описание зависимости суммарной годовой выработки теплоты в гелиосистеме от эффективности солнечного коллектора в нормализованном виде. Рассчитана летняя тепловая выработка гелиосистемы, представленная в нормализованном виде по нагрузке в конце отопительного сезона, от комплекса параметров, определяющих конструктивные характеристики гелиоколлекторов.

Ключевые слова: сезонный аккумулятор теплоты, гелиосистема, аналитическое описание.

V. V. WYSOCHIN, V. R. NIKULSHIN, A. E. DENYSOVA, V. O. BUDARIN

RATIONAL PARAMETERS OF SEASONAL HEAT ACCUMULATORS FOR HELIOS SYSTEM

Non-stationary processes of heat exchange in a solar system with a seasonal heat accumulator for periodic charging of the battery in the summer and discharging in the winter for different regions of Ukraine are investigated. Numerical studies of the solar system have been carried out, taking into account the mutual influence of the solar collector and the seasonal solid-state heat accumulator with thermal insulation. A fixed size of battery tank was considered, because the choice of sizes is usually related to the constraints of its location within a given area, so in the fixed volume of the accumulator the amount of stored energy is determined only by its temperature. Was developed the iterative selection method of the conditions for completely autonomous heat supply of consumer under the heating load. The possibility of increasing the efficiency of the accumulator by choosing its rational volume is justified. The method of the size selection for accumulator block for different regions of Ukraine is proposed. Was obtained the function of the heat accumulator temperature from the month of the year, its specific load from the ratio of the volume of accumulator to the area of the solar collectors, as well as an analytical description of the total annual heat production in the solar system dependence on the efficiency of the solar collector in the normalized form. The annual heat production of the solar system, represented in the normalized form to the load at the end of the heating season, from the parameters of the solar collectors is calculated.

Keywords: seasonal heat accumulator, solar system, analytic description.

Вступ. Завданням енергозбереження та розробки енергоефективних технологій приділяється значна увага як з точки зору вже досягнутих результатів, так і в планованих розробках на майбутнє [1, с.27].

При цьому розглядаються можливості вдосконалення систем, що використовують як поновлювані, так і традиційні джерела енергії [2, с.29].

© В.В. Височин, В.Р. Нікульшин, А.Є. Денисова, В.О. Бударин, 2020

Аналіз стану питання.

Акумулявання та інші засоби регенерації теплоти, як відомо, дозволяють суттєво знижувати витрати первинних енергоресурсів, що забезпечує їх широке застосування у різних галузях виробництва. Такі засоби використовувалися для підвищення ефективності систем:

- опалення будівель [3, с.247; 4, с. 55; 5, с.356], централізованого опалення [6, с.487]
- виробництва теплоти на ТЕЦ та у інших варіантах мультигенерації [7, с. 243; 8, с. 581; 9, с. 295; 10, с. 302]
- використання сонячної енергії [11, с.151; 12, с.132; 13, с.23; 17, с.206; 18, с.152],
- теплонасосних [14, с.517; 15, с.491] та геотермальних [16, с.630].

Нижче розглянуті системи сонячного опалення, які відрізняються суттєвою невідповідністю між сезонною пропозицією і попитом енергії. Тому для них вкрай актуальні пристрої для акумулявання енергії. Існує велика кількість позитивних прикладів роботи геліосистем з сезонними акумуляторами теплоти (САТ). Вони відрізняються конструкцією і видом акумуляуючої речовини.

В даний час відсутні надійні рекомендації з вибору раціональних параметрів і режимів роботи комплексів геліосистема – сезонний моноблочний акумулятор.

Як відомо, по виду акумуляуючої речовини (насадки) САТ поділяються на рідинні (водні) і твердотільні. Рідинні, в основному водяні, сезонні акумулятори геліосистем для односімейних котеджів, досить незручні, бо необхідно обслуговування і існує небезпека прориву великої маси води.

Альтернативою є твердотільний акумулятор, яким може служити монолітний бетонний блок з вбудованим теплообмінником. Система повністю безпечна, не вимагає обслуговування і нескладна при будівництві.

Такі САТ найбільш затребувані для невеликих будинків котеджів, для яких прийнятним є блоки обсягом 30..80 м³. Подібні акумулятори впроваджуються в практику, однак їхня робота не вивчена в належній мірі, що не дозволяє коректно проектувати повністю автономні геліосистеми, які не потребують дублюючих джерел теплоти.

Сезонні акумулятори теплоти без теплової ізоляції не ефективні, бо має місце значна втрата енергії.

Тому існує необхідність в розробці методу дослідження роботи сезонних акумуляторів з бетонної насадкою і тепловою ізоляцією.

Суттєвими є фактори взаємовпливу геліоприймача і сезонного твердотільного акумулятора теплоти з тепловою ізоляцією в повністю автономній режимі роботи системи теплопостачання.

Для практичних цілей важливо встановлення високого ступеня достовірних режимних параметрів, що потребує розв'язання таких задач із застосуванням математичних моделей високої точності.

Мета.

Знаходження раціональних параметрів твердотільного сезонного акумулятора теплоти, узгоджених з характеристиками геліоколекторів.

Методи дослідження.

Розроблена математична модель для дослідження описує двоконтурну геліосистему (рис. 1) з водяним баком-акумулятором (БА) добового циклу роботи і сезонним бетонним акумулятором, який включений в другий контур геліосистеми з водяним теплоносієм.

Розглядаються нестационарні умови роботи геліосистеми - з визначенням миттєвої теплової продуктивності і температури теплоносіїв на протязі заданих діб.

Завдання вирішувалося з урахуванням процесів поглинання променевої енергії в сонячному колекторі (СК) і перенесення теплоти в добовому БА і блоці САТ з вбудованим теплообмінником.

Для математичної моделі розроблено зручний для реалізації в комп'ютерній програмі розрахунковий метод визначення кліматичних умов роботи сонячного колектора.

Поверхня нагрівача САТ має вигляд трубчастого теплообмінника, який закладений в бетон.

Для цього теплообмінника використано рівняння теплового балансу в нестационарному тепловому режимі, що описує зміну температури теплоносія вздовж потоку.

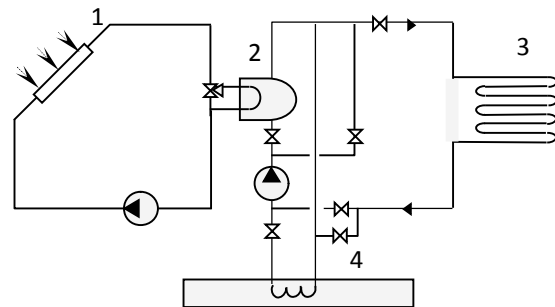


Рис. 1 – Розрахункова схема геліосистеми:

1 – сонячні колектори; 2 – добовий акумулятор теплоти БА; 3 – споживач; 4 – сезонний акумулятор теплоти САТ.

Рівняння збереження енергії в нестационарному режимі нагріву бетону САТ приймалося в припущенні рівномірного поля миттєвої температури в об'ємі, що допустимо за умови якісного контакту поверхні теплообмінника та бетону. Система диференціальних рівнянь нестационарного теплообміну розв'язувалась чисельно.

Математична модель дозволяє досліджувати процеси нестационарного перетворення енергії в геліосистемі з САТ при різних крайових умовах.

Доцільність сезонного акумулятора теплоти визначається його здатністю накопичувати і зберігати тривалий час необхідну кількість енергії.

Дослідження таких властивостей акумулятора можна проводити при фіксованих розмірах пристрою або при змінних. Був розглянутий варіант з фіксованими розмірами, тому що вибір розмірів зазвичай пов'язаний зі зручністю розташування САТ в межах заданої ділянки. При фіксованому об'ємі акумулятора кількість накопиченої енергії визначається тільки його температурою. Обсяг акумуляуючої речовини прийнятий рівним 75 м^3 .

Для акумуляуючих систем суттєвими є тривалість періодів накопичення теплоти при роботі геліосистеми в літній сезон і здатність утримання її без суттєвих втрат в зимовий сезон.

Акумуляуюча здатність пристрою із заданим типом насадки залежить від якості теплової ізоляції огорож. Саме наявність теплової ізоляції відрізняє розглянутий тип САТ від ґрунтових акумуляторів.

Результати досліджень. Варіантний аналіз показав, що для сучасних теплоізоляційних матеріалів раціональним є пінопласт, стирольна або пропіленова ізоляція товщиною $0,4 \dots 0,5 \text{ м}$. Така ізоляція дозволяє витримувати необхідний рівень температури насадки протягом усього циклу. Зарядка при цьому може здійснюватися як в неопалювальний період, так і взимку - при наявності достатньої інсоляції, що сприяє забезпеченню заданого температурного рівня нагріву теплоносія.

Показники акумулятора щодо досягнення відповідного температурного рівня та його підтримка в певному часовому інтервалі зв'язані з потужністю геліосистеми.

Тому для досягнення необхідних умов експлуатації геліосистеми її потужність повинна бути узгоджена з характеристиками акумулятора.

При аналізі розглядалася зміна температури в САТ без відбору теплоти протягом усього року для СК з різними характеристиками і рівною площею поверхні.

Розглядалися режими, умовою яких було досягнення повторюваного циклу зарядки-розрядки, коли температура розрядки (мінімальна в циклі) ставала рівною температурі початку активної фази зарядки САТ.

Не конкретизуючи конструкції СК, можна характеризувати їх основними показниками, що впливають на теплову продуктивність системи - оптичний ($\tau\alpha$) та коефіцієнт втрат теплоти (U).

Дані отримані для різної теплової продуктивності геліосистеми, що досягалося зміною параметра $U/\tau\alpha$ в діапазоні величин $(0,6 \dots 9,6) \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Показано, що зростанню температури в САТ сприяє зниженню параметра $U/\tau\alpha$. При значеннях

$U/\tau\alpha$ в діапазоні близьких до $0,6 \dots 1,0$ можна досягнути максимальної температури в циклі - $(70 \dots 80)^\circ\text{C}$.

Наявність навантаження опалення змінює річний хід температури САТ (рис. 2).

На графіку представлені дані для одного типу СК ($U/\tau\alpha = 0,6$) з різною активною поверхнею (A) та при змінному розрахунковому навантаженні опалення (Q_0^p), що знайдене при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для систем опалення.

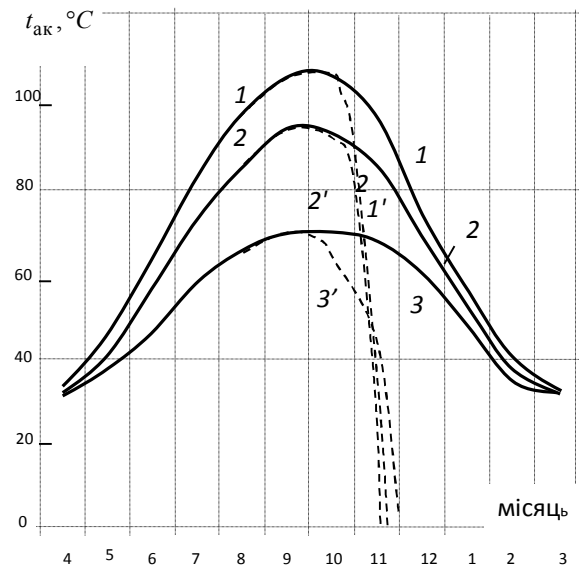


Рис. 2 – Залежність температури теплового акумулятора від місяця року, питомого навантаження опалення і відносини V/A .

Два останніх параметра об'єднані в єдиний комплекс – питоме навантаження опалення Q_0^p/A . Параметром представленої залежності також є відношення об'єму САТ до площі сонячних колекторів V/A .

Відповідно при $U/\tau\alpha = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$:

$$1(1') - \frac{V}{A} = 7 \text{ м}; \quad 2(2') - \frac{V}{A} = 8,65 \text{ м};$$

$$3(3') - \frac{V}{A} = 16,3 \text{ м}.$$

Розрахункове навантаження опалення, віднесене до площі СК, Q_0^p/A , $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{міс})$: 1 – 170; 2 – 130; 3 – 50; 1', 2', 3' – 1200.

При великому питомому навантаженні опалення $Q_0^p/A = 460 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ефективність акумулятора, як пристрою для забезпечення автономності, низька.

Запасу теплоти ледь вистачає на один місяць опалення (лінії 1', 2', 3'). Зниження питомого

навантаження збільшує тривалість автономного робочого ходу акумулятора, температурний режим роботи САТ наближається до показників, при яких може бути повністю забезпечена навантаження опалення.

Відповідно, можна говорити про зростання ефективності акумулятора в геліосистемі.

Температурні криві складаються з двох частин. Перша з них, що відповідає зарядці акумулятора в літній сезон, є однаковою для будь-яких навантажень, але залежить від теплової продуктивності системи (в даному випадку від площі поверхні сонячних колекторів).

Друга частина, відповідно до зимового сезону, тобто періоду розрядки акумулятора, залежить і від теплової продуктивності системи, і від навантаження опалення.

На рис. 3 показана залежність сумарної річної виробленої теплоти геліосистеми, яка представлена в нормалізованому вигляді щодо теплового навантаження в кінці опалювального сезону ($Q_{0,IV}^{сут}$), і комплексу параметрів, які визначають конструктивні характеристики сонячних колекторів ($U/\tau\alpha$).

Ця залежність має зростаючий характер при зниженні ефективності СК (при збільшенні $U/\tau\alpha$). Її можна апроксимувати наступним виразом

$$\left(\frac{Q_{гс}}{Q_{0,IV}^{сут}}\right)_{\Sigma}^I = 8,36(U/\tau\alpha)^2 - 32,53(U/\tau\alpha) + 278,64$$

Отриманий вираз дозволяє визначити загальну вироблену теплоту геліосистемою поза опалювального періоду.

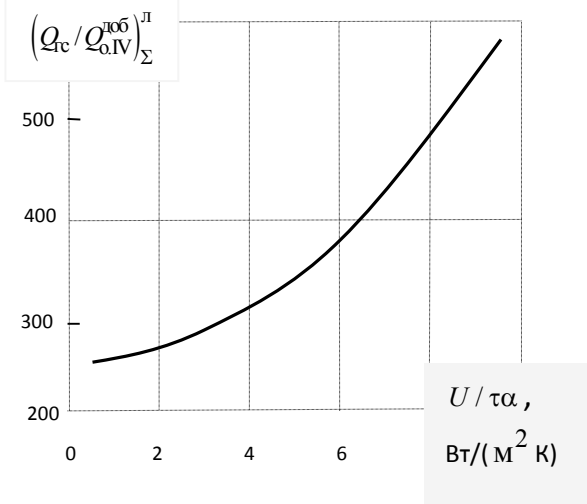


Рис. 3 – Залежність сумарного річного вироблення теплоти геліосистеми від ефективності СК в нормалізованому вигляді.

Запропонований підхід дозволяє визначити співвідношення об'єму сезонного акумулятора і площі СК V/A , необхідного для повного задоволення теплового навантаження опалення в заданому температурному діапазоні.

Для цієї мети можна використовувати залежність, представлену на рис. 4 в координатах: $(V/A)_{\text{опт}} - (Q_0^p/A)$.

При побудові залежності був обраний температурний режим роботи акумулятора теплоти, який відповідає параметрам теплоносія для підлогового опалення («тепла підлога»).

Для таких умов мінімальна температура акумулятора прийнята рівною 35 °С.

У цьому випадку співвідношення розмірів акумулятора та СК, якщо вони забезпечать задане теплове навантаження протягом всього опалювального сезону без залучення дублюючого джерела теплоти, можна назвати оптимальним $(V/A)_{\text{опт}}$. Зі зростанням розрахункового теплового навантаження (Q_0^p/A) співвідношення $(V/A)_{\text{опт}}$ зменшується. Залежність нелінійна — зростання (Q_0^p/A) призводить до зниження темпу зміни $(V/A)_{\text{опт}}$.

На розглянуту залежність істотний вплив також має конструкція СК. З ростом комплексу $U/\tau\alpha$ питома характеристика САТ $(V/A)_{\text{опт}}$ знижується. Можна відзначити залежність конструктивного параметра геліосистеми $(V/A)_{\text{опт}}$ від широти місцевості φ , її характер – зростаючий.

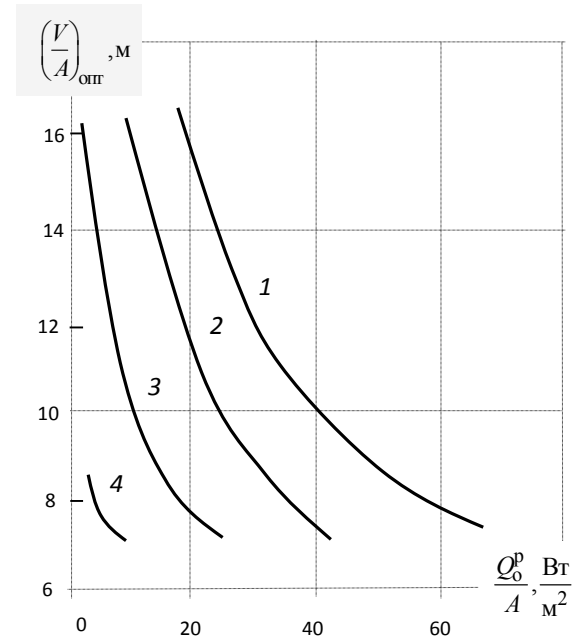


Рис. 4 – Залежність оптимального співвідношення об'єму теплового акумулятора і площі СК (V/A) від розрахункового навантаження опалення.

Відповідно до значень $U/\tau\alpha$, Вт/(м²К): 1– 0,6; 2 – 3,0; 3 – 6,0; 4 – 9,6.

Для опису отриманих даних пропонується наступне співвідношення

$$\left(\frac{V}{A}\right)_{\text{опт}} = \frac{68,84 \cdot \varphi}{(4,9 + U/\tau\alpha) \left[Q_0^p / A - 550 / (U/\tau\alpha - 38) \right]}$$

Це співвідношення визначено з похибкою апроксимації розрахункових даних не більше 5% в таких інтервалах: широта місцевості $\varphi = (44...52)$ градусів;

$$\frac{Q_0^p}{A} = (0,4...0,65) \text{ Вт/м}^2; \quad \frac{U}{(\tau\alpha)} = (0,6...9,6) \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Отримані результати показують можливість використання такого акумулятора теплоти для цілорічної автономної експлуатації системи тепlopостачання, а також дають змогу конструктивного вибору розмірів акумуляторного блоку для різних регіонів.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

1. Проведено чисельні дослідження геліосистеми, що враховують взаємний вплив геліоприймача і сезонного твердотілого акумулятора теплоти з тепловою ізоляцією.

2. Отримані результати показують можливість використання такого акумулятора теплоти для цілорічної автономної експлуатації системи тепlopостачання.

3. Визначено залежність для визначення річної теплової вироблення геліосистеми, представлені в нормалізованому вигляді щодо навантаження в кінці опалювального сезону, від комплексу параметрів, що визначають конструктивні характеристики геліоколекторів.

4. Запропоновано метод конструктивного вибору розмірів акумуляторного блоку для різних регіонів.

Список використаних джерел

1. Салько А. Энергосбережение и энергоэффективность в Украине. Достижения и планы // *Электрик*. 2018. № 11–12. С. 26–28.
2. Білодід В. Д. Прогнозна структура тепlopозабезпечення України на період до 2040 року // *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 1 (44). С. 24–33.
3. Hakan Caliskan. Energy, exergy, thermoeconomic and sustainability analyses of a building heating system with a combi-boiler. / Hakan Caliskan. // *Int. J. of Exergy*, 2014 – Vol. 14, №2, pp. 244–273
4. Dshko V.I. Building heat source choice using exergoeconomic approach. /Deshko V.I.,Buyak N.A.//*Energy, energy saving and rational nature use*, №4,2017, pp.50–60.
5. Roozbeh Sangi. Thermoeconomic analysis of a building heating system./ Roozbeh Sangi, Paula Martínez Martín, Dirk Müller // *Energy*, Vol. 111, 2016, pp. 351–363.
6. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps./ Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt.

// *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489–496.

7. Yannay Casas Ledón. Exergoeconomic valuation of a waste-based integrated combined cycle (WICC) for heat and power production. // Yannay Casas Ledón, Patricia González, Scarlett Concha, Claudio A. Zaror, Luis E. Arteaga-Pérez *Energy*, Vol. 114, 2016, pp. 239–252.
8. Konstantinos Braimakis. Integrated thermoeconomic optimization of standard and regenerative ORC for different heat source types and capacities. / Konstantinos Braimakis, Sotirios Karellas.// *Energy*, Vol. 121, 2017, pp. 570–598.
9. F. Calise. PiacentiN. Exergetic and exergoeconomic analysis of a renewable polygeneration system and viability study for small isolated communities. / F. Calise, M. Denticce d'Accadia, A. PiacentiN. // *Energy*, Vol. 92, Part 3, 2015, pp. 290–307.
10. Stéphane Gourmelon. A systematic approach: combining process optimisation exergy analysis and energy recovery for a better efficiency of industrial processes. /Stéphane Gourmelon, Raphaële Théry-Hétreux, Pascal Floquet. // *Int. J. of Exergy* 2017 – Vol. 23, №4, pp. 298– 329
11. Han-Hui Zhu. Thermodynamic analysis and comparison for different direct-heated supercritical CO2 Brayton cycles integrated into a solar thermal power tower system. / Han-Hui Zhu, Kun Wang, Ya-Ling He. // *Energy*, Vol. 140, Part 1, 2017, pp. 144–157.
12. K.R. Ranjan. Energy and exergy analyses of solar ponds in the Indian climatic conditions. /K.R. Ranjan, S.C. Kaushik, N.L. Panwar. // *Int. J. of Exergy*, 2014, – Vol. 15, №.2, pp. 121–151.
13. Mingjiang Ni. Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle combined with fuel reforming for solar thermal power generation./ Mingjiang Ni, Tianfeng Yang, Gang Xiao, Dong Ni, Kefa Cen. // *Energy*, Vol. 137, 2017, pp. 20– 30.
14. Ugur Akbulut. Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system. / Ugur Akbulut, Zafer Utlu, Olcay Kincay. // *Energy*, Vol. 107, 2016, pp. 502–522.
15. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps./ Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt. // *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489– 496.
16. Ehsan Akrami. Energetic and exergoeconomic assessment of a multi-generation energy system based on indirect use of geothermal energy. / Ehsan Akrami, Ata Chitsaz, Hossein Nami. // *Energy*, Vol. 124, 2017, pp. 625–639.
17. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Денисова А.С. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2016. – 470 с.
18. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.

References

1. Sal'ko A. Jenergosberezhennie i jenergojeffektivnost' v Ukraine. Dostizhenija i plany [Energy saving and energy efficiency in Ukraine. Achievements and plans]. *Jelektrik*. 2018, no. 11–12, pp. 26–28.
2. Bilodid V. D. Prognozna struktura teplopозабезпечennja Ukraïny na period do 2040 roku [Estimated structure of

- heat supply in Ukraine until 2040]. *Problemy zagal'noi' energetyky*. 2016, no. 1 (44), pp. 24–33.
3. Hakan Caliskan. Energy, exergy, thermoeconomic and sustainability analyses of a building heating system with a combi-boiler. / Hakan Caliskan. // *Int. J. of Exergy*, 2014 – Vol. 14, N.2. pp. 244–273.
 4. Deshko V. I. Building heat source choice using exergoeconomic approach. /Deshko V.I.,Buyak N.A.//*Energy, energy saving and rational nature use*,N.4,2017, pp.50–60.
 5. Roozbeh Sangi. Thermoeconomic analysis of a building heating system./ Roozbeh Sangi, Paula Martínez Martín, Dirk Müller // *Energy*, Vol. 111, 2016, pp. 351–363.
 6. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps./ Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt. // *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489–496.
 7. Yannay Casas Ledón. Exergoeconomic valuation of a waste-based integrated combined cycle (WICC) for heat and power production. // Yannay Casas Ledón, Patricia González, Scarlett Concha, Claudio A. Zaror, Luis E. Arteaga-Pérez *Energy*, Vol. 114, 2016, pp. 239–252.
 8. Konstantinos Braimakis. Integrated thermoeconomic optimization of standard and regenerative ORC for different heat source types and capacities. / Konstantinos Braimakis, Sotirios Karellas.// *Energy*, Vol. 121, 2017, pp. 570–598.
 9. F. Calise. PiacentiN. Exergetic and exergoeconomic analysis of a renewable polygeneration system and viability study for small isolated communities. / F. Calise, M. Dentice d'Accadia, A. PiacentiN. // *Energy*, Vol. 92, Part 3, 2015, pp. 290–307.
 10. Stéphane Gourmelon. A systematic approach: combining process optimisation exergy analysis and energy recovery for a better efficiency of industrial processes. /Stéphane Gourmelon, Raphaële Théry-Hétreux, Pascal Floquet. // *Int. J. of Exergy* 2017 – Vol. 23, N.4, pp. 298– 329
 11. Han-Hui Zhu. Thermodynamic analysis and comparison for different direct-heated supercritical CO₂ Brayton cycles integrated into a solar thermal power tower system. / Han-Hui Zhu, Kun Wang, Ya-Ling He. // *Energy*, Vol. 140, Part 1, 2017, pp. 144–157.
 12. K.R. Ranjan. Energy and exergy analyses of solar ponds in the Indian climatic conditions. /K.R. Ranjan, S.C. Kaushik, N.L. Panwar. // *Int. J. of Exergy*, 2014, – Vol. 15, N.2 pp. 121– 151.
 13. Mingjiang Ni. Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle combined with fuel reforming for solar thermal power generation./ Mingjiang Ni, Tianfeng Yang, Gang Xiao, Dong Ni, Kefa Cen. // *Energy*, Vol. 137, 2017, pp. 20– 30.
 14. Ugur Akbulut. Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system. / Ugur Akbulut, Zafer Utlu, Olcay Kincaş. // *Energy*, Vol. 107, 2016, pp. 502–522.
 15. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps./ Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt. // *Energy*, Vol. 88, 2015, pp. 489– 496.
 16. Ehsan Akrami. Energetic and exergoeconomic assessment of a multi-generation energy system based on indirect use of geothermal energy. / Ehsan Akrami, Ata Chitsaz, Hossein Nami. // *Energy*, Vol. 124, 2017, pp. 625–639.
 17. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Denisowa A.E. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2016. – 470 p.*
 18. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoï promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.*

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Височин Віктор Васильович (Высочин Виктор Васильевич, Wysochin Viktor Vasylovych) – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна;

ORCID <http://orcid.org/0000-0003-2279-203X>; e-mail: vwwin.od@gmail.com

Нікульшин Володимир Русланович (Никольшин Владимир Русланович, Nikulshin Volodymyr Ruslanovych) – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики; м. Одеса, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5946-8562>; e-mail: vnikul@paco.net

Денисова Алла Євсївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsiivna) – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, директор Українсько-польського інституту; м. Одеса, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3906-3960>; e-mail: alladenysova@gmail.com.

Бударін Віталій Олександрович (Бударин Виталий Александрович, Budarin Vitalii Oleksandrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна;

ORCID <http://orcid.org/0000-0003-4841-2189>; e-mail: vwwin.od@gmail.com

С. І. БУХКАЛО, С. П. ІГЛІН, О. І. ОЛЬХОВСЬКА, В. О. ОЛЬХОВСЬКА

ПРИКЛАД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ ДІЇ РЕАКТОРІВ ЯК СИСТЕМИ

У матеріалах статті розглянуті можливості для визначення загальної технології експериментальних прикладів дії реакторів ідеального змішування з метою підвищення ефективності їх роботи у хімічній та харчовій промисловості, а також у біотехнологічних системах. Дослідження проведені на сучасному рівні науково-обґрунтованого математичного викладення та програм розрахунків 1) різновидів технології та їх закономірностей з урахуванням специфічних особливостей стадій теплообміну; 2) на різних стадіях проектування і обґрунтування моделей устаткування. Представлені приклади і деякі особливості можливих рішень, які засновані на експериментальних даних розробки хімічних процесів і їх наукового обґрунтування у вигляді об'єктів технології.

Ключові слова: реактор ідеального змішування; ефективність роботи; науково-обґрунтовані методи.

С. И. БУХКАЛО, С. П. ИГЛИН, О. И. ОЛЬХОВСКАЯ, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ

ПРИМЕР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ РАБОТЫ РЕАКТОРОВ В КАЧЕСТВЕ СИСТЕМЫ

В материалах статьи рассмотрены возможности для определения общей технологии экспериментальных примеров работы реакторов идеального смешения с целью повышения эффективности их функционирования в химической и пищевой промышленности, а также в биотехнологических системах. Исследования проведены на современном уровне научно-обоснованного математического изложения и программ расчетов 1) разновидностей технологии и их закономерностей с учетом специфических особенностей стадий теплообмена; 2) на различных стадиях проектирования и обоснования моделей оборудования. Представлены примеры и некоторые особенности возможных решений, основанных на экспериментальных данных разработки химических процессов и их научного обоснования в виде объектов технологии.

Ключевые слова: реактор идеального смешения; эффективность работы; научно-обоснованные методы.

S. I. BUKHALO, S. P. IGLIN, O. I. OLKHOVSKA, V. O. OLKHOVSKA

EXAMPLE OF EXPERIMENTAL CALCULATIONS OF CHEMICAL REACTOR ACTION AS A SYSTEM

The materials presented of innovative development opportunities determining the general experimental examples of the operation of ideal mixing chemical reactors in order to increase the efficiency of their functioning in the chemical and food industries, as well as in biotechnological systems. The developments have been carried out with the aim of selecting modern highly efficient science-based technologies: 1) types of technology and their regularities, taking into account specific heat exchange stages; 2) at different stages of design and justification of equipment models. Examples and some features of possible solutions are presented, which are based on experimental data of the development of process mechanisms and their scientific substantiation in the form of objects of technology. A review of the literature and the necessary articles written on the subject: as technologies develop and become more complex, energy needs increase greatly; identified possible areas of work in obtaining the necessary information and results. The materials are devoted to the results of researches of properties of technical and technological innovations of modern systems as object studies the possibility of complex properties in the development system increasing the economic efficiency of new sources.

Keywords: a perfect chemical reactor; efficiency of work; scientifically sound methods.

Вступ.

Вирішення задач підвищення ефективності виробництва хімічної, харчової промисловості та біотехнології може бути успішно здійснено спираючись на теорію аналізу та синтезу особливостей технологічних систем:

- фізичних – взаємодія визначається фізичними закономірностями;
- хімічних – сукупність елементів, які взаємозв'язані технологічними потоками і функціонують як одне ціле для забезпечення економічно доцільної переробки сировини на корисний продукт;
- біологічних – сукупність молекул для взаємодії у клітині на клітинно-молекулярному рівні; клітин у організмі; організмів у популяції та різних популяцій у навколишньому середовищі;
- біохімічних – взаємодія тіл визначається біохімічними перетвореннями, а також фізико-хімічних і інших.

Технологічна система у таких прикладах може визначати: підприємство, цех, ділянку, апарат і має чітко сформульовану мету у вигляді кількісних і якісних характеристик. При цьому технологічний процес для таких випадків – це сукупність послідовних змін у системі, які приводять до виникнення у ній нових властивостей. Більшість процесів харчової технології на відміну від хімічної є незворотні, тобто вони протікають у одному напрямку – ректифікація, сушіння, адсорбція, подрібнення і ін., на відміну від зворотних – кристалізація, абсорбція і деякі інші. Складність технологічної системи визначається її структурою, числом елементів, зв'язків, рівнів, обсягом інформації, закладеної в систему [1–3].

Поняття елементу системи неоднозначне, але це самостійна умовно неподільна частина. Елементи системи класифікують за характеристиками:

© Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І., Ольховська О.І., 2020

фізичні – змінюється фізичний стан сировини; хімічні – змінюється хімічний склад сировини; біологічні – змінюється біологічний склад сировини; енергетичні – перетворюється енергія; комбіновані або комплексні і інші.

Між елементами системи завжди існує функціональний взаємозв'язок у вигляді технологічних потоків – переміщення у просторі маси та енергії. Сукупність елементів і зв'язків утворює структуру системи, а сукупність елементів, яка є певною мірою самостійно функціонуючою частиною системи, розглядають як підсистему. Зміна станів системи у деякому інтервалі часу – це процес функціонування системи. Стан системи визначають і контролюють за певним набором вихідних її змінних, які залежать від величини вхідних змінних технологічної системи.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Процес функціонування системи обумовлюється параметрами системи (конструкційні та технологічні) і технологічними режимами елементів – сукупність факторів всередині елементу, які впливають на швидкість технологічного процесу, вихід і якість продукту. До показників ефективності функціонування технологічної системи відносять: технологічні критерії ефективності, експлуатаційні, економічні, соціальні та інші. Вибір показника ефективності залежить від цілей функціонування системи, яка визначається рівнем структури системи [1–7]. Кожний рівень структури технологічної системи, у свою чергу, має свою ціль функціонування і характеризується певними показниками ефективності функціонування.

На першому рівні підприємства ціллю функціонування елементів технологічної системи є біохімічний і фізико-хімічний вплив на технологічні потоки. Показниками ефективності функціонування елементів технологічної системи у цьому випадку можуть бути коефіцієнти корисної дії апаратів або величин, що характеризують селективність процесу, вихід продукту, експлуатаційні показники і ін.

Другий рівень структури утворюють технологічні системи, що відповідні технологічним цехам, ціль на даному етапі полягає в отриманні для даного цеху встановленої кількості цільового продукту, а показниками ефективності функціонування будуть витратні норми на сировину і енергію, а також показники економічної ефективності.

Третій рівень структури – це взаємозв'язана сукупність, яка утворює це підприємство. Ціль функціонування такого підприємства – виконання виробничого плану з випуску заданого асортименту продукції згідно з вимогами стандартів і технічної документації, ефективність у даному випадку оцінюють узагальненими економічними показниками з урахуванням економічного ефекту за рахунок переробки або використання відходів виробництва, а також регенерації енергетичних ресурсів.

1. Загальні положення проведеного експерименту. Відповідно з метою проведеного дослідження є визначення показників функціонування РІЗ-П (табл. 1): ступеня перетворення X_A і зміни температури реакційного середовища T у часі t що дозволяє визначити час досягнення заданої величини X_{AK} і максимальну T_{\max} .

Таблиця 1. Вихідні дані експерименту для реактору ідеального змішування

Кінетика хімічної реакції	Стехіометричне рівняння $A + B \rightarrow R$; кінетичне рівняння псевдопершого порядку $r(C, T) = K'(T)C_A$, $K'(T) = 0,1K(T)$; температурна залежність за рівнянням Ареніуса $K(T) = K_0 \exp(-E/RT)$; $K_0 = 27,03 \cdot 10^{-9} \text{ хв}^{-1}$; $E = 61290 \text{ кДж/кмоль}$; $Q_p = 69554 \text{ кДж/кмоль}$
Характеристики РС	Щільність реакційної суміші (РС) для реактору ідеального змішування періодичної дії (РІЗ-П) $\rho = 818 \text{ кг/м}^3$; питома теплоємність $c_p = 1,76 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$
ГХ реактору	Геометричні характеристики (ГХ): об'єм реакційного середовища $V_p = 0,14 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; для змішувача – $V = V_p + V_{зм}$, для всіх інших випадків $V = V_p$.
Кінетика теплопередачі	Коефіцієнт теплопередачі: сорочка $K_T = 8,52 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{хв} \cdot \text{К}$; змішувача – $K_T = 34,08 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{хв} \cdot \text{К}$
ХТ	Вода: питома теплоємність $c_{pT} = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$; маса у сорочці $M_T = 0,10 \text{ кг}$.
ГХ т/о пристрою	Сорочка теплообмінного (т/о) пристрою: поверхня теплопередачі $F = 0,0325 \text{ м}^2$; змішувач: діаметр трубки $D = 0,005 \text{ м}$, довжина – $L = 0,84 \text{ м}$.
Начальні і граничні умови	Реакційна суміш: початкова концентрація реагенту А – $C_{A0} = 2,00 \text{ кмоль/м}^3$; початкова ступінь перетворення $X_{A0} = 0$; початкова температура сорочки-термостату $T_0 = 293$; характеристика теплоносія (ХТ): температура на вході в сорочку та змішувач $T_0 = 283 \text{ К}$.
Обмеження	Кінцевий ступінь перетворення $X_{AK} = 0,9$.
Прийняті допущення	Реакційна суміш знаходиться у стані ідеального перемішування; режим руху теплоносія у сорочці відповідає ідеальному перемішуванню; зовнішня поверхня системи цілком теплоізолювана; коефіцієнт теплопередачі змінюється: 7,5; 8,5; 9,5.

$$\begin{bmatrix} \text{Зміна} \\ \text{кількості} \\ \text{теплого} \\ \text{потоків} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Прихід} \\ \text{теплоти} \\ \text{з вхідним} \\ \text{потоків} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Витрата} \\ \text{теплоти} \\ \text{з вихідним} \\ \text{потоків} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \text{Прихід} \\ \text{теплоти} \\ \text{з вхідним} \\ \text{потоків} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Витрата} \\ \text{теплоти} \\ \text{з вихідним} \\ \text{потоків} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Рис. 1 – Рівняння теплового балансу реактору при нестационарному (1) та стаціонарному (2) режимах

Обираємо значення експерименту від $\tau = 0$ з кроком $\Delta\tau$ – необхідно розрахувати відповідні значення ступеня перетворення X_A і температури T до досягнення необхідної величини X_{AK} .

В роботі розглянуті питання подовження розробки комплексних проектів зі студентами за обраними напрямками підвищення ефективності роботи різновидів технологічних систем [3–7] з метою визначення алгоритму деяких закономірностей процесів використання, наприклад, реактору ідеального змішування періодичної дії (РІЗ-П), у якості теплообмінного пристрою в якому використовують тип «сорочка-термостат».

Реактори періодичної дії одночасно завантажують всіма видами початкових речовин або їхньою сумішшю (початковою реакційною сумішшю) і через певний час, необхідний для досягнення заданого ступеня завершення процесу, вивантажують цю суміш, що містить уже й продукти реакції (продукційна суміш). Процес їхнього функціонування являє собою періодично повторювані цикли. Кожний цикл складається із трьох стадій: завантаження в реактор початкових речовин, проведення хімічного процесу, вивантаження продукційної суміші:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_3 + \tau + \tau_{\text{в}} = \tau + \tau_{\text{в}},$$

де τ – тривалість хімічного процесу; $\tau_{\text{в}}$ – час, затрачений на проведення допоміжних операцій – завантаження й вивантаження. Реактори періодичної дії використовуються переважно в малотоннажному й багатоасортиментному промисловому виробництві, а також при переробці дорогих початкових речовин.

За тепловим режимом розрізняють ізотермічні, адіабатичні й політропічні (політермічні) реактори.

Ізотермічні реактори мають однакову й постійну температуру у всіх точках реакційного простору. За винятком процесів, що протікають із незначним тепловим ефектом, це досягається інтенсивним теплообміном через теплообмінну поверхню. У результаті вся теплота, що виділяється чи поглинається у ході процесу, відповідно відводиться від реакційної суміші або підводиться до неї.

В адіабатичних реакторах єдиними шляхами підведення й відведення теплоти є вхідні й вихідні потоки реакційної суміші. Інші види теплообміну через гарну теплоізоляцію апарата відсутні.

Температура в таких реакторах зростає або падає залежно від теплового ефекту здійснюваної реакції.

У політропічних реакторах існує частковий теплообмін; тепловий режим цих найпоширеніших апаратів проміжний між ізотермічним і адіабатичним. За способом організації теплообміну розрізняють реактори із внутрішнім, зовнішнім і комбінованим теплообміном. Рівняння теплового балансу для реактора довільного типу, складене для розглянутого об'єму, при нестационарному (1) та стаціонарному (2) режимах визначається рівністю (рис. 1).

Однією з найбільш важливих задач є експериментальне визначення показників функціонування обладнання за представленими властивостями алгоритму дії: масовість – розв'язок однотипних задач із різними вихідними даними можна здійснювати за тим самим алгоритмом, що дає можливість створювати типові програми для розв'язку задач при різних варіантах значень вихідних даних – у цій властивості укладена основна практична цінність алгоритмів; результативність – реалізація обчислювального процесу, передбаченого алгоритмом, повинна через певне число кроків привести до одержання результатів з визначеною точністю або повідомленню про неможливість розв'язку задачі; визначеність (детермінованість) – алгоритм повинен бути однозначним, що виключає довільність тлумачення кожного із приписів, а також відхилень від заданого порядку виконання.

2. Моделювання здійснюється шляхом побудови математичної моделі. Теорія подоби дозволяє поширити результати одного дослідження на групу подібних процесів у границях даного класу шляхом особливого способу завдання умов однозначності. Це, в свою чергу, дозволяє перенести експериментальні дані, що отримані на моделі, на промисловий об'єкт, тобто змоделювати процес.

Ускладнення технологічних процесів, машин і апаратів, обмежені строки проектування об'єктів приводять до того, що фізичні й аналогові моделі стають непридатними для дослідження або дають більші погрешності, чого в значній мірі позбавлені математичні моделі. Подоба умов однозначності включає і геометричну подоби апаратів, фізичних величин, граничних і початкових умов і ін.

Введення масштабного коефіцієнту для процесів однієї групи дозволяє розглядати їх як один процес, що протікає зі змінними параметрами, які відрізняються тільки масштабом.

У кожному подібному процесі комплекси змінних величин можуть змінюватися у просторі і часі, але у кожних точках робочого об'єму у конкретний момент часу вони мають однакові значення і їх називають критеріями або числами подоби.

Об'єктами вивчення – процеси й апарати харчової технології, приклади їхнього розрахунку, а також виробництво у взаємодії з комп'ютерною технікою.

Об'єкт моделювання – будь-який технологічний процес або апарат, у якому він протікає. Формулювання завдання апроксимації даних для опису експериментальних залежностей роботи обладнання і отримання емпіричних моделей процесів нерозривно пов'язане з рішенням завдання апроксимації для нелінійних і лінійних за параметрами моделей. У моделюванні прийнятий розподіл процесів на два класи: детерміновані й стохастичні. Для технологічних процесів, що є складними системами, характерна двоїста детерміновано-стохастична природа.

До детермінованих процесів відносять процеси, визначальні параметри яких змінюються безперервно, при цьому кожному значенню вхідної величини відповідає певне й тільки одне значення вихідної величини. Між визначальними параметрами детермінованих процесів існує функціональний взаємозв'язок, механізм цих процесів вважається визначеним за допомогою основних законів зміни маси й енергії.

Стохастичні процеси – це процеси, визначальні параметри яких змінюються дискретно (перервано, випадковим образом) і при цьому значення вихідних величин перебувають в імовірнісній відповідності із вхідними й не визначаються ними однозначно. При цьому кожному значенню вхідної величини x_i відповідає кілька значень вихідної величини y_i . Процедура складання детермінованих моделей залежить від складності процесу й від наявності відомостей про нього. Основні етапи побудови детермінованих моделей можна представити в наступному вигляді: постановка завдання; вивчення теоретичних закономірностей; математичний опис вивчених законів; вибір методу рішення; розробка алгоритму й програми; реалізація програми на ЕОМ; перевірка адекватності й коректування моделі; проведення обчислювального експерименту; аналіз отриманих даних. Відповідно до розподілу процесів на два класи існує й два принципи одержання математичних моделей. Перший, аналітичний для детермінованих процесів, ґрунтується на аналізі механізму процесу або на теоретичних поданнях про механізм (теоретичний підхід). У зв'язку із цим часто для складання математичного опису детермінованих процесів використовують рівняння матеріальних і теплових балансів. Аналітичні або детерміновані

моделі мають вигляд алгебраїчних (диференціальних, інтегральних) рівнянь.

3. Експериментальна та розрахункова частина. Загальна маса в РІЗ–П постійна (рис. 2), інші характеристики – склад, температура, тиск – змінюються лише в часі. Звідси витікає, що процес у реакторі періодичної дії може протікати лише нестационарно. Оскільки значення фізичних величин однакові у всьому реакційному об'ємі, рівняння балансів можна записати для реактора в цілому.

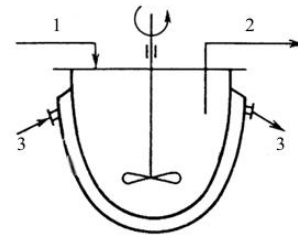


Рис. 2 – Схема реактору ідеального змішування періодичної дії: 1 – вхідний потік сировини; 2 – вихідний потік, 3 – теплоносій

Для визначеності викладу теплового балансу розглянемо протікання екзотермічної реакції при $V = \text{const}$. Будемо виходити з балансової рівності (рис. 2). При відсутності в РІЗ–П вхідних і вихідних потоків теплоприход може мати місце лише внаслідок виділення теплоти в ході реакції, а тепловитрата – внаслідок відводу теплоти холодоагентом. Швидкість теплоприходу дорівнює $Q_p r(C, T)V_p$ (3), де $r(C, T)$ – швидкість реакції при концентрації C і температурі T у даний момент часу; Q_p – тепловий ефект реакції.

Швидкість тепловитрати становить $K_T F (T - T_{\text{хл}})$ (4), де K_T – коефіцієнт теплопередачі; F – поверхня теплопередачі; $T_{\text{хл}}$ – температура холодоагенту.

Зміна теплоємності реакційної суміші внаслідок нагрівання за рахунок теплоти реакції можна виразити залежністю $V c_p \frac{dT}{dt}$ (5), де c_p – об'ємна теплоємність реакційної суміші. З вираження (3) – (5) одержимо рівняння теплового балансу при політропічному тепловому режимі (6):

$$V c_p \frac{dT}{dt} = Q_p r(C, T)V_p - K_T F (T - T_{\text{хл}})$$

звідки з обліком $V = V_p$ зміна температури реакційної суміші в ході процесу складе (7):

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_p}{c_p} r(C, T) - \frac{K_T F_{\text{уд}}}{c_p} (T - T_{\text{хл}}), (7)$$

де $F_{\text{уд}} = F/V_p$ – питома поверхня теплопередачі.

В адиабатичному тепловому режимі теплообмін відсутній, і рівняння (6) і (7) приймають вигляд:

$$Vc_p \frac{dT}{d\tau} = Q_p r(C, T) V_p, \quad \frac{dT}{d\tau} = \frac{Q_p}{c_p} r(C, T)$$

Умовою реалізації ізотермічного режиму, згідно (7), є виконання рівності (8):

$$Q_p r(C, T) = K_{\tau} F_{\text{уд}} (T - T_{\text{хл}})$$

Для складання, визначення можливостей та оцінки алгоритмів загальної хімічної та харчової технології існує багато критеріїв, наприклад, алгоритм визначення раціональної роботи різновидів обладнання. Найчастіше аналіз алгоритму (або, як кажуть, аналіз складності алгоритму) полягає в оцінці витрат часу на розв'язок задачі в розрахунку на одиницю вхідних даних. Фактично, ця оцінка зводиться до оцінки кількості базових елементарних операцій, на які можна розкласти даний алгоритм, оскільки кожна така операція виконується за конкретний, відомий відрізок часу. Складність алгоритму оцінюється також кількістю апаратних ресурсів, зокрема обсягом пам'яті, задіяної для виконання даного алгоритму. Щоб довести до користувача алгоритми в залежності від їх призначення, вони мають бути формалізовані за певними правилами за допомогою конкретних зображальних засобів. Засоби, що використовуються для запису алгоритмів, значною мірою визначаються тим, для якого виконавця призначається алгоритм. Якщо алгоритм призначений для виконавця-людини, то його запис може бути не повністю формалізований, у цьому разі головне в формі запису – це наочність і зрозумілість. Для запису алгоритмів, призначених для реалізації на ЕОМ, необхідна строга формалізація. До основних зображальних засобів алгоритмів належать такі способи їх запису: словесний, формульно-словесний, схеми алгоритмів, мова операторних схем, НІРО-схеми, псевдокоди, мови програмування. При словесному способі запису алгоритму кожна операція перетворення формулюється природною мовою у вигляді правила. Правила нумеруються, щоб мати можливість на них посилатися, і зазначається порядок їх виконання. Алгоритм у вербальній формі може виявитися дуже об'ємним і важким для сприйняття. Формульно-словесний спосіб запису алгоритму ґрунтується на завданні інструкцій про виконання конкретних дій у

Таблиця 2. Вихідні дані розрахунків експерименту символів і виразів зі словесними поясненнями – він більш компактний і наочний в порівнянні зі словесним, але не є строго формалізованим для хімічної технології.

Даний спосіб прийнятий під час опису різного роду математичного викладення, наприклад математичний опис процесу – легко зчитається і буде зрозумілим багатьом фахівцям без спеціальної підготовки. Подальше дослідження зв'язане з визначенням алгоритму пошуку параметрів роботи сорочки-термостату – показників її функціонування – зміни ступеня перетворення X_A і зміни температури реакційного середовища T у часі t .

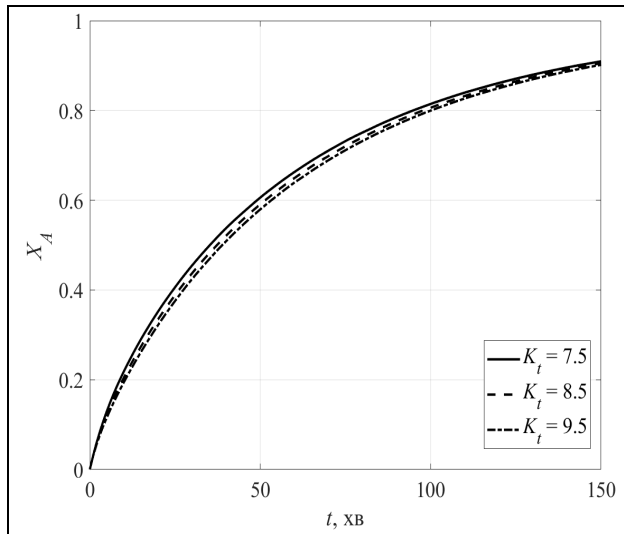
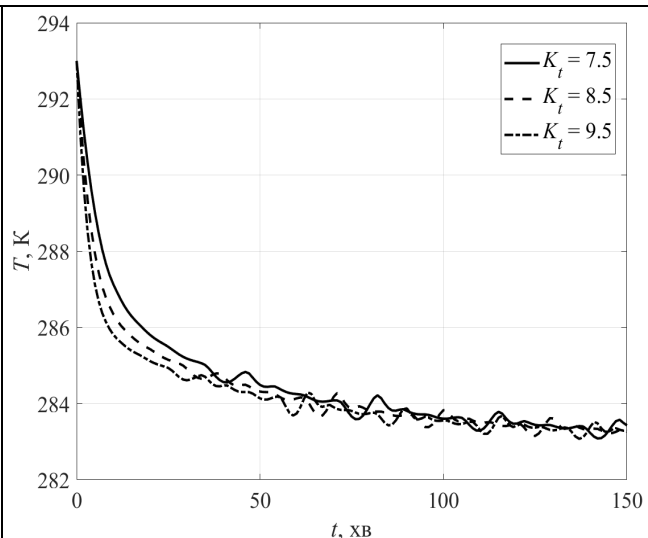
Нижче наведений приклад програми на мові MATLAB для розв'язання системи двох звичайних нормальних диференціальних рівнянь (табл. 2) методом Рунге-Кутти 4–5-го порядку з автоматичним подібненням кроку в разі потреби. Використовується функція ode45. Ставиться задача: при різних значеннях $K_{\tau} = 7.5$; 8.5 та 9.5 вивести результати з кроком 1 хв. доти, доки ступінь перетворення X_A не досягне значення 0.9. Порядок роботи з програмою є таким.

1. Запустити MATLAB.
2. Перейти в MATLAB' і в теку, де зберігається програма.
3. Завантажити програму в редактор.
4. Перевірити вхідні дані: числові параметри, функції правих частин системи диференціальних рівнянь, початкові умови.
5. Задати $K_{\tau} = 7.5$.
6. Задати моменти часу з потрібним кроком 1 хв. Останній момент часу будемо підбирати в інтерактивному режимі з умови, що X_A повинен досягати значення 0.9. У друкованому варіанті останній момент часу 150 хв.
7. Запустити програму на розрахунок (клавіша F5 або кнопка Run).
8. Подивитися у командному вікні MATLAB на надруковані моменти часу та отримане значення X_A . Чи досягається значення 0.9? Якщо ні, треба збільшити останній момент часу та знову запустити програму на розрахунок.
9. Задати $K_{\tau} = 8.5$ та повторити пункти 6-8.
10. Задати $K_{\tau} = 9.5$ та повторити пункти 6-8.
11. Проаналізувати побудовані графіки та зробити висновки.

Система рівнянь	Розв'язання системи рівнянь методом Рунге-Кутти
$\begin{cases} \frac{dX_A}{d\tau} = 0,1K_0(1-X_A)\exp(-E/RT) \\ \frac{dT}{d\tau} = \frac{Q_p C_{A0}}{\rho c_p} \frac{dX_A}{d\tau} - \frac{K_{\tau} F}{\rho c_p V} (T - T_T) \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{dy}{dx} = f_1(x, y, z) \\ \frac{dz}{dx} = f_2(x, y, z) \end{cases}$
Початкові умови $y _{x=0} = y_0$; $z _{x=0} = z_0$ для 1) $K_{\tau} = 9,5$ кВт/м ² К; 2) $K_{\tau} = 8,5$ кВт/м ² К; 3) $K_{\tau} = 7,5$ кВт/м ² К.	

В інтервалі визначених параметрів дії РІЗ (табл. 1) – реакційна суміш знаходиться у стані ідеального перемішування; режим руху теплоносія у сорочці відповідає ідеальному перемішуванню; зовнішня поверхня системи цілком теплоізолювана;

коефіцієнт теплопередачі змінюється: 7,5; 8,5; 9,5 досліджено залежності досягнення кінцевого ступеня перетворення $X_{AK} = 0,9$ (рис. 3) та температури T (рис. 4) відповідно для заданих коефіцієнтів теплопередачі, отримані у MATLAB.

Рис. 3 – Експериментальні залежності $X_A = f(t)$ Рис. 4 – Експериментальні залежності $T = f(t)$

```
% Розв'язання системи диференціальних рівнянь
clear % очистили пам'ять
close all % закрили всі вікна фігур
clc % очистили командне вікно MATLAB
% вхідні дані
Kt = 9.5;
K0 = 0.2793e11; E = 61230; R = 8.31; Qp = 69554; CA0 = 2; rho = 818; cp = 1.760;
V = 4e-4; Tt = 283; F = 0.0325;
% дескриптор функції правих частин: y(1)=XA; y(2)=T.
KinFun = @(t,y) [0.1*K0*(1-y(1)).*exp(-E./(R*y(2))); ...
    Qp*CA0/(rho*cp)*0.1*K0*(1-y(1)).*exp(-E./(R*y(2)))-...
    Kt*F/(rho*cp*V)*(y(2)-Tt)];
y0 = [0; 293]; % початкові умови
tspan = 0:1:150; % моменти часу
[t,y] = ode45(KinFun,tspan,y0); % розв'язуємо задачу
fprintf('Результати при Kt = %3.1f:\n',Kt)
disp(' t XA T')
fprintf(' %6.2f %8.5f %10.5f\n',[t y]')
% малюємо графіки
figure('Position',[100 100 800 600]) % нове вікно фігури
plot(t,y(:,1),'k-') % графік XA(t)
grid('on') % сітка
box('on') % обмежувальний прямокутник
xlabel('\itt\rm, хв') % мітка осі Ox
ylabel('\itX_A') % мітка осі Oy
title(['Ступінь перетворення при \rm\itK_{t}\rm = ' sprintf('%3.1f',Kt)])
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontSize',14,...
    'FontName','Times New Roman') % змінили шрифт
print(['XA' num2str(Kt*10)],'-dpng') % зберегли малюнок
figure('Position',[100 100 800 600]) % нове вікно фігури
plot(t,y(:,2),'k-') % графік T(t)
grid('on') % сітка
box('on') % обмежувальний прямокутник
xlabel('\itt\rm, хв') % мітка осі Ox
ylabel('\itT\rm, K') % мітка осі Oy
title(['Температура при \rm\itK_{t}\rm = ' sprintf('%3.1f',Kt)])
set(get(gcf,'CurrentAxes'),'FontSize',14,...
    'FontName','Times New Roman') % змінили шрифт
print(['T' num2str(Kt*10)],'-dpng') % зберегли малюнок
```

Поряд з задачами визначення показників функціонування реактору – визначення часу проведення реакції t_k , необхідного для досягнення заданого ступеня перетворення X_{AK} , вирішують питання, наприклад, організації ізотермічного режиму (рис. 3 та рис. 4). Тобто необхідним є визначення закономірностей регулювання витрат теплоносія у теплообмінних пристроях, які забезпечують підтримку заданої постійної температури реакційної суміші протягом необхідного часу проведення процесу. Треба визначити деякі умови теплоізоляції зовнішньої поверхні сорочки: теплообмін між теплоносієм та навколишнім середовищем повністю відсутній.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Завдяки високому рівню дослідження роботи теплообмінних пристроїв можна визначити характеристики утворення сучасного комплексного інноваційного виробництва.

Результати дослідження показали можливості підтримування ізотермічного режиму функціонування реактора ідеального змішування періодичної дії з теплообмінним пристроєм під час проведення екзотермічної реакції. Відповідно до цілей експерименту попередньо були визначені характеристики для РІЗ-П:

- дослідження і визначення математичного опису теплового балансу на підставі допущення про гідродинамічну ситуацію;
- допущення про параметри стану потоку холодного теплоносія такими, що не змінюються і, отже $V_T, \rho_T, c_{pT} = const$.

Представлені дослідження стимулюють розвинення великотоннажних технологій виробництва з різноманітної сировини та впровадження їх на Україні з метою розробки сучасної інженерії хімічних, біохімічних та харчових напрямків [8–12], а також сприяють розвитку створення інтелектуальної власності студентами та аспірантами [13–17].

Список літератури

1. Царьова З.М., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Орлова Є.І. Основи теорії хімічних реакторів. Комп'ютерний курс: [текст] підручник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – 615 с.
2. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Кошелева М.К., БУХКАЛО С.І. Общая химическая технология в примерах, задачах, лабораторных работах и тестах: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 447 с.
3. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
4. БУХКАЛО С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
5. БУХКАЛО С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
6. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., КАПУСТЕНКО П.А., ХАВИН Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение. НТУ «ХПІ», Харьков, 2005. – 460 с.
7. БУХКАЛО С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17–19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
8. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
9. БУХКАЛО С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
10. Прищенко О.П., Черногор Т.Т., БУХКАЛО С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 320.
11. Сирку М.А., БУХКАЛО С.І., ІГЛІН С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнутова М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
12. Ситник В.В., Яценко Б.С., БУХКАЛО С.І., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.
13. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo to kalenduly Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij. No.1/6(73), (2015), pp. 22–26. Harkiv: tehnologicheskij cent.
14. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Bukhhalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Thoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.
15. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, Vol. 70, (2018), pp.2047–2052.
16. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138–144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
17. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73.

doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>.
<http://journals.uran.ua/ejet/article/view/186442>.

References (transliterated)

1. Tsarova Z.M., Tovazhnianskyi L.L., Orlova Ye.I. Osnovy teorii khimichnykh reaktoriv. Kompiuternyi kurs: [tekst] pidruchnyk. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2002. – 615 p.
2. Tovazhnianskyi L.L., Kosheleva M.K., Bukhhalo S.Y. Obshchaia khymycheskaia tekhnolohyia v prymerakh, zadachakh, laboratornykh rabotakh y testakh: Ucheb. posobyie. – M.: YNFRA-M, 2015. – 447 p.
3. Tovazhnianskyi L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tekhnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. – 832 p.
4. Bukhhalo S.I. Zagal'na tekhnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
5. Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noi tekhnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tekhnologii: nauka, tehnika, tekhnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 217.
6. Tovazhnianskyi L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tekhnologii pishhevih proizvodstv i jenergosberezenie. NTU «KhPI», Kharkiv, 2005, – 460 p.
7. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tekhnologii: nauka, tehnika, tekhnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
8. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects 2018/2019 realization in the examples and tasks / Visnik NTU «KhPI». – Kharkiv: NTU «KhPI», 2019. – No. 15(1340), pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
9. Bukhhalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tekhnologii: nauka, tehnika, tekhnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17–19 maja 2017. – Kharkiv: Ch. III, p. 14.
10. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhhalo S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tekhnologii: nauka, tehnika, tekhnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 320.
11. Sirku M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tekhnologii: nauka, tehnika, tekhnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
12. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Vznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tekhnologii: nauka, tehnika, tekhnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019: Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 343.
13. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo to kalenduly Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tekhnologij. No.1/6(73), (2015), pp. 22–26. Harkiv: tekhnologicheskij cent.
14. Tovazhnianskyi L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Bukhhalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.
15. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnianskyi L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, Vol. 70, (2018), pp.2047–2052.
16. Zipunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138–144, dec. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144>. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
17. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/186442>.

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Bukhhalo Svetlana Ivanovna, Bukhhalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

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

Ольховська Оксана Ігорівна (Olkhovska Oksana Igorivna, Olkhovska Oksana Igorivna) – ст. викладач, кафедра менеджменту і опадаткування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: bis.khr@gmail.com

Ольховська Вікторія Олегівна (Olkhovska Viktoriya Olegovna, Olkhovska Victoria Olegovna) – студентка ХНУРЕ, м. Харків, Україна; e-mail: bis.khr@gmail.com

Т. Г. БАБАК, О. В. ДЕМИРСЬКИЙ, Є. Д. ПОНОМАРЕНКО, І. Ю. СЕЛІВАНОВ

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ СУМІШІ АЦЕТОН-БЕНЗОЛ

Розглянуто сучасні підходи до енергозбереження в хіміко-технологічних системах. Обстежено ректифікаційну установку для розділення суміші ацетон-бензол, зроблено екстракцію даних технологічних потоків процесу, що досліджувався. За допомогою методів пінч-аналізу було показано недостатню ефективність організації рекуперації енергії, зниження необхідної мінімальної температурної різниці в рекуперативному теплообміннику, яка вказує на завищення площі поверхні теплообміну за потребою. Обґрунтовано вибір значення ΔT_{\min} – для цього значення за методом складених кривих, знайдено цільові потужності зовнішніх утиліт та рекуперації. Використовуючи правила пінч-аналізу, отримано сіткову діаграму і запропоновано два варіанти розташування теплообмінного обладнання, що забезпечують досягнення енергетичних цілей. Підбрано сучасне пластинчасте теплообмінне обладнання та обрано варіант, що пропонує менший об'єм капітальних вкладень – для нього проведено економічну оцінку: термін окупності не більше одного року.

Ключові слова: ректифікація, пінч-аналіз, складені криві, сіткова діаграма, пластинчасті теплообмінники.

Т. Г. БАБАК, А. В. ДЕМИРСКИЙ, Е. Д. ПОНОМАРЕНКО, И. Ю. СЕЛИВАНОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ АЦЕТОН-БЕНЗОЛ

Рассмотрены современные подходы к энергосбережению в химико-технологических системах. Обследована ректификационная установка для разделения смеси ацетон-бензол, произведена экстракция данных технологических потоков исследуемого процесса. С помощью методов пинч-анализа была показана недостаточная эффективность организации рекуперации энергии, снижение необходимой минимальной температурной разницы в рекуперативном теплообменнике, что указывает на завышение требуемой площади поверхности теплообмена. Был обоснован выбор значения ΔT_{\min} . Для этого значения методом составных кривых найдены целевые значения мощности внешних утилит и рекуперации. Используя правила пинч-анализа, была получена сеточная диаграмма и предложены два варианта размещения теплообменного оборудования, обеспечивающие достижение энергетических целей. Подобрано современное пластинчатое теплообменное оборудование и выбран вариант, предлагающий меньший объем капитальных вложений. Для лучшего варианта была проведена экономическая оценка, показавшая срок окупаемости проекта не более одного года.

Ключевые слова: ректификация, пинч-анализ, составные кривые, сеточная диаграмма, пластинчатые теплообменники.

T. G. BABAK, O. V. DEMIRSKYY, Ye. D. PONOMARENKO, I. Yu. SELIVANOV

IMPROVEMENT OF ACETONE-BENZENE MIXTURE RECTIFICATION PROCESS ENERGY EFFICIENCY

Modern approaches to energy saving in chemical-technological systems are considered. The rectifier for separation of the acetone-benzene mixture was examined, and the process streams data extraction was performed. Using the methods of pinch analysis, it was shown that the organization of energy recovery is not enough effective, and the minimum temperature difference in the regenerative heat exchanger is lower than necessary one, which indicates an overestimation of the required heat transfer surface area. The choice of ΔT_{\min} was justified. For this value, the target energy values of external utilities and recovery were found by the method of composite curves. Using the rules of pinch analysis, a grid diagram was obtained and two options for the placement of heat exchange equipment were proposed that ensure the achievement of energy targets. The modern plate heat-exchange equipment was selected and the option offering a lower volume of capital investments was chosen. For the best option, an economic assessment was carried out, showing the payback period of the project no more than one year. Energy recovery will increase by more than two times and energy saving will be 5% approximately.

Keywords: rectification, pinch-analysis, composite curves, grid diagram, plate heat exchanges.

Вступ. Сучасні хімічні підприємства є великими споживачами енергоресурсів всіх видів. Значна частка витрат теплової енергії припадає на розділення рідких сумішей як при отриманні чистих готових продуктів, так і на стадіях підготовки сировини. Серед існуючих методів розділення рідких бінарних сумішей (кристалізація, перегонка, мембранне розділення та ін.) процеси перегонки є одними з найбільш енергоємних. Проте в переважній більшості випадків дистиляція або ректифікація є єдиними методами, що забезпечують якість продукції та високу продуктивність. При цьому багаторазова конденсація пари з одночасним випаровуванням рідини і утворенням пари нового складу робить процес ректифікації значно більш ефективним, ніж інші процеси перегонки. Тому енергозбереження в процесах ректифікації є актуальним.

Аналіз літературних даних. Бінарна суміш ацетон-бензол за своєю природою не є азеотропною, а її компоненти мають високу різницю температур кипіння. Тому традиційна ректифікація дозволяє отримати досить чистий ацетон. Енергетичні витрати на розділення суміші залежать від здатності компонентів розділятися методом ректифікації і від якості одержуваних продуктів. Крім прямих витрат на поділ важливу роль відіграє мінімізація допоміжних енерговитрат і максимальна рекуперація енергії, яка може бути досягнута на стадії проектування або модернізації установки з використанням пінч технології [1, 2, 3].

© Бабак Т.Г., Демірський О.В., Пономаренко Є.Д., Селіванов І.Ю., 2020

Зниження енергетичних витрат процесу в цілому з використанням правил пінч-аналізу призводить до зменшення собівартості вихідної продукції, підвищує рентабельність виробництва, а також покращує екологічний стан навколишнього середовища.

Удосконалення регенерації тепла безпосередньо пов'язано з оптимізацією і реконструкцією теплообмінних систем. Вибір оптимального варіанту (тобто пов'язаного з найменшими витратами на додаткову площу поверхні теплообміну і на структурні зміни мережі) з безлічі альтернатив є важливою складовою частиною проектування. Для реконструкції теплообмінних систем застосовують методи пінч-аналізу, який заснований на термодинамічному аналізі системи технологічних потоків, а для економічної оптимізації використовує немонотонну залежність загальної річної вартості експлуатації проекту від найменшого температурного напору на теплообмінному обладнанні [4]. Застосування пінч-аналізу дозволяє домогтися істотної фінансової економії за рахунок мінімізації використання зовнішніх енергоносіїв шляхом максимального застосування рекуперації теплоти в рамках даної енерготехнологічної системи [5]. При цьому даний підхід дозволяє мінімізувати теплообмінну поверхню і кількість теплообмінних одиниць, оптимізувати перепад тиску в мережі і розміщення силових установок, мінімізувати кількість стічних вод і емісію вуглекислого газу. У разі модернізації існуючих виробництв пінч-технології дозволяють максимально використовувати вже встановлене обладнання в нових робочих мережах, що знижує інвестиції в реконструкцію. Більш того, методами пінч-аналізу можливо визначити вартісний компроміс між усіма названими факторами і капітальними вкладеннями при заданому терміні окупності, якому і мав задовольняти остаточний проект. Відзначимо ще дві дуже важливі властивості, які є невід'ємною частиною пінч-аналізу. Перше – це можливість встановлення цілей проектування перед початком самого проектування. Другою важливою властивістю є можливість інтегрування процесів в межах великого виробничо-територіального комплексу. У підсумку ми можемо підготувати інвестиційні плани, визначити цільові значення енергоспоживання і зниження емісії шкідливих речовин як для існуючих процесів, так і для проєктованих [6].

В роботах [7, 8] принципи пінч-аналізу застосовані для модернізації теплообмінних мереж ректифікаційних установок.

Постановка задачі.

Розглядається процес розділення суміші ацетон-бензол. Енергофункціональна схема ректифікаційної установки зображена на рис. 1.

Продуктивність по початковій суміші складає 3,5 кг/с. Масові долі низькокиплячого компонента, ацетону, в початковій суміші \bar{x}_F , дистилляті \bar{x}_P та

кубовому залишку \bar{x}_W дорівнюють відповідно 0,5; 0,95; 0,02. Температура початкової суміші на вході $t_{FP} = 20^\circ\text{C}$, кінцева температура дистилляту та кубового залишку $t_{PK} = t_{WK} = 40^\circ\text{C}$. Флегмове число $R = 2,68$.

В процесі, що вивчається, було виділено технологічні потоки, які потребують нагріву або охолодження: початкова суміш (F), дистиллят (P), кубовий залишок (W), потік пари з верху колони (G) та потік суміші, що випаровується в кубовому кип'ятильнику (куб). Після розрахунку теплового та матеріальних балансів з використанням довідникових даних [9] результати екстракції даних процесу було зведено у потокову таблицю (табл. 1). Тут T_s – початкова температура, або температура постачання; T_i – кінцева, або цільова температура; g – масова витрата; c – питома теплоємність; r – питома теплота пароутворення; $CP = g \cdot c$ – потокова теплоємність; ΔH – тепловміст, або потокова ентальпія, як прийнято в термінах пінч-аналізу.

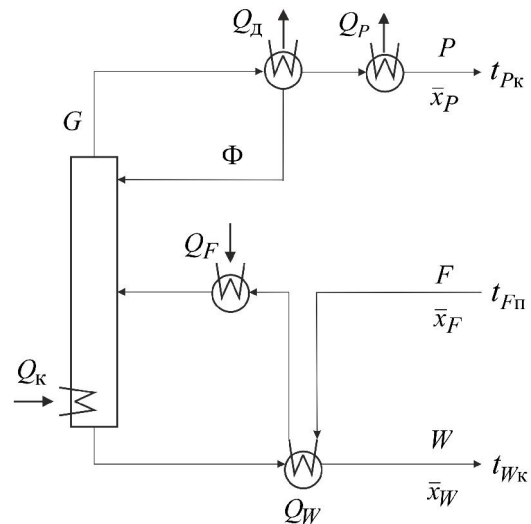


Рис. 1 – Енергофункціональна схема ректифікаційної установки розділення суміші ацетон-бензол

На енергофункціональній схемі (рис. 1) розміщено такі теплообмінники: кубовий випарник з навантаженням $Q_K = 3385,81$ кВт, дефлегматор з навантаженням $Q_D = 3354,75$ кВт, охолоджувач дистилляту з навантаженням $Q_P = 69,1$ кВт, рекуперативний теплообмінник з навантаженням $Q_W = 123,17$ кВт та підігрівач вхідної суміші з навантаженням $Q_F = \Delta H_F - Q_W = 180$ кВт. Тобто для підігріву початкової суміші на вході використовується надлишок тепла потоку кубового залишку і, таким чином, потужність рекуперації складає 123,17 кВт.

Аналіз енергоефективності існуючого проекту. Для оцінки енергоефективності було використано методи пінч-аналізу [1, 2].

Таблиця 1. Таблиця даних потоків процесу ректифікації суміші ацетон-бензол

№	Потік	Тип	$T_{s,} \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_i, \text{ } ^\circ\text{C}$	$g, \text{ кг/с}$	$c, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$r, \text{ кДж/кг}$	$CP, \text{ кВт/К}$	$\Delta H, \text{ кВт}$
1	P	гарячий	57,1	40	1,806	2,237	–	4,041	69,1
2	W	гарячий	79,1	40	1,694	1,806	–	3,15	123,17
3	G	гарячий	57,1	57,1	6,648	–	398,09	–	3354,75
4	F	холодний	20	62,9	3,5	2,019	–	7,067	303,17
5	куб	холодний	79,1	79,1	6,648	–	–	–	3385,81

Було побудовано складені криві потоків процесу (табл. 1) та розташовано їх на температурно-ентальпійній діаграмі таким чином, щоб

максимально доступна потужність рекуперації дорівнювала існуючій (рис. 2).

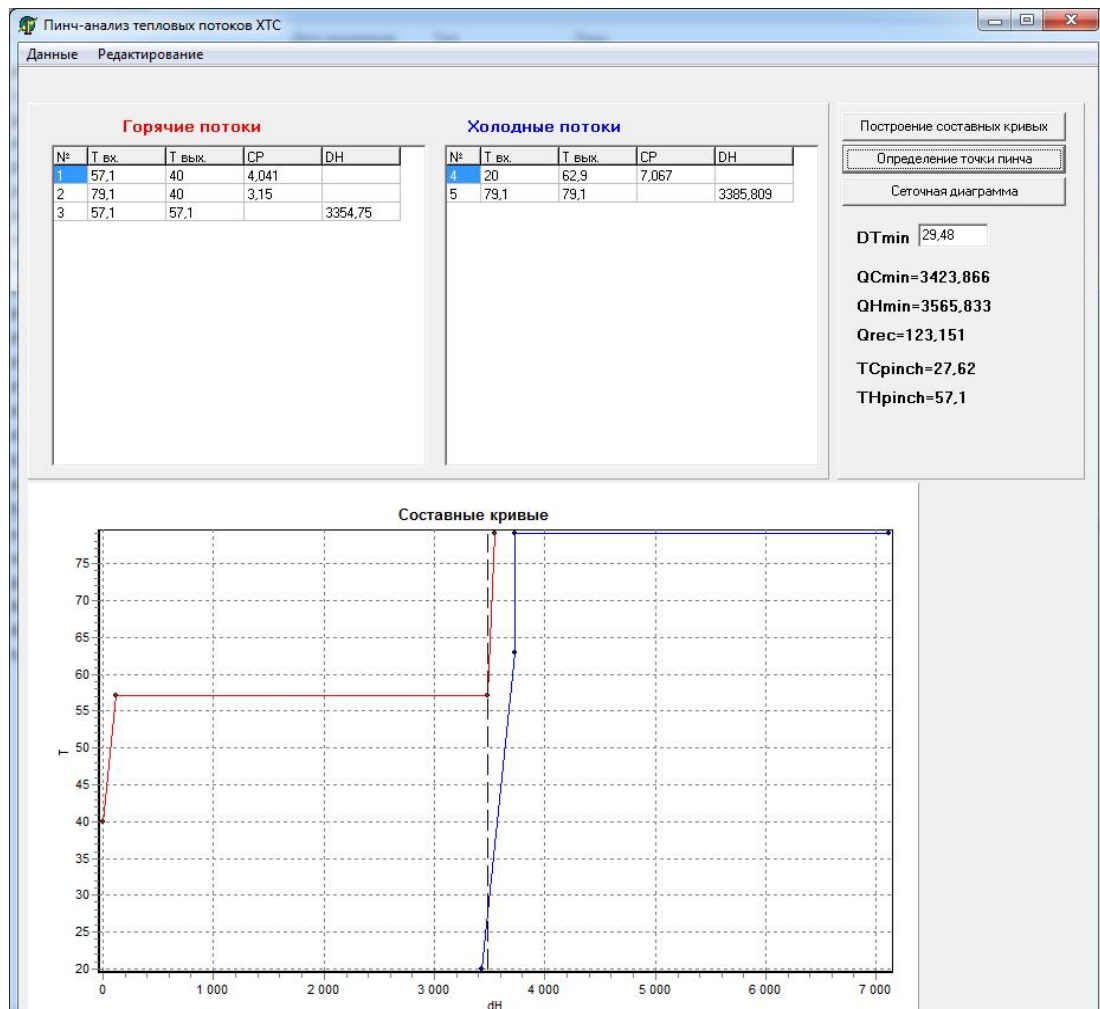


Рис. 2 – Складені криві потоків існуючого процесу

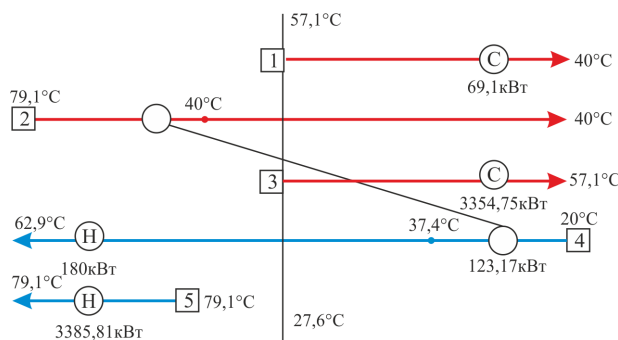


Рис. 3 – Сіткова діаграма існуючого проекту

Для реалізації потужності рекуперації 123,165 кВт мінімальна температурна різниця в теплообмінному обладнанні ΔT_{\min} повинна становити приблизно 29,5 °С.

Зобразимо існуючі теплообмінники на сітковій діаграмі (рис. 3). Оскільки весь надлишок тепла потоку 2 передається потоку 4, на виході з рекуперативного теплообмінника потік 2 має цільову температуру 40 °С. Потік 4 на вході в цей теплообмінник має температуру 20 °С. На гарячій стороні теплообмінника потік 2 має температуру постачання 79,1 °С, а потік 4 – 37,4 °С. Очевидно, що

мінімальна температурна різниця в рекуперативному теплообміннику становить 20°C , що нижче за знайдене значення ΔT_{\min} . Це означає, що площа поверхні теплообміну в існуючому проєкті більша, ніж та, що потрібна для рекуперації $123,17$ кВт тепла.

Вибір ΔT_{\min} та проєктування мережі теплообмінників з максимальною рекуперацією енергії. Для рішення цієї задачі було використано правила пінч-аналізу [1, 2, 3]. Було обрано значення $\Delta T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$, що відповідає з одного боку процесу, що розглядається, з іншого – може бути реалізовано при

використанні пластинчатих теплообмінників, що плануються для встановлення.

На рис. 4 показано розташування складених кривих на температурно-ентальпійній діаграмі таким чином, щоб мінімальна відстань між ними по температурній осі дорівнювала $\Delta T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$.

При цьому мінімальна потрібна потужність гарячих утиліт (зовнішніх енергоносіїв) $Q_{H\min}$ склала $3414,03$ кВт, холодних утиліт $Q_{C\min} - 3272,07$ кВт, потужність рекуперації $Q_{rec} - 274,95$ кВт.

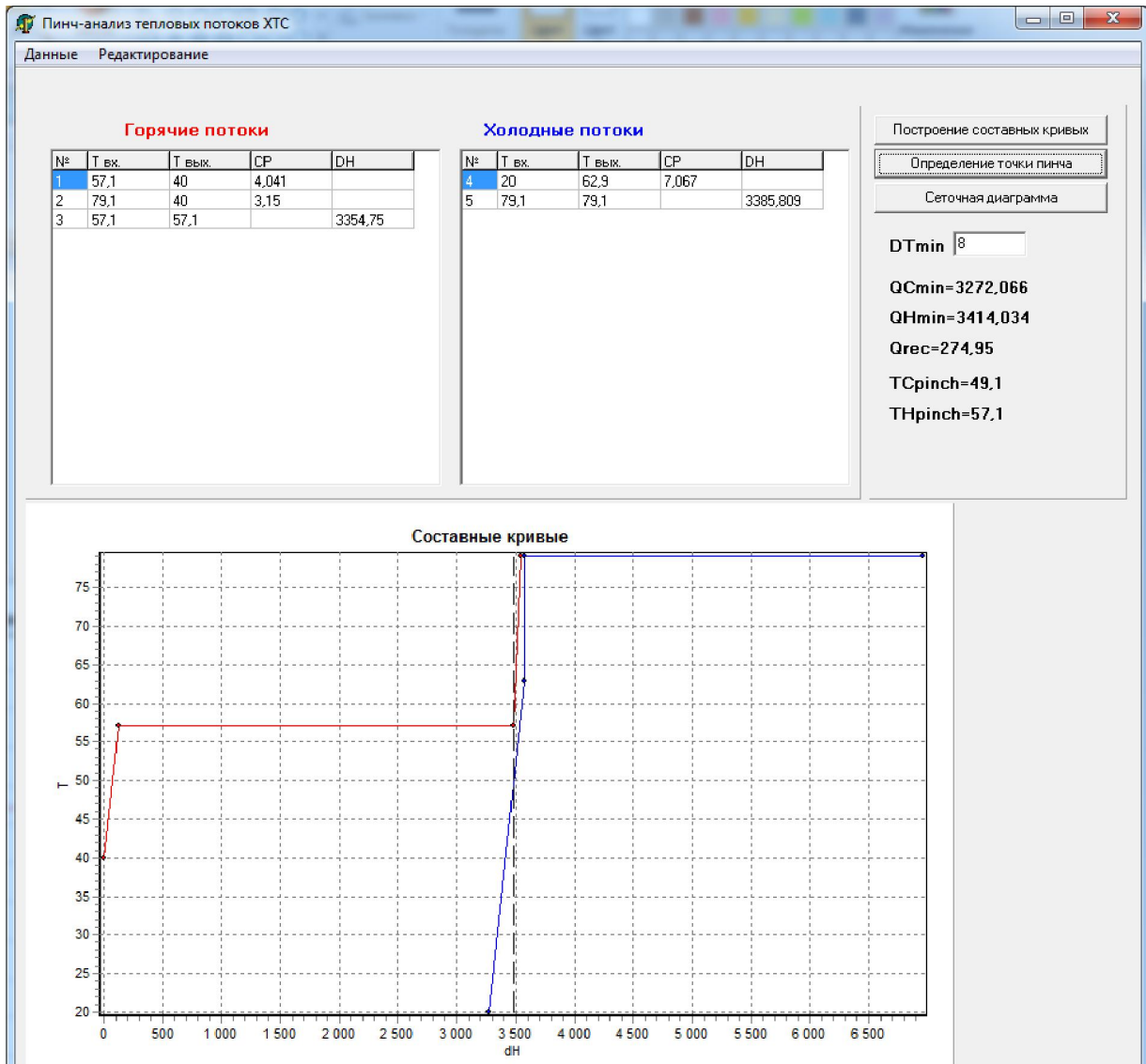


Рис. 4. Складені криві для $\Delta T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$

Було запропоновано два варіанти розміщення теплообмінного обладнання (рис. 5а, 5б). Якщо в області вище пінча ситуація однозначна, то нижче пінча підігрів початкової суміші за рахунок тепла конденсації пари зверху колони можна запровадити на вході в області більш низьких температур або

області пінча. В першому варіанті є потреба в розщепленні потоку початкової суміші, аби не порушувати $\Delta T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$. В обох варіантах досягаються цільові значення споживання зовнішніх утиліт та потужності рекуперації.

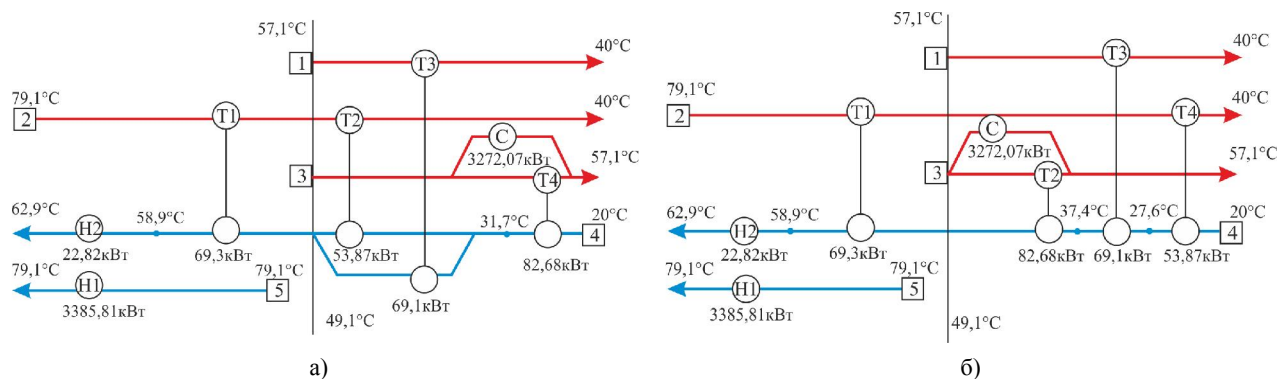


Рис. 5. Сіткова діаграма розміщення теплообмінників: варіант 1 – (а), варіант 2 – (б)

Підбір теплообмінного обладнання. На основі отриманих сіткових діаграм з розташованими теплообмінниками було проведено підбір теплообмінного обладнання. Треба зазначити, що кубовий кип'ятильник не потребує заміни, тому що для потоку куба не має відповідних партнерів для теплової інтеграції. Також залишено існуючий дефлегматор, який буде працювати на зниженому

навантаженні. На інші позиції було підібрано теплообмінне обладнання виробництва фірми Alfa Laval з використанням прикладного пакету CAS 2000 [10]. Результати підбору наведені у табл. 2.

Економічний аналіз. В табл. 3 наводиться порівняння потужності гарячих та холодних утиліт та рекуперації в існуючому проекті та в проекті, запропонованому в статті.

Таблиця 2. Характеристики теплообмінного обладнання, що пропонується до встановлення

Позиція	Варіант 1				Варіант 2			
	Навантаження, кВт	Тип пластины	Площа поверхні, м ²	Кількість пластин	Навантаження, кВт	Тип пластины	Площа поверхні, м ²	Кількість пластин
H2	28,23	T5M	2,184	26	28,23	T5M	2,184	26
T1	69,3	T5M	3,276	39	69,3	T5M	3,276	39
T2	53,87	T5B	3,475	39	82,68	T5M	2,856	34
T3	69,1	T5B	4,01	45	69,1	T5M	2,772	33
T4	82,68	T5M	2,184	26	53,87	T5M	2,352	28

Таблиця 3. Порівняння енергетичних характеристик існуючого та запропонованого проекту

Проект	Потужність, кВт		
	Холодні утиліти	Гарячі утиліти	Рекуперація
Існуючий	3423,85	3565,81	123,17
Що пропонується	3272,07	3414,03	274,95

Таким чином економія потужності енергоносіїв складає 151,78 кВт.

Обчислення витрат на теплообмінне обладнання дало такі результати: вартість теплообмінників з урахування ПДВ у варіанті 1 складає 444607 грн., у варіанті 2 – 438322 грн. Тому для економічного аналізу обираємо варіант 2.

З урахуванням вартості природного газу [11] вкладення коштів на реконструкцію забезпечить річний прибуток 641152 грн. та термін окупності приблизно один рік.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

1. Аналіз існуючого процесу за допомогою складених кривих технологічних потоків показав недостатню ефективність організації процесу рекуперації енергії.

2. Використання принципів пінч-аналізу дає можливість підвищити енергоефективність хіміко-технологічної системи.

3. З урахуванням того, що варіантів розміщення теплообмінного обладнання, кожний з котрих забезпечує досягнення енергетичних цілей, може бути декілька, треба їх розглянути з метою вибору найбільш доцільного з економічної точки зору.

4. Модернізація ректифікаційної установки, що пропонується дозволить знизити загальне споживання енергії зовнішніх утиліт приблизно на 5%.

Список літератури

- Смит Р., Клемеш Й., Товажнський Л.Л., Капустенко П.А., Ульєв Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2000. 456 с.
- Smith R. Chemical Process Design and Integration, John Wiley & Sons, 2016 - Technology & Engineering. 920 p.
- Kemp I.C. Pinch Analysis and Process Integration. A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy / Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK 30

- Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA, 2007, 396 p.
4. Моделирование и оптимизация энергопотребления, снижение уровня загрязнения промышленных предприятий на основе интеграций процессов с применением методов пинч-анализа (монография) / Хусанов А.Е., Ульев Л.М., Калдыбаева Б.М., Сабырханов Д. С., Болдырев С.А. – Шымкент: Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, 2017. 266 с.
 5. Жулаев С.В. Пинч-анализ и оптимизация промышленных объектов / Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, №2, 392–399.
 6. Леонт'ев В. К., Кorableva О. Н. Использование пинч-анализа при модернизации теплообменной сети / Химия и химическая технология: достижения и перспективы.– Материалы IV Всероссийской конференции, 2018, Изд-во КГУ, С. 611.1–611.4
 7. Бабак Т.Г., Голубкина О.А., Малышко Ю.В., Пономаренко Е.Д. Модернизация процесса ректификации частично растворимой азеотропной смеси фурфурол-вода. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, Харків, 2016. №29 (1201), с. 38–42.
 8. Бабак Т.Г., Балок С.В., Голубкина О.А., Пономаренко Е.Д. Оптимизация энергопотребления ректификационной установки на основе интеграции тепловых потоков. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, Харків, 2016. №29 (1201), с. 43–48.
 9. Л.Л. Товажнянський, В.О. Лещенко, А.П. Готлинська та ін. Приклади та задачі за курсом «Процеси та апарати хімічної технології»: навч. посіб. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 480 с.
 10. <https://alfalavalonline.sharepoint.com/sites/partners>
 11. <https://khgaszbut.104.ua/ru/gas-supply/gas-cost/id/vartist-prirodnogo-gazu-15941>
 2. Smith R. Chemical Process Design and Integration, John Wiley & Sons, 2016 - Technology & Engineering. 920 p.
 3. Kemp I.C. Pinch Analysis and Process Integration. A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy / Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA, 2007, 396 p.
 4. Modelirovanie i optimizacija jenerGOPotrebLenija, snizhenie urovnja zagrjznenija promyshlennyh predpriyatij na osnove integracij processov s primeneniem metodov pinch-analiza (monografija) / Husanov A.E., Ul'ev L.M., Kaldybaeva B.M., Sabyrhanov D. S., Boldyrev S.A. – Shymkent: Juzhno-Kazahstanskij gosudarstvennyj universitet im. M.Aujezova, 2017. 266 p.
 5. Zhulaev S.V. Pinch-analiz i optimizacija promyshlennyh ob'ektov / Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo», 2012, №2, pp. 392–399.
 6. Leont'ev V. K., Korableva O. N. Ispol'zovanie pinch-analiza pri modernizacii teploobmennoj seti / Himija i himicheskaja tehnologija: dostizhenija i perspektivy.– Materialy IV Vserossijskoj konferencii, 2018, Izd-vo KGU, pp. 611.1-611.4
 7. Babak T.G., Golubkina O.A., Malyshko Yu.V., Ponomarenko E.D. Modernizacziya proczessa rektifikaczii chastichno rastvorimoj azeotropnoj smesi furfurolo-voda. Visnyk NTU «KhPI». Serii: Innovatsiini doslidzhennia u naukovykh robotakh studentiv, Kharkiv, 2016. №29 (1201), pp. 38–42.
 8. Babak T.G., Balyuk S.V., Golubkina O.A., Ponomarenko E.D. Optimizacija jenerGOPotrebLenija rektifikacionnoj ustanovki na osnove integracii teplovyh potokov. Visnyk NTU «KhPI». Serii: Innovatsiini doslidzhennia u naukovykh robotakh studentiv, Kharkiv, 2016. №29 (1201), pp. 43–48.
 9. L.L. Tovazhnianskyi, V.O. Leshchenko, A.P. Hotlynska ta in. Pryklady ta zadachi za kursom «Protsey ta aparaty khimichnoi tekhnolohii»: navch. posib. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2010. 480 p.
 10. <https://alfalavalonline.sharepoint.com/sites/partners>
 11. <https://khgaszbut.104.ua/ru/gas-supply/gas-cost/id/vartist-prirodnogo-gazu-15941>

References (transliterated)

Надійшла (received) 07.03.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бабак Тетяна Геннадіївна (Бабак Татьяна Геннадиевна, Babak Tetiana Gennadiivna) – доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: tgabak@gmail.com

Демірський Олексій Вячеславович (Демирский Алексей Вячеславович, Demirskyy Aleksey Vyacheslavovich) – науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: aleksey.demirskyy@gmail.com

Пономаренко Євгенія Дмитрівна (Пonomarenko Евгения Дмитриевна, Ponomarenko Yevgeniya Dmitriivna) – доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: yevgeniya.ponomarenko@gmail.com

Селіванов Іван Юрійович (Селиванов Иван Юрьевич, Selivanov Ivan Yuriiovych) – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.

Л. І. ПЕРЕВАЛОВ, Л. В. ФАДЕЄВ, В. К. ТИМЧЕНКО, М. В. Д'ЯЧЕНКО

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЯКІСНОГО ЯДРА СОНЯШНИКУ ДЛЯ КОНДИТЕРСЬКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Стаття присвячена розробці ресурсозаощадної технології обрушування насіння соняшнику у замороженому стані, що дозволяє підвищити ступінь обрушування насіння і вихід цілого ядра. Метою дослідження було наукове обґрунтування технології обрушування дрібної фракції насіння соняшнику у замороженому стані. Була описана і побудована експериментальна установка для охолодження насіння до мінусових температур. Після одержання лабораторного зразку дрібної фракції з промислової фракції насіння соняшнику кондитерського сорту «Лакомка» було визначено його основні технологічні показники, ефективні технологічні параметри обрушування досліджуваної фракції, яке забезпечує максимальний вихід цілого і незруйнованого ядра за умови температури насіння. Визначено найбільший вихід цілого ядра в інтервалі швидкостей обертання ротору. Другий етап дослідження було присвячено виявленню закономірностей впливу охолодження до мінусових температур насіння на склад рушанки і характеристики обрушування в інтервалі ефективних значень швидкості обертання ротору насіннерушки. Встановлено, що охолодження насіння соняшнику перед обрушуванням має позитивний ефект на вихід цілого ядра та його якість; було визначено ефективні технологічні параметри обрушування дрібної фракції насіння, які забезпечують зростання виходу цілого ядра, а також суттєво збільшують вихід незруйнованого ядра – обов'язкова вимога виробництва.

Ключові слова: ресурсозаощадна технологія, обрушування насіння соняшника, експериментальна установка, охолодження насіння, дрібна фракція насіння соняшнику, технологічні параметри обрушування.

Л. И. ПЕРЕВАЛОВ, Л. В. ФАДЕЕВ, В. К. ТИМЧЕНКО, М. В. ДЬЯЧЕНКО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЯДРА ПОДСОЛНЕЧНИКА ДЛЯ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Статья посвящена разработке ресурсосберегающей технологии обрушивания семян подсолнечника в замороженном состоянии. Эта технология позволяет повысить степень обрушивания семян и выход целого ядра. Целью исследования было научное обоснование технологии обрушивания мелкой фракции в замороженном состоянии. Была описана и построена экспериментальная установка для охлаждения семян до минусовых температур. После получения лабораторного образца мелкой фракции из промышленной фракции семян подсолнечника были определены его основные технологические показатели, эффективные технологические параметры обрушивания исследуемой фракции, которые обеспечивают максимальный выход целого и неразрушенного ядра при условиях температуры семян. Определен наибольший выход целого ядра в интервале скоростей вращения ротора. Второй этап: выявлены закономерности влияния охлаждения до минусовых температур семян на состав рушанки и характеристики обрушивания в интервале эффективных значений скорости вращения ротора семенорушки. Установлено, что охлаждение семян подсолнечника перед обрушиванием оказывает положительный эффект на выход целого ядра и его качество; определены эффективные технологические параметры процесса обрушивания мелкой фракции семян, которые обеспечивают рост выхода целого ядра, а также существенно увеличивают выход неразрушенного ядра – обязательное требование производства.

Ключевые слова: ресурсосберегающая технология, обрушивание семян подсолнечника, экспериментальная установка, охлаждение семян, мелкая фракция семян подсолнечника, технологические параметры обрушивания.

L. I. PEREVALOV, L. V. FADEEV, V. K. TIMCHENKO, M. V. DIACHENKO

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PRODUCING HIGH-QUALITY SUNFLOWER KERNEL FOR THE CONFECTIONERY INDUSTRY

This article describes development of sunflower seed alternative technology of dehulling in frozen state. This technology allows to increase degree of seed dehulling and output of whole kernel. The authors have been tasked to give scientific justification of sunflower seeds fines dehulling technology in frozen state. Experimental pilot equipment for cooling seeds to subzero temperatures has been described and constructed. After obtaining a laboratory pattern of fines from sunflower seeds industrial fraction of confectionery variety "Lakomka", its main technological attributes were firstly determined. Then effective technological attributes of studied fraction dehulling, which provides maximum yield of whole and non-destructive kernel on the assumption seed temperature, were determined. It is determined that the highest yield of whole kernel is observed in the range of rotor speeds. Second stage of scientific research was devoted to detection of regularities for seeds to subzero temperatures influence on composition of dehulled fraction and characteristics of dehulling in the range of effective values of dehuller's rotor rotation speed. It has been established that sunflower's seeds of confectionery cooling before dehulling causes a positive effect on the yield of whole kernel and on its quality. Thus, it was determined effective technological attributes of confectionery seed's fine fraction dehulling, which provide increase in the yield of whole kernel, as well as significantly increase the yield of non-destructive kernel, which is a mandatory requirement for confectionery production.

Key words: alternative technology, sunflower seed dehulling, experimental pilot equipment, seeds/cooling, fines of sunflower seeds, technological attributes of dehulling.

Вступ. Соняшник кондитерського гатунку є представником крупнонасінневої форми цієї олійної культури. Його світова частка складає близько 5 % посівних площ соняшнику. Основна частина кондитерського соняшнику, який виробляється в Україні, експортується у країни Євросоюзу для використання в кондитерських виробках вигляді цілого ядра.

Завдяки високому вмісту макро- та мікроелементів, вітамінів, а також дієтичної

клітковини таке ядро можна віднести до категорії продуктів оздоровчого призначення. Ціле ядро кондитерського соняшнику може замінити горіхи, яйця, бути компонентом білково-жирових сумішей для збагачення харчових продуктів. Так, із додаванням ядра виготовлено дослідні зразки майонезу, сметани, соняшникової пасти (аналогу італійської «Нутелли»), м'ясного фаршу для котлет і т. ін. [1].

© Перевалов Л.І., Фадєєв Л.В., Тимченко В.К., Д'яченко М.В., 2020

Однак, виробництво кондитерського ядра з насіння соняшнику, особливо з дрібної фракції (15–25 % всієї маси) має ряд труднощів. Основна – це досягнення високої якості ядра, яке залежить від повноти відокремлення насінневої оболонки і збереження цілісності ядра.

З літературних джерел відомо про способи одержання безлушпинного ядра з насіння соняшнику кондитерських сортів. Так, Іхно М.П. [1, 2] одержав безлушпинне кондитерське ядро шляхом 100 %-вого обрушування насіння крупної та середньої фракції (товщина насіння більше 3,6 мм) за один прохід «Насіннерушки – 2 Іхно».

Фадєєв Л.В. [3] під час обрушування фракції 3,4–3,6 мм насіння кондитерського сорту «Лакомка» з використанням напівпромислової установки з відцентровою насіннерушкою «СИФ» одержав безлушпинне ядро, яке містило більше 60 % незруйнованого ядра.

Аналіз існуючих технологій виявив, що жодне з запропонованих технологічних рішень не вирішує проблему одержання високого виходу цілого ядра з дрібних фракцій кондитерського насіння.

На кафедрі технології жирів та продуктів бродіння НТУ «ХПІ» розроблено ресурсозаощадну технологію обрушування насіння соняшнику у замороженому стані, яка дозволяє підвищити ступінь обрушування насіння і вихід цілого ядра [4–6]. Таку технологію реалізовано на лабораторній установці з використанням «Насіннерушки – 2 Іхно».

Мета, задачі та методи досліджень. Метою даного дослідження є наукове обґрунтування технології обрушування дрібної фракції 3,2–3,4 мм (за товщиною) насіння соняшнику у замороженому стані. У відповідності з метою вирішувались наступні задачі:

- одержання з промислової фракції 3,4–3,6 мм кондитерського соняшнику лабораторного зразку дрібної фракції (3,2–3,4 мм за товщиною);
- визначення ефективних технологічних параметрів обрушування дрібної фракції

кондитерського соняшнику, яке забезпечує максимальний ступінь обрушування і вихід цілого ядра за температури 20 °С;

- виявлення закономірностей впливу температури охолодження до мінусових температур насіння на ступінь обрушування і вихід цілого ядра за умови ефективної швидкості обертання ротору насіннерушки.

Одержання лабораторного зразку дрібної фракції кондитерського соняшнику здійснено шляхом калібрування на щілинних лабораторних ситах промислової фракції 3,2–3,4 мм [7]. Охолодження насіння до мінусових температур чинилось сухим повітрям, яке охолоджували парою киплячого рідкого азоту. Схема установки охолодження показано на рис. 1.

Повітря для охолодження насіння забирається компресором 1, осушується в склянці 3, заповненій силікагелем, охолоджується в спіральній трубі 6, яку занурюють у ємкість 5 з киплячим рідким азотом 7. Далі охолоджене повітря потрапляє до нижньої частини теплоізолюваної камери охолодження 13, куди у перфоровану ємкість 9 поміщують наважку насіння 10. Температурний режим охолодження контролюється і підтримується апаратурно-програмним комплексом 16, 17, який на основі показань термопар 14 і 15 продукує сигнал для керування вентилем 2, який регулює обсяг повітря, що подається до установки. Установка також улаштована ротаметром 4 для фіксації кількості повітря, плоским трубчатим теплообмінником 6, патрубком 8 для подачі рідкого азоту, кришкою 11 ізольованої камери 13, термометром 12.

Технологічні показники початкового насіння визначались за допомогою стандартизованих методик, прийнятих в олійножировій галузі [7–9].

Ефективність процесу обрушування оцінювали за коефіцієнтом обрушування, цілісності ядра, складом рушанки, виходом цілого і незруйнованого ядра. Глумачення цих показників та методи їх розрахунку наведено в роботі [10].

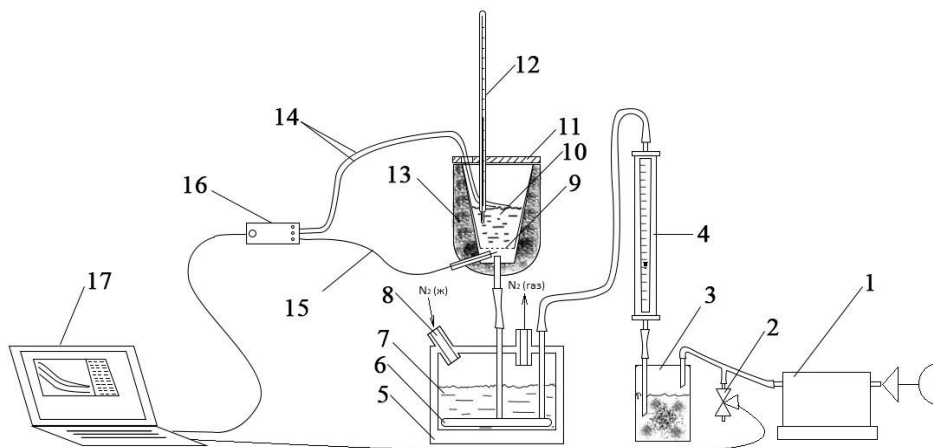


Рис. 1 – Схема установки охолодження

Викладення основного матеріалу досліджень. На першому етапі досліджень вирішувалась задача одержання лабораторного зразку дрібної фракції 3,2–3,4 мм (за товщиною) з промислової фракції насіння

соняшнику сорту «Лакомка» (3,4–3,6 мм) за допомогою лабораторних щілинних сит. Фракційний склад промислової фракції 3,4–3,6 мм соняшнику сорту «Лакомка» представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Фракційний склад промислової фракції насіння сорту «Лакомка»

Характеристика фракції за товщиною насіння, мм	Вихід фракцій, %
Більше 3,6	5,54
3,6 – 3,4	56,62
3,4 – 3,2	30,77
Менше 3,2	7,08
Всього	100,00

З таблиці 1 видно, що в промисловій фракції є насіння як мілкого так середнього розміру. Для подальших досліджень вибрано дрібну фракцію

насіння 3,2–3,4 мм, вихід якої складає майже 31%. У відібраному лабораторному зразку дрібної фракції визначено основні технологічні показники (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні технологічні показники насіння дрібної фракції сорту «Лакомка»

Склад насіння, вміст %		Вологість насіння та його морфологічних частин, %			Маса 1000 насіння, г (у перерахунку на абсолютно суху речовину)
Ядра	Лушпиння	Насіння	Ядро	Лушпиння	
70,57	29,43	5,87	3,50	8,70	63,82

Наступний етап дослідження – це визначення ефективних технологічних параметрів обрушування досліджуваної фракції, яке забезпечує максимальний вихід цілого і незруйнованого ядра за умови температури насіння 20 °С. Найважливішим технологічним параметром обрушування є діапазон швидкостей обертання ротору насіннерушки, який визначали за складом рушанки і показниками якості обрушування. Обрушування насіння досліджуваної фракції чинили на лабораторній «Насіннерушці–2 Іхно» [11] в широкому діапазоні швидкостей обертання ротору (800–1500 хв⁻¹) за умови

температури насіння 20 °С і вологості 5,87%. Одержану рушанку поділяли на складові: ціле ядро (в т.ч. незруйноване, з «носіком» – зН та зруйноване, без «носіка» – бН), січку, недоруш, ціляк, лушпиння.

За складом рушанки визначали коефіцієнти обрушування і збереження ядра, а також вихід цілого ядра, в т.ч. незруйнованого. Ефективний діапазон швидкостей обертання ротору насіннерушки визначали за максимальними виходами основних фракцій рушанки і найкращими характеристиками обрушування на підставі даних, представлених в табл. 3.

Таблиця 3 – Склад рушанки і вихід цілого ядра в залежності від швидкості обертання ротору за температури 20 °С

Склад рушанки	Вихід компонентів, % за умови W, хв ⁻¹						
	800	900	1000	1100	1200	1300	1500
Пил олійний	0,98	1,61	2,14	4,56	4,89	7,16	12,54
Ядро ціле	18,28	25,70	30,98	32,53	35,17	32,43	18,89
Ядро ціле бН	2,21	3,91	5,54	7,45	9,46	11,39	6,88
Ядро ціле зН	16,07	21,78	25,45	25,08	25,71	21,04	12,01
Січка	2,67	4,31	6,79	15,15	15,18	21,43	34,16
Недоруш	10,47	6,01	9,14	10,62	10,23	9,05	8,84
Ціляк	57,83	48,52	32,21	15,90	12,88	5,95	3,20
Лушпиння	9,77	15,20	17,73	21,24	22,96	24,48	23,38
Ядро зН, % цілого ядра	87,80	84,86	82,14	77,13	72,97	64,29	63,60
Ядро бН, % цілого ядра	12,15	15,16	17,85	22,87	27,03	35,71	36,36
Коефіцієнт зН/бН	7,27	5,60	4,60	3,37	2,70	1,80	1,75
Вихід цілого ядра, г/кг насіння	182,69	257,07	309,81	324,87	351,38	324,37	188,77
Вихід ядра зН, г/кг насіння	160,70	217,90	254,52	250,63	256,99	210,40	120,12

Аналіз представлених експериментальних даних (табл. 3) свідчить про те, що найбільший вихід цілого ядра спостерігається в інтервалі швидкостей обертання ротору від 1000 до 1200 хв⁻¹. За умови

більших значень швидкості обертання ротору вихід цілого ядра знижується і одночасно підвищується вихід олійного пилу та січки. Схожа закономірність спостерігається і для виходу цілого незруйнованого

ядра (зН). Більш того його вихід є вищим за вихід зруйнованого ядра (бН) у всьому досліджуваному діапазоні швидкостей обертання ротору.

Очікуваним є низький ступінь руйнування цілого ядра за умови низьких значень швидкості обертання ротору. Так, при $W = 800 \text{ хв}^{-1}$ вміст незруйнованого ядра (зН) складає майже 90 % від цілого ядра і знижується до 80 % при $W = 1100 \text{ хв}^{-1}$.

Аналіз експериментальних даних табл. 3 дозволяє визначити як ефективний технологічний параметр обрушування дрібної фракції насіння сорту «Лакомка» ($t=20^\circ\text{C}$) діапазон швидкостей обертання ротору насіннерушки від 1000 до 1200 хв^{-1} .

Останній етап цього дослідження присвячено виявленню закономірностей впливу охолодження до

мінусових температур насіння кондитерського сорту «Лакомка» на склад рушанки і характеристики обрушування в інтервалі ефективних значень швидкості обертання ротору насіннерушки. За результатами попередніх досліджень [4–6] інтервал значень швидкості обертання ротору розширено до значення 1300 хв^{-1} , а вибрана температура мінус 20°C є граничною, від якої починає виявлятися позитивний ефект дії «заморожування» на ступінь обрушування насіння. розширено до значення 1300 хв^{-1} , а вибрана температура мінус 20°C є граничною, від якої починає виявлятися позитивний ефект дії «заморожування» на ступінь обрушування насіння. інтервал значень швидкості Результати виконаних досліджень представлено в табл. 4–6.

Таблиця 4 – Склад рушанки в залежності від швидкості обертання ротору за температури мінус 20°C

Склад рушанки	Вихід компонентів, % за умови $W, \text{хв}^{-1}$		
	900	1100	1300
Пил олійний	1,42	2,56	4,96
Ядро ціле	24,04	37,38	39,87
Ядро ціле бН	2,19	6,40	12,10
Ядро ціле зН	21,85	30,98	27,77
Січка	2,60	8,32	16,16
Недоруш	16,51	13,75	9,13
Ціляк	42,24	17,33	6,28
Лушпиння	13,20	20,66	23,62

Таблиця 5 – Склад цілого ядра в залежності від швидкості обертання ротору за температури мінус 20°C

Склад ядра		Вихід компонентів, % за умови $W, \text{хв}^{-1}$		
		900	1100	1300
Потенціал ядра -70,57 % (табл.2)				
Ціле ядро	від маси рушанки	24,1	37,4	39,9
Ядро ціле бН		2,2	6,4	12,1
Ядро ціле зН		21,9	31,0	27,8
Ядро ціле	від маси потенціалу ядра	34,1	52,9	56,4
Ядро ціле бН		3,1	9,1	17,1
Ядро ціле зН		31,0	43,8	39,3
Ядро ціле бН	від маси цілого ядра	9,1	17,2	30,3
Ядро ціле зН		90,9	82,8	69,7
Коефіцієнт зН/бН		10,0	4,8	2,3
Вихід цілого ядра, г/кг насіння		241,09	374,00	398,95
Вихід цілого ядра зН, г/кг насіння		219,17	309,67	277,85

Таблиця 6 – Залежність коефіцієнтів обрушування, збереження цілого ядра і ефективності від температури обрушування насіння і швидкості обертання ротору насіннерушки

Найменування коефіцієнту	$t = 20^\circ\text{C}$			$t = -20^\circ\text{C}$		
	900 хв^{-1}	1100 хв^{-1}	1300 хв^{-1}	1100 хв^{-1}	1200 хв^{-1}	1300 хв^{-1}
Коефіцієнт обрушування	0,47	0,75	0,80	0,44	0,72	0,86
Коефіцієнт збереження ядра	0,78	0,64	0,54	0,82	0,77	0,67
Коефіцієнт ефективності	0,37	0,48	0,47	0,37	0,55	0,58

В результаті детального аналізу наведених результатів дослідження, зокрема, порівнюючи дані табл. 3–5 можна зробити висновок, що охолодження насіння соняшнику кондитерського сорту «Лакомка» перед обрушуванням до -20°C спричиняє позитивний ефект на вихід цілого ядра та його якість.

Наприклад, досягнуто за умови $W = 1300 \text{ хв}^{-1}$ таких результатів: 1) вихід цілого ядра збільшився з 32,43 до 39,9 % – на 23,0 %; 2) вихід цілого незруйнованого (зН) збільшився з 25,71 до 31,0 – на 21,0 %; 3) загальний вихід ядрової фракції, %, (ціле ядро з січкою) збільшився з 47,6 до 56,6, тобто на 19,0 %;

4) збільшився коефіцієнт збереження ядра з 0,54 до 0,67 % – на 24 %; 5) вихід олійного пилу знизився з 7,16 до 4,96 – на 44,0 %; 6) вихід січки знизився з 21,43 до 16,16 – на 33,0 %; 7) вихід цілого ядра зростає з 324,37 до 374,00 г/кг, тобто на 15,0 %, а незруйнованого – з 210,40 до 309,67 г/кг – на 47,0 %.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. В результаті проведених досліджень набуло подальшого розвитку теоретичне уявлення та практичні результати щодо

позитивного впливу попереднього заморожування на кількісні та якісні показники обрушування насіння соняшнику.

Визначено ефективні технологічні параметри обрушування дрібної фракції (3,2–3,4 мм) насіння кондитерського сорту «Лакомка», які не тільки забезпечують зростання виходу цілого ядра, але й суттєво збільшують вихід незруйнованого («з носиком») ядра, що є обов'язковою вимогою кондитерського виробництва.

Список літератури

1. Іхно М.П., 2004. Науково-практичні основи отримання та використання харчового безлущпинного ядра соняшника: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.06. НТУ «ХПІ», Харків, Україна, 30.
2. Іхно Н.П., 1999. Теория и практика получения низколущего ядра подсолнечника. Масложировая промышленность, 3, 19–21.
3. Фадеев Л.В., 2013. Подсолнечник Украины – сегодня и завтра. Спец. ЭММ, Харьков, Украина, 125.
4. Перевалов Л.И., Пивень Е.Н., Попсуйшакпа А.В., Тесленко С.А., 2012. Новая технология обрушивания семян подсолнечника. Масложировой комплекс. Эксперт Агро, Днепропетровск, Украина, 1, 47–49.
5. Taradaichenko Maria, Perevalov Leonid, Teslenko Sergiy, Pakhomova Irina, 2013. Optimal parameters of sunflower seeds dehulling process with fruz. Inzynieziar aparatura chemiz, Polska, 4, 374–375.
6. Перевалов Л.И., Попсуйшакпа А.В., Гладкий Ф.Ф. Пат. 114205 Україна. Спосіб обрушування соняшникового насіння, 2017.
7. Под общ. ред. В.П. Ржехина и А.Г. Сергеева, 1965. Руководство по методам исследования и теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. ВНИИЖ, Л., 2, 418.
8. Україна (2007) ДСТУ 4811. Насіння олійних культур. Методи визначення вологості. Національний науковий центр інституту землеробства НААН України, Київ.
9. Україна (2014) ДСТУ 7577. Насіння олійне. Визначення вмісту олії методом екстракції в апараті Сокслета. Держспоживстандарт України, Київ, Україна.
10. Тесленко С.О., Перевалов Л.И., Садовничий Г.В., 2013. Безлущпинне ядро соняшнику для отримання кондитерських виробів. Збірник наукових праць Харк. держ. ун-та харчування і торгівлі. Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, Харків, 2 (18), 84–91.
11. Іхно М.П. Пат. 17430 Україна, Насіннерушка-2 Іхно, 2000.

Bibliography (transliterated)

1. Ikhno M.P., 2004. Naukovo-praktychni osnovy otrymanna ta vykorystannia kharchovoho bezlushpynnoho yadra soniashnyka: Avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk: 05.18.06. NTU «KhPI», Kharkiv, , Ukraina, 30.
2. Ykhno N.P., 1999. Teoryia y praktyka polucheniya nyzkoluzhgovoho yadra podsolnechnyka. Maslozhyrovaia promyshlennost, 3, 19–21.
3. Fadeev L.V., 2013. Podsolnechnyk Ukrainy – sehodnia y zavtra. Spets. ЭММ, Kharkov, Ukrayna, 125.
4. Perevalov L.Y., Pyven E.N., Popsuishapka A.V., Teslenko S.A., 2012. Novaia tekhnolohyia obrushyvanyia semian podsolnechnyka. Maslozhyrovoi kompleks. Ekspert Ahro, Dnepropetrovsk, Ukrayna, 1, 47–49.
5. Taradaichenko Maria, Perevalov Leonid, Teslenko Sergiy, Pakhomova Irina, 2013. Optimal parameters of sunflower seeds dehulling process with fruz. Inzynieziar aparatura chemiz, Polska, 4, 374–375.
6. Perevalov L.I., Popsuishapka A.V., Hladkyi F.F. Pat. 114205 Ukraina. Sposib obrushuvannia soniashnykovoho nasinnia, 2017.
7. Pod obshch. red. V.P. Rzhekhyna y A.H. Serheeva, 1965. Rukovodstvo po metodam yssledovanyia y tekhnokhymicheskomu kontroliu y uchetu proyzvodstva v maslozhyrovoy promyshlennosti. VNIYZh, L. 2, 418.
8. Ukraina (2007) DSTU 4811. Nasinnia oliinykh kultur. Metody vyznachennia volohosti. Natsionalnyi naukovyi tsentr instytutu zemlerobstva NAAN Ukrainy, Kyiv.
9. Ukraina (2014) DSTU 7577. Nasinnia oliine. Vyznachennia vmistu olii metodom ekstraktsii v aparati Soksleta. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, Kyiv, Ukraina.
10. Teslenko S.O., Perevalov L.I., Sadovnychiy H.V., 2013. Bezlushpynne yadro soniashnyku dlia otrymanna kondyterskykh vyrobiv. Zbirnyk naukovykh prats Khark. derzh. un-ta kharchuvannia i torhivli. Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiia kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli, Kharkiv, 2 (18), 84–91.
11. Ikhno M.P. Pat. 17430 Ukraina, Nasinnierushka-2 Ikhno, 2000.

Надійшла (received) 23.03.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Перевалов Леонід Іванович (Перевалов Леонид Иванович, Perevalov Leonid Ivanovich) – професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3830-4398>; e-mail: perevalov.leonid43@gmail.com

Фадеев Леонід Васильович (Фадеев Леонид Васильевич, Fadeev Leonid Vasilevych) – директор ТОВ «Завод «Фадеев Агро», м. Харків, Україна; e-mail: fadeevagro@gmail.com

Тимченко Валентина Кузьмівна (Тимченко Валентина Кузьминична, Timchenko Valentina Kuzminichna) – професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5141-3807>

Д'яченко Михайло Валентинович (Дьяченко Михаил Валентинович, Diachenko Mykhailo Valentynovych) – РНР-розробник ТОВ «Фактор-ІТ»; м. Харків, Україна; e-mail: 23djak@gmail.com

К. О. ГАВРЮШЕНКО, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ

ТЕХНОЛОГІЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ ПОХІДНИХ РИЦИНОВОЇ КИСЛОТИ

Загальною метою представленого дослідження є визначення наукового підґрунтя технології поверхнево-активних речовин на основі амінокислот, це є актуальним для України, тому що вітчизняного виробництва таких речовин у нас немає. Практична значущість дослідження полягає в використанні отриманих поверхнево-активних речовин у складі миючих засобів замість солей алкілсульфатів. Одним з різновидів екологічно безпечних поверхнево-активних речовин, що м'яко діють на шкіру людини є ацил амінокислоти, які утворюються при дії на амінокислоту жирної кислоти. Запропоновано відносно просту в реалізації технологію біосумісних та біорозкладних поверхнево-активних речовин на основі амінокислот із використанням рицинової олії та амінооцтової кислоти як основної сировини. За результатами ІЧ-спектроскопії показано, що отримані ПАВ належать до амідів. Визначено їх основні поверхнево-активні властивості – поверхневий натяг та критичну концентрацію мицеллоутворення. Отримані ПАВ можуть бути використані у складі косметичних та миючих засобів, або самостійно у вигляді водного розчину.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, амоніліз, рицинова олія, гліцин, поверхневий натяг, ацил амінокислота.

Е. А. ГАВРЮШЕНКО, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ РИЦИНОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ

Общей целью представленного исследования является определение научной базы технологии поверхностно-активных веществ на основе аминокислот, это актуально для Украины, потому что отечественного производства таких веществ у нас нет. Практическая значимость исследования заключается в использовании полученных поверхностно-активных веществ в составе моющих средств вместо солей алкилсульфатов. Одной из разновидностей экологически безопасных поверхностно-активных веществ, которые мягко действуют на кожу человека есть ацил аминокислоты, которые образуются при воздействии на аминокислоту жирной кислоты. Предложено относительно простую в реализации технологию биосовместимых и биоразлагаемых поверхностно-активных веществ на основе аминокислот с использованием касторового масла и аминоексусной кислоты в качестве основного сырья. По результатам ИК-спектроскопии показано, что полученные ПАВ относятся к амидам. Определено их основные поверхностно-активные свойства - поверхностное натяжение и критическую концентрацию мицеллообразования. Полученные ПАВ могут быть использованы в составе косметических и моющих средств, либо самостоятельно в виде водного раствора.

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, аммонолиз, касторовое масло, глицин, поверхностное натяжение, ацил аминокислота.

К. О. HAVRIUSHENKO, F. F. GLADKIY

TECHNOLOGY OF SURFACE-ACTIVE RICINIC ACID DERIVATIVES

The overall purpose of the presented study is to determine the scientific basis of the technology amino acids based surfactants, this is relevant for Ukraine, because we dont have such production of domestic substances. The practical significance of the study is to use the surfactants obtained in the composition of detergents instead of alkyl sulfate salts. One of the varieties of environmentally friendly surfactants that have a gentle effect on human skin is acyl amino acids, which are obtained by the reaction of amino acids with fatty acids. A relatively simple to implement technology for biocompatible and biodegradable surfactants based on amino acids with the use of castor oil and aminoacetic acid as the main raw material is proposed. The results of IR spectroscopy show that the surfactants obtained are amides. Their basic surface-active properties are defined - surface tension and critical concentration of micelle formation. The obtained surfactants can be used in the composition of cosmetics and detergents, or independently in the form of an aqueous solution.

Keywords: surfactant, ammonolysis, castor oil, glycine, surface tension, acyl amino acid.

Вступ. Відомо, що в світі зростає попит на косметичні та миючі засоби, основу яких складають біорозкладні, корисні та безпечні для людини поверхнево-активні речовини (ПАВ) синтезовані з використанням амінокислот. ПАВ з відновлюваної сировини, що імітують природні ацил амінокислоти, є одним із бажаних варіантів для харчових, фармацевтичних та косметичних застосувань, оскільки вони сприятливо взаємодіють зі шкірою і волоссям, мають низьку токсичність, гіпоалергенні, не викликають подразнення очей і легко піддаються біологічному розкладанню.

Крім того, поверхнево-активні речовини на основі амінокислот мають кращу стабільність по відношенню до жорсткої води, а більшість з них мають відмінну емульгуючу здатність і антимікробну дію, що робить їх цінними в якості добавок в рецептурі харчових продуктів, косметики, засобів особистої гігієни і фармацевтичних препаратів [1–3]. Тому створення нових та удосконалення вже існуючих методів отримання ПАВ на основі амінокислот є надзвичайно актуальним.

© Гаврюшенко К.О., Гладкий Ф.Ф., 2020

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

Ацил амінокислоти є модифікованими жирними кислотами, в яких вуглеводневі ланцюги перериваються амідним зв'язком, що надає їм більшу розчинність та покращує адсорбційні характеристики [4].

В промисловості поверхнево-активні речовини на основі амінокислот отримують реакцією Шоттена-Баумана. Хлорангідрид жирної кислоти взаємодіє з натрієвою сіллю амінокислоти в присутності лужного каталізатора [5, 6], потім продукт реакції оброблюють соляною кислотою для отримання ацил амінокислоти.

Але, вищезазначений спосіб, включає стадію отримання хлорангідридів жирних кислот шляхом дії трихлориду фосфору (PCl_3) або тіонілхлориду (SOCl_2) на жирну кислоту. Цю реакцію, зазвичай, каталізує N,N – диметилформамід (ДМФА), що утворює комплекс з тіонілхлоридом. Виділити хлорангідриди жирних кислот з комплексу дуже важко, навіть при дистиляції. ДМФА є токсичною речовиною, тому забруднення ним кінцевого продукту реакції недопустимо [6].

Відомі способи одержання ацил амінокислот з використанням ферментів [7, 8]. Ферментативні реакції є альтернативними, за рахунок м'яких умов процесу та обмеженого використання хімічних речовин, але потребують більше часу та більш дорогих інгредієнтів, при низькому виході.

В роботі [9] синтез кокоіл гліцину проводиться з кокосової олії та гліцинату натрію, минаючи стадію одержання хлорангідридів жирних кислот, з наступною обробкою соляною кислотою (HCl). Цей процес спрощується в порівнянні з конденсацією Шоттена-Баумана та презентується як екологічно чистий спосіб, але використання в якості каталізатора метилату натрію є не доцільним, оскільки він є токсичною речовиною, спричиняє опіки шкіри та слизових оболонок. Метилат натрію швидко втрачає каталітичну активність внаслідок підвищеної реакційної здатності (при зберіганні реагує з вологою повітря, діоксидом вуглецю та ін.) [10]. Використання в якості основної сировини кокосової олії значно підвищує ціну готового продукту, тому що цей вид олійної культури не є характерним для регіонів з помірно-континентальним кліматом. Імпорт кокосової олії для виробництва даного продукту не є рентабельним та значно здорожує його собівартість. Застосування кокосової олії обумовлене наявністю в його складі лауринових та міристинових жирних кислот, невелика довжина їхнього вуглеводневого ланцюга забезпечує більш ефективне розчинення отриманих ПАР у воді.

Нами зазначена можливість використання рицинової олії для отримання поверхнево-активних похідних на основі амінокислот [11].

Рицинова олія містить 80–85 % 12-гідроксистеаринової кислоти, наявність ОН групи в

якій забезпечує більшу полярність молекули [12] цільового продукту та відповідно більшу його розчинність у воді, що являється альтернативою жирним кислотам кокосової олії. Крім того, рицинова олія гарно діє на шкіру та волосся, що являється одним із аспектів використання її в якості інгредієнта для виготовлення ПАР. Вона здатна посилювати синтез колагену, заживляє запалення та активізує роботу волосяних фолікул [13]. При взаємодії рицинової кислоти та гліцину утворюється молекула ПАР з амідним зв'язком, що також забезпечує більшу розчинність та поліпшує поверхнево-активні характеристики. Подібні ПАР можна застосовувати при виготовленні шампунів та миючих засобів, оскільки вони є гіпоалергенними та мають низьку токсичність [3]. Відомо, що аніоноактивні речовини складають більшу частину світового виробництва ПАР. Саме ці ПАР краще інших видаляють бруд з контактних поверхонь. Тому без них не обходиться жодний миючий засіб. Проте, миючі засоби на основі традиційних ПАР чутливі до солей жорсткості води. Йони Ca^{2+} та Mg^{2+} руйнують поверхнево-активний аніон. В результаті зменшується поверхнево-активні властивості таких засобів, а в дуже жорсткій воді вони втрачаються. Ацил амінокислоти являються більш стійкими до солей жорсткості, мають протимікробну дію, також являються гарними емульгаторами [14, 15].

Пізніше авторами [2] підтверджена ефективність використання рицинової кислоти як сировини для виготовлення ПАР на основі амінокислот.

Метою роботи є створення більш простої економічної, в порівнянні із вже існуючими, технології поверхнево – активних похідних амінокислот, яку можливо було б застосовувати в промислових масштабах.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- розробка способу одержання поверхнево-активних похідних жирних та амінокислот;
- визначення ступеня перетворення вихідних компонентів в цільовий продукт;
- визначення основних поверхнево-активних властивостей отриманого продукту, а саме поверхневого натягу, критичної концентрації міцелуутворення (ККМ) та піноутворюючої здатності;
- аналіз отриманих результатів.

Матеріали і методи дослідження.

Для проведення реакції амонілізу рицинової олії було використано наступні матеріали: олія рицинова, гліцерин, гідроксид натрію, амінооцтова кислота, вода дистильована.

Інфрачервоні спектри (ІЧ) були записані за допомогою спектрофотометра Specord 75 IR при кімнатній температурі.

Визначення поверхневого натягу водного розчину ПАР здійснювалось методом найбільшого тиску бульбашки повітря.

Значення ККМ було прийнято при перетині лінійних ділянок значень поверхневого натягу та логарифму концентрації ПАР.

Ступінь перетворення рицинової олії в кінцевий продукт розрахований шляхом визначення вмісту азоту в амідокислоті методом К'ельдаля та її числа нейтралізації.

Методика проведення дослідження.

1. Отримання амиду рицинової кислоти та гліцинату натрію.

Гліцинат натрію був отриманий шляхом реакції нейтралізації гліцину за допомогою водного розчину їдконого натру. Після чого, кількість гліцинату натрію та рицинової олії (кислотне число олії 0,8 мг їдконого калію КОН/г [16]) в мольному співвідношенні 1 : 3, поміщають до тригорлої колби, додають каталізатор – гліцерат натрію у кількості 0,3 % від маси реагуючих речовин. Каталізатор був приготований згідно з [9]. Суміш нагрівають при перемішуванні 4,5 годин. Температура процесу 160 °С. В результаті реакції одержуємо амід рицинової олії та натрієвої солі гліцину – натрієва сіль рициноіл гліцину. Реакційна суміш має коричневий колір, її охолоджують до 60 °С та розчиняють у воді. 20%-й водний розчин має світло-коричневий колір, є прозорим та однорідним, рН розчину близько 7. До

водного розчину додають 0,5 Н соляною кислотою (HCl), в результаті утворюється біла кремоподібна маса. Масу промивають водою та висушують при 105 °С до постійної маси. Після чого визначають число нейтралізації отриманої кислоти, що дорівнює 110 мг КОН/г. Порівнюючи визначене та теоретично розраховане число нейтралізації ступінь перетворення рицинової олії в амідокислоту складає 70%. Також, методом К'ельдаля визначено вміст азоту в отриманій кислоті, що дорівнює 1,6%, теоретично розрахована кількість азоту дорівнює 3,94%. Інфрачервоні спектри, приведені на рисунку 1, підтверджують наявність амідної групи в молекулі рициноіл гліцину [17].

2. Характеристика натрієвої солі рициноіл гліцину

Для доказу належності одержаного продукту до заявленого класу речовин отримані інфрачервоні спектри. На рисунку 1 представлено ІЧ спектри амідокислоти, отриманої нейтралізацією соляною кислотою натрієвої солі рициноіл гліцину. Для зняття спектру амідокислоту (яка при кімнатній температурі є мазеподібною речовиною) розчинили в вазеліновій олії, тому для порівняння на рисунку 2 наведений ІЧ спектр чистої вазелінової олії.

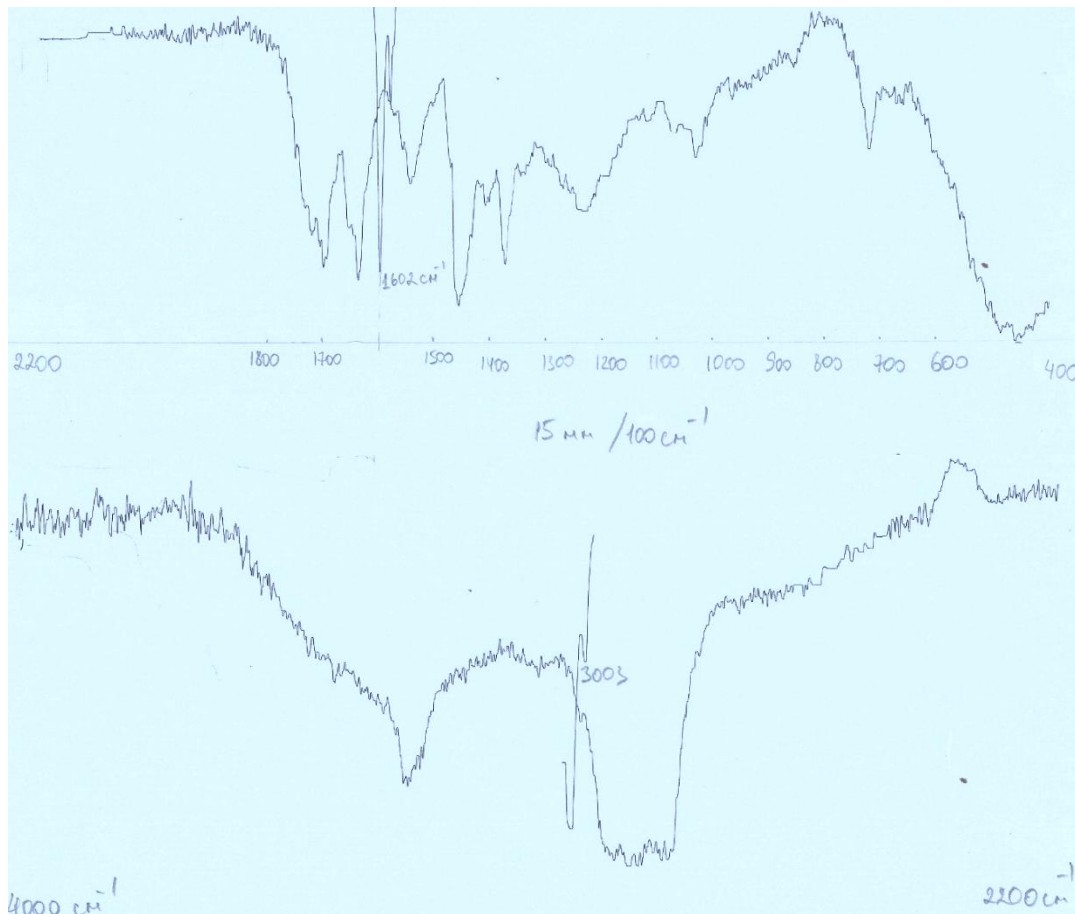


Рис. 1 – ІЧ спектр амідокислоти

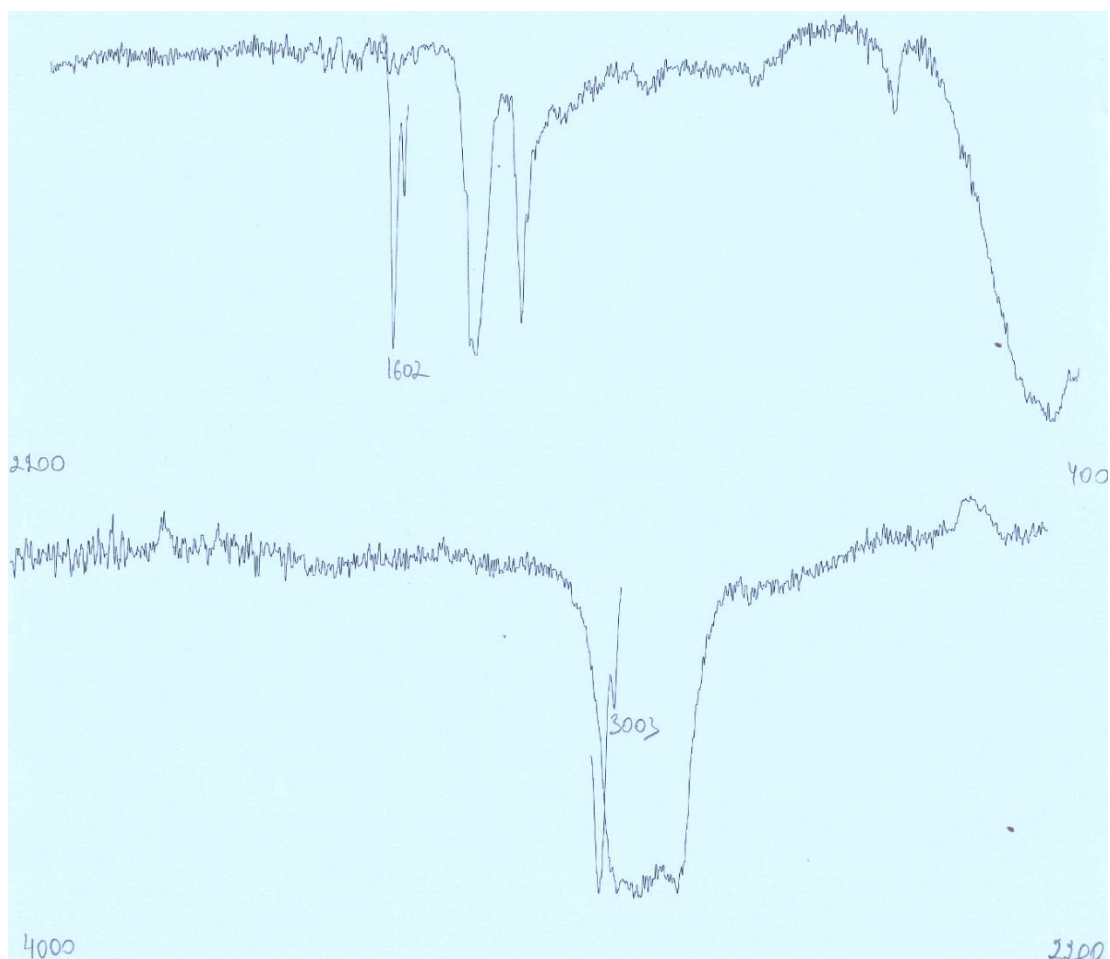


Рис. 2 – ІЧ спектр вазелінової олії

Як видно з рис. 1 в області 1635 cm^{-1} та 3303 cm^{-1} відбувається поглинання інфрачервоного випромінювання, що характерно для амідної групи [17].

3. Визначення поверхневого натягу.

Натрієва сіль рициноіл гліцина представляє собою аніонактивну ПАР.

Для визначення поверхневого натягу було приготовлено серію водних розчинів концентрацією від $0,02 \text{ г/мл}$ до $0,000625 \text{ г/мл}$.

Результати визначення поверхневого натягу отриманої натрієвої солі рициноіл гліцина наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Поверхневий натяг розчинів натрієвої солі рициноіл гліцина

№	Концентрація, %	Поверхневий натяг, мН/м
1	2,000	35,9
2	1,000	36,7
3	0,500	37,6
4	0,250	44,3
5	0,125	49,3
6	0,062	50,2

Зміну поверхневого натягу розчинів натрієвої солі рициноіл гліцина зображено на рис. 3.

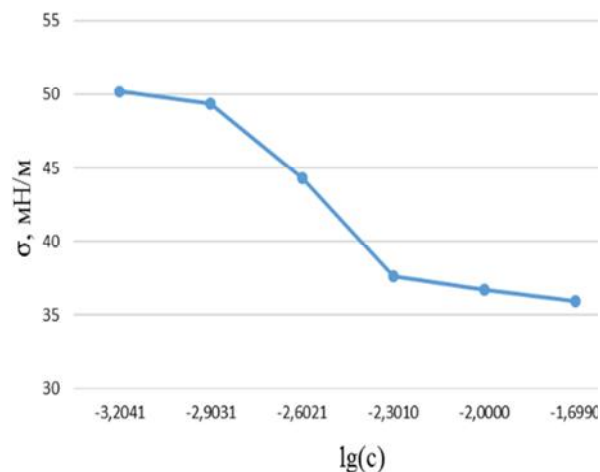


Рис. 3 – Ізотерма поверхневого натягу для натрієвої солі рициноіл гліцина при $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Критична концентрація міцелоутворення (ККМ) отриманих ПАР була визначена шляхом аналізу ізотерм поверхневого натягу.

Максимальна концентрація ПАР на поверхні розділу фаз визначена із рівняння Гіббса:

$$\Gamma_{\max} = - \frac{c}{RT} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta c} \quad (1)$$

де Γ_{\max} – надлишкова адсорбція ПАР, моль/м²;
 c – молярна концентрація ПАР в розчині, моль/л;
 R – газова постійна, Дж/моль·К;
 T – температура, при якій відбувається адсорбція, К;
 $\frac{\Delta\sigma}{\Delta c}$ – зміна поверхневого натягу розчину при зміні концентрації на Δc .

Дана величина характеризує адсорбційну здатність ПАР на границі розділу фаз, тобто по мірі додавання ПАР його молекули починають адсорбуватись в поверхневому шарі та знижувати поверхневий натяг.

Коли концентрація ПАР на поверхні більше, ніж в об'ємі, то спостерігається зменшення поверхневого натягу внаслідок утворення на межі поділу фаз адсорбованого шару. В цьому випадку $\Gamma_{\max} > 0$, при цьому величина поверхневої активності $\frac{\Delta\sigma}{\Delta c} > 0$. При нестачі речовини в поверхневому шарі $\Gamma_{\max} < 0$, тобто ПАР з поверхні переходить в розчин.

Виграш енергії (вільна енергія міцелоутворення, ΔG) при самовільному розподілу розчиненої речовини між водним розчином, адсорбційним шаром та міцелою знаходимо за формулою 3.2:

$$\Delta G = - RT \ln(N_M/N_A) \quad (3.2)$$

де N_M – мольна частина ПАР в міцелі;

N_A – мольна частина ПАР в адсорбційному шарі.

Результати отриманих розрахунків міжфазних показників натрієвої солі рициноіл гліцину наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків міжфазних показників натрієвої солі рициноіл гліцину

Показник дослідження	Величина
ККМ, моль/л	0,026
σ , мН/м	36,7
Γ_{\max} , нмоль/м ²	6,0
ΔG , кДж/моль	-18,9

4. Визначення піноутворюючої здатності.

Висота піни (мм) водних розчинів ПАР різної концентрації визначалась з 5 мл розчину. Результати визначення піноутворюючої здатності для розчинів натрієвої солі рициноіл гліцину (висота стовпу рідини – 35 мм; H_5/H_0 , % – відношення висоти стовпа піни через 5 хвилин до початкової висоти) наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Піноутворююча здатність розчинів натрієвої солі рициноіл гліцину

№	Концентрація, %	Початкова висота піни	Висота піни через 5 хв,	H_5/H_0 , %	Кратність піни, %
1	2,000	152	110	72,36	434,28
2	1,000	120	85	70,80	342,85
3	0,500	113	97	85,84	322,85
4	0,250	80	12	15,00	228,57
5	0,012	32	4	12,50	91,43
6	0,062	15	1	6,60	42,86

Зміну стійкості піни та її кратність в залежності від концентрації розчину натрієвої солі рициноіл гліцину наведено на рис. 4.

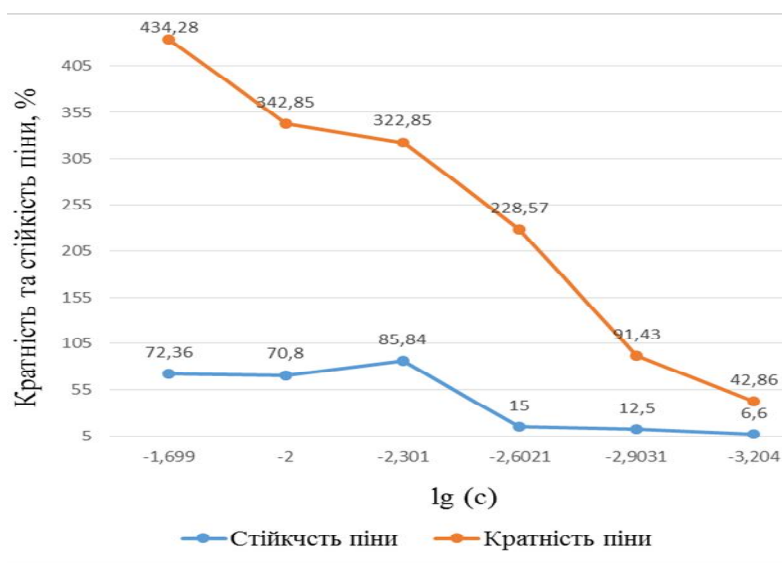


Рис. 4 – Залежність параметрів піни від концентрації розчинів

Результати досліджень свідчать, що найбільша стійкість піни властива розчинам з концентрацією 0,005 г/мл.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Показано можливість отримання поверхнево-активних похідних амінокислот шляхом амонілізу рицинової олії натрієвою сіллю гліцину.

Встановлено, що зазначені солі мають високу розчинність в воді і є ефективними поверхнево-активними речовинами.

Запропоновано використовувати натрієві солі рициноїл гліцину в складі миючих засобів для особистої гігієни, замість солей алкілсульфатів, враховуючи сприятливий вплив на шкіру людини складових частин нового продукту – рицинової і амінооцтової кислот.

Перспективним розвитком цього напрямку є можливість розширення області застосування ПАР на основі амінокислот, а саме використання натрієвої солі рициноїл гліцину у ролі компонента, що пригнічує появу пліснявих грибів та іншої мікрофлори у складі харчових продуктів.

Наявність ацильної групи рицинової кислоти забезпечує розчинність, отриманого ПАР у воді та ефективну солюбілізацію відносно полярних речовин, а тому натрієву сіль рициноїл гліцину можна застосовувати як емульгатор для косметичних засобів та продуктів харчування.

Список літератури

- Infante, M. R. Amino acid-based surfactants [Text] / M.R. Infante, L. Pérez, A. Pinazo, P. Clapes, M. C. Moran, M. Angelet, M. P. Vinardell // *Comptes Rendus Chimie*. – 2004. Vol. 7, Issue 6 – 7. – P. 583–592. doi: 10.1016/j.crci.2004.02.009
- Liu, C. Interfacial activities and aggregation behaviors of N-acyl amino acid surfactants derived from vegetable oils [Text] / C. Liu, Y. Wang, C. Chai, S. Ullah, G. Zhang, // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2018. – Vol. 559. – P. 54-59. doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.09.042
- Tripathy, D. B. Synthesis, chemistry, physicochemical properties and industrial applications of amino acid surfactants: A review [Text] / D. B. Tripathy, A. Mishra, J. Clark, T. Farmer // *Comptes Rendus Chimie*. – 2017. – Vol. 21, Issue 2. – P. 112–130. doi: 10.1016/j.crci.2017.11.005
- Lanigan, R. S. Final Report on the Safety Assessment of Cocoyl Sarcosine, Lauroyl Sarcosine, Myristoyl Sarcosine, Oleoyl Sarcosine, Stearoyl Sarcosine, Sodium Cocoyl Sarcosinate, Sodium Lauroyl Sarcosinate, Sodium Myristoyl Sarcosinate, Ammonium Cocoyl Sarcosinate, and Ammonium Lauroyl Sarcosinate [Text] // *International Journal of Toxicology*. – 2001. – Vol. 20, Issue 1. – P. 1–14. doi: 10.1080/10915810152902547X
- Mhaskar, S.Y. Synthesis of N-acyl aminoacids and correlation of structure with surfactant properties of their sodiumsalts [Text] / R.B.N. Prasad, G. Lakshminarayana // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 1990. – Vol. 67, Issue 12. – P. 1015-1019. doi: 10.1007/BF02541868
- Pat. US20150141682A1 Method to Produce N-Acyl Amino Acid Surfactants Using N-Acyl Amino Acid Surfactants or the Corresponding Anhydrides as Catalysts // Nirmal Koshti, Bharat Bhikaji Parab, Rajendra Subhash Powale, Archana Kishor Desai, Kamlesh Keshwar Barai, Pradnya Mandar Katdare, Bhagyesh Jagannath Sawant, Santosh Vishnu Kadam, Srinivas Uppalawamy Pilli // Publ. 21.05.2015.
- Fait, M.E. Biocatalytic synthesis, antimicrobial properties and toxicity studies of arginine derivative surfactants [Text] / M. E. Fait, G. L. Garrote, P. Clapés, S. Tanco, J. Lorenzo, S. R. Morcelle // *Amino Acids*. – 2015. – Vol. 47, Issue 7. – P. 1465-1477. doi: 10.1007/s00726-015-1979-0
- Bidin, H. Optimization of Lipase- Catalyzed Synthesis of Palm Amino Acid Surfactant Using Response Surface Methodology (RSM) [Text] / H. Bidin, M. Basri, S. Radzi. // *Industrial Crops and Products*. – 2009. – Vol. 30, Issue 2. – P. 206-211. doi: 10.1016/j.indcrop.2009.03.006
- Zhang, G. Green Synthesis, Composition Analysis and Surface Active Properties of Sodium Cocoyl Glycinate [Text] / G. Zhang, B. Xu, F. Han. // *American Journal of Analytical Chemistry*. – 2013. – Issue 4. – P. 445–450. doi: 10.4236/ajac.2013.49056
- Pat. 100531 UA, МПК А23D 9/02. Спосіб переетерифікації олій та жирів/Демидов І. Н.; заявитель и патентообладатель – Демидов И.Н.; заявл. 02.03.15; опубл. 27.07.15, Бюл. № 14.
- Гаврюшенко К.О., Федоров В.А., Литвиненко О.А., Гладкий Ф.Ф. Новий ефективний компонент косметичних продуктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – С. 215.
- Тютюнников, Б.Н. Химия жиров [Текст] / Б.Н. Тютюнников, З.И. Бухштаб, Ф.Ф. Гладкий и др. – М.: Колос, 1992. – 448 с.
- Аветисян М. Касторовое масло: польза и вред, способы применения. URL: fb.ru/article/190713/kastorovoe-maslo-dlya-chego-mojno-ispolzovat-kastorovoe-maslo-polza-i-vred-sposobyi-primeneniya (дата обращения 17.09.2019).
- Screenu, M. Synthesis, surface Active and Cytotoxicity of sodium N-acyl prolines [Text] / M. Screenu, R.B.N. Prasad, P. Sujitha, C. G. Kumar // *Journal of Oleo Science*. – 2015. – Vol. 64, Issue 11. – P. 1175-1184. doi: 10.5650/jos.ess15077
- Pinazo, A. Amino acid-based surfactants: New antimicrobial agents [Text] / M.A. Manresa, A.M. Marques, M. Bustelo, M.J. Espuny, L. P´erez // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2016. – Vol. 228. – P. 17-39. doi: 10.1016/j.cis.2015.11.007
- Товажнянский Л.Л., Бухкало С.І., Денисова А.С., Демидов І.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи). Підручник. – К.: ЦНЛ, 2016. 470 с.
- Гороновский, И.Т. Краткий справочник по химии [Текст] / Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч. – К.: Наукова думка, 1987. 829 с.

References (transliterated)

- Infante, M. R. Amino acid-based surfactants [Text] / M.R. Infante, L. Pérez, A. Pinazo, P. Clapes, M. C. Moran, M. Angelet, M. P. Vinardell // *Comptes Rendus Chimie*. – 2004. Vol. 7, Issue 6 – 7. – P. 583–592. doi: 10.1016/j.crci.2004.02.009
- Liu, C. Interfacial activities and aggregation behaviors of N-acyl amino acid surfactants derived from vegetable oils [Text] / C. Liu, Y. Wang, C. Chai, S. Ullah, G. Zhang, // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2018. – Vol. 559. – P. 54-59. doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.09.042
- Tripathy, D. B. Synthesis, chemistry, physicochemical properties and industrial applications of amino acid surfactants: A review [Text] / D. B. Tripathy, A. Mishra, J. Clark, T. Farmer // *Comptes Rendus Chimie*. – 2017. – Vol. 21, Issue 2. – P. 112–130. doi: 10.1016/j.crci.2017.11.005
- Lanigan, R. S. Final Report on the Safety Assessment of Cocoyl Sarcosine, Lauroyl Sarcosine, Myristoyl Sarcosine, Oleoyl Sarcosine, Stearoyl Sarcosine, Sodium Cocoyl Sarcosinate, Sodium Lauroyl Sarcosinate, Sodium Myristoyl Sarcosinate, Ammonium Cocoyl Sarcosinate, and Ammonium Lauroyl Sarcosinate [Text] // *International Journal of Toxicology*. – 2001. – Vol. 20, Issue 1. – P. 1–14. doi: 10.1080/10915810152902547X
- Mhaskar, S.Y. Synthesis of N-acyl aminoacids and correlation of structure with surfactant properties of their sodiumsalts [Text] / R.B.N. Prasad, G. Lakshminarayana // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 1990. – Vol. 67, Issue 12. – P. 1015-1019. doi: 10.1007/BF02541868
- Pat. US20150141682A1 Method to Produce N-Acyl Amino Acid Surfactants Using N-Acyl Amino Acid Surfactants or the Corresponding Anhydrides as Catalysts // Nirmal Koshti, Bharat Bhikaji Parab, Rajendra Subhash Powale, Archana Kishor Desai, Kamlesh Keshwar Barai, Pradnya Mandar Katdare, Bhagyesh Jagannath Sawant, Santosh Vishnu Kadam, Srinivas Uppalawamy Pilli // *Publ.21.05.2015*.
- Fait, M.E. Biocatalytic synthesis, antimicrobial properties and toxicity studies of arginine derivative surfactants [Text] / M. E. Fait, G. L. Garrote, P. Clapés, S. Tanco, J. Lorenzo, S. R. Morcelle // *Amino Acids*. – 2015. – Vol. 47, Issue 7. – P. 1465-1477. doi: 10.1007/s00726-015-1979-0
- Bidin, H. Optimization of Lipase- Catalyzed Synthesis of Palm Amino Acid Surfactant Using Response Surface Methodology (RSM) [Text] / H. Bidin, M. Basri, S. Radzi. // *Industrial Crops and Products*. – 2009. – Vol. 30, Issue 2. – P. 206-211. doi: 10.1016/j.indcrop.2009.03.006
- Zhang, G. Green Synthesis, Composition Analysis and Surface Active Properties of Sodium Cocoyl Glycinate [Text] / G. Zhang, B. Xu, F. Han. // *American Journal of Analytical Chemistry*. – 2013. – Issue 4. – P. 445–450. doi: 10.4236/ajac.2013.49056.
- Pat. 100531 UA, MPK A23D 9/02. Sposib pereeterifikacii olij ta zhiriv/Demidov I. N.; zajavitel' i patentoobladatel' – Demidov I.N.; zajavl. 02.03.15: opubl. 27.07.15, Bjul. № 14.
- Gavrjushenko K.O., Fedorov V.A., Litvinenko O.A., Gladkij F.F. Novij efektivnij komponent kosmetichnih produktiv. Informacijni tehnologiji: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Harkiv: NTU «HPI». – P. 215.
- Tjutjunnikov, B.N. Himija zhirov [Tekst] / B.N. Tjutjunnikov, Z.I. Buhstjab, F.F. Gladkij i dr. – M.: Kolos, 1992. – 448 p.
- Avetisjan M. Kastorovoe maslo: pol'za i vred, sposoby primeneniya. URL: fb.ru/article/190713/kastorovoe-maslo-dlya-chego-mojno-ispolzovat-kastorovoe-maslo-polza-i-vred-sposobyi-primeneniya (data obrashheniya 17.09.2019).
- Screenu, M. Synthesis, surface Active and Cytotoxicity of sodium N-acyl prolines [Text] / M. Screenu, R.B.N. Prasad, P. Sujitha, C. G. Kumar // *Journal of Oleo Science*. – 2015. – Vol. 64, Issue 11, pp. 1175–1184. doi: 10.5650/jos.ess15077
- Pinazo, A. Amino acid-based surfactants: New antimicrobial agents [Text] / M.A. Manresa, A.M. Marques, M. Bustelo, M.J. Espuny, L. P'erez // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2016. – Vol. 228. – P. 17-39. doi: 10.1016/j.cis.2015.11.007
- Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Denisova A.C., Demidov I.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). Pidruchnik. – K.: CNL, 2016. 470 p.
- Goronovkij, I.T. Kratkij spravochnik po himii [Tekst] / Ju.P. Nazarenko, E.F. Nekrjach. – K.: Naukova dumka, 1987. 829 p.

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гаврюшенко Катерина Олександрівна (Гаврюшенко Екатерина Александровна, Havriushenko Kateryna Oleksandrivna) – аспірант кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-0411-6532>; e-mail: katealefarova@gmail.com

Гладкий Федір Федорович (Гладкий Федор Федорович, Gladkiy Fedir Fedorovich) – професор, доктор технічних наук, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-7995-0863>; e-mail: gladky2009@gmail.com

С. І. БУХКАЛО, С. П. ІГЛІН, В. О. ОЛЬХОВСЬКА

АНАЛІЗ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІЗНОВИДІВ МАЙОНЕЗУ

У матеріалах статті розглянуті можливості визначення реологічних властивостей для технологічних процесів виробництва майонезу. Розробки проведені з метою вибору сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій: 1) різновидів технології та їх закономірностей з урахуванням специфічних особливостей компонентів; 2) на різних стадіях проектування і обґрунтування моделей устаткування. Представлені приклади і деякі особливості можливих рішень, які засновані на експериментальних даних розробки механізмів процесів і їх наукового обґрунтування у вигляді об'єктів технології. Проблеми технології майонезів розглядається у вигляді складних комплексних процесів, їх досліджень, аналізу енерго- і ресурсозберігаючих складових. Проаналізовано умови застосування реологічних властивостей та їх параметри, сформовано рекомендації для вибору реологічної моделі конкретного неньютонівського середовища.

Ключові слова: технологія майонезу; реологічні моделі; специфічні особливості виробництва.

С. И. БУХКАЛО, С. П. ИГЛИН, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ

АНАЛИЗ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЛЯ РАЗНОВИДНОСТЕЙ МАЙОНЕЗА

В материалах статьи рассмотрены возможности определения реологических свойств для технологических процессов производства майонеза. Разработки проведены с целью выбора современных высокоэффективных научно-обоснованных технологий: 1) разновидностей технологии и их закономерностей с учетом специфических особенностей компонентов; 2) на различных стадиях проектирования и обоснования моделей оборудования. Представлены примеры и некоторые особенности возможных решений, которые основаны на экспериментальных данных разработки механизмов процессов и их научного обоснования в виде объектов технологии. Проблемы технологии майонезов рассматривается в виде сложных комплексных процессов, их исследований, анализа энерго- и ресурсосберегающих составляющих. Проанализированы условия применения реологических свойств и их параметры, сформированы рекомендации для выбора реологических моделей конкретной неньютонической среды продукта.

Ключевые слова: технология майонеза; реологические модели; специфические особенности производства.

S. I. BUKHALO, S. P. IGLIN, V. O. OLKHOVSKA

ANALYSIS RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MAYONNAISE MASS

The materials presented of innovative development opportunities determination of rheological properties for technological processes of mayonnaise production. The developments have been carried out with the aim of selecting modern highly efficient science-based technologies: 1) types of technology and their regularities, taking into account specific features of the components; 2) at different stages of design and justification of equipment models. Examples and some features of possible solutions are presented, which are based on experimental data of the development of process mechanisms and their scientific substantiation in the form of objects of technology. The materials are devoted to the results of researches of properties of technical and technological innovations of modern systems as object studies the possibility of complex properties in the development system increasing the economic efficiency of new sources. A review of the literature and the necessary articles written on the subject: as technologies and develop and become more complex, energy needs increase greatly; types and evidence-based methods of new material resource, as well as the possibility of calculating the basic set of main indicators are classified; identified possible areas of work in obtaining the necessary results. The conditions of application of rheological models and their parameters are analyzed, recommendations in relation to the selection of model for a particular non-Newtonian fluid are formed.

Keywords: technological processes of mayonnaise production; rheological models; scientifically sound methods.

Вступ. Виробництво майонезу та майонезних соусів – динамічно зростаюче багатотоннажне виробництво з щорічним приростом на 7–8%. Для комплексу фізичних властивостей різновидів майонезів реологічні (структурно-механічні) властивості є дуже важливими: вони характеризують агрегатний стан, дисперсність, будову, структуру і вид взаємодії всередині продукту [1–5].

Застосування реологічних вимірювань та їх аналіз з метою визначення моделей у виробництві майонезу дуже різноманітні: інженерні (гідродинамічні, геометричні, кінематичні) розрахунки технологічного обладнання, насамперед таких, як логістичні – трубопроводи, насоси; теплообмінні – теплообмінники тощо; визначення функціональних можливостей інгредієнтів під час

розробки продукту; контроль якості сировини, напівфабрикатів і кінцевих продуктів; випробування властивостей матеріалів під час збереження; оцінка структури продукту з кореляцією його якісних показників; аналіз реологічних рівнянь стану або фундаментальних рівнянь та ін. Серед неньютонівських рідин зустрічаються матеріали, різноманітні за своїми реологічними властивостями – залежно від його стану і умов навантаження вони проявляють різні реологічні властивості. Наприклад, в процесі технологічної обробки один і той самий продукт переходить із одного реологічного стану в інший, часто протилежний за своїми властивостями до першого.

© Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська В.О., 2020

Вдосконалення усього технологічного комплексу неможливе без врахування реологічних властивостей речовин в тому діапазоні напружень (зсуву), які застосовуються в технологічних апаратах. Дані реологічних вимірювань дають змогу інтенсифікувати технологічні процеси і забезпечують необхідний об'єм безперервного виробництва продукції з одночасним покращанням її якості [6–8].

Загальна характеристика особливостей сировини та продукту. Майонез – багатокомпонентний харчовий продукт, це сметаноподібна дрібнодисперсна емульсія типу «олія в воді». Його виготовляють з рафінованих дезодорованих рослинних олій з додаванням води, сухого молока, яєчного порошку, цукру, емульгатору, стабілізатору, смакових добавок і пряностей. Залежно від складу й призначення майонези підрозділяють на: 1) закуочні – столові, із прянощами, з добавками; 2) десертні – замість оцтової кислоти вводять лимонну, солодкі добавки (фруктово-ягідні повідла) і харчові есенції; 3) дієтичні – цукор замінений ксилітом або сорбітом. Найбільшим попитом користується густий майонез із жирністю 67% – до таких відноситься й традиційно популярний «Провансаль» (табл. 1).

Основний інгредієнт майонезу – рослинне рафіноване й дезодороване масло, саме на нього приходиться основна собівартість продукту. За консистенцією майонези можуть бути: 1) сметаноподібними – Провансаль, Молочний, із прянощами та інші; пастоподібними – у майонез типу Провансаль додають казеїн, яєчний жовток у порошок, а частину рослинного масла заміняють гідрогенізованим жиром; 2) порошкоподібними – одержують шляхом сублімаційного або розпилювального сушіння високодисперсної майонезної емульсії, приготовленої на основі відповідних рецептурних компонентів.

Майонез виготовляють з додаванням пряностей і фруктових наповнювачів, наприклад: із хроном, червоним перцем, коріандром, томатною пастою, лимонною есенцією, різного роду фруктовими соками та ін. Майонез виробляють завдяки змішуванню різних компонентів і їх наступної гомогенізації, при якій частки рослинного масла

розчиняються в частках води, розщеплюючись до 5 мікронів (при звичайному змішуванні це неможливо). Термін зберігання майонезу всього 1 місяць, але при використанні спеціальних добавок-емульгаторів його можна збільшити до декількох місяців.

Узагальнена функціональна схема виробництва майонезу (рис. 1) незалежно від апаратного оформлення процесу має підготовчі, основні та заключні стадії. До ієрархії-класифікації важливих стадій систем виробництва майонезів відносять: підготовка окремих компонентів рецептурного складу; підготовка пасти-основи, що емульгує та структурує; підготовка «грубої» емульсії; підготовка, дрібнодисперсної емульсії (гомогенізація); введення смакових і ароматичних добавок, які неможливо було ввести на попередніх стадіях. Виробництво майонезу починається з підготовки й дозування рецептурних компонентів. Також дозується необхідна кількість води в головний бак-змішувач. Потім треба провести готування гірчично-молочної пасти. Для цього в одному баку (змішувачі) змішують воду, сухе молоко, гірчичний порошок, цукровий пісок і соду. Після завантаження інгредієнтів включають систему перемішування суміші, отриману суміш пастеризують і перекачують в основний бак-гомогенізатор. При наявності додаткового бака готують яєчну пасту: для цього змішують воду і яєчний порошок, нагріваючи суміш до температури 65 °С, охоложену масу перекачують у головний змішувач-гомогенізатор. Далі в головний змішувач подається рослинне масло. Одночасно із цим готується сольовий розчин і за аналогічною схемою готується розчин оцтової кислоти в малому змішувачі відповідно до рецептури. В отриманий оцтовий розчин додається сольовий розчин і також ретельно перемішується, надходячи в основну ємність-гомогенізатор. Потім готується первісна «груба» емульсія – для цього отримана суміш перемішується. Візуально ця емульсія повинна мати однорідний вигляд і не розшаровуватися при слабкому перемішуванні. Але це ще не готовий майонез. Груба емульсія повинна пройти процес гомогенізації, що здійснюється завдяки багаторазовому прокачуванню суміші через однойменний пристрій. У результаті чого й виходить вже готовий майонез.

Таблиця 1 – Приклади рецептури деяких різновидів майонезів

Сировина і матеріали	Масова доля компонентів, %		
	«Провансаль»	«Любительський»	«Салатний»
Масло дезодороване	65,4	46,0	35,0
Яєчний порошок	5,0	5,0	6,0
Молоко сухе знежирене	1,6	1,6	2,5
Цукор (пісок)	1,05	1,5	3,0
Сіль поварена харчова	1,0–1,3	1,1	1,5–2,0
Гірчичний порошок	0,75	0,25–0,75	1,2
Оцтова кислота (80%)	0,55–0,75	0,65	0,55–0,75
Сода харчова	0,05	0,05	0,05
Альгінат натрію	–	0–0,05	1,5–2,0
Вода	24,15–23,65	43,85–42,85	24,15–23,65

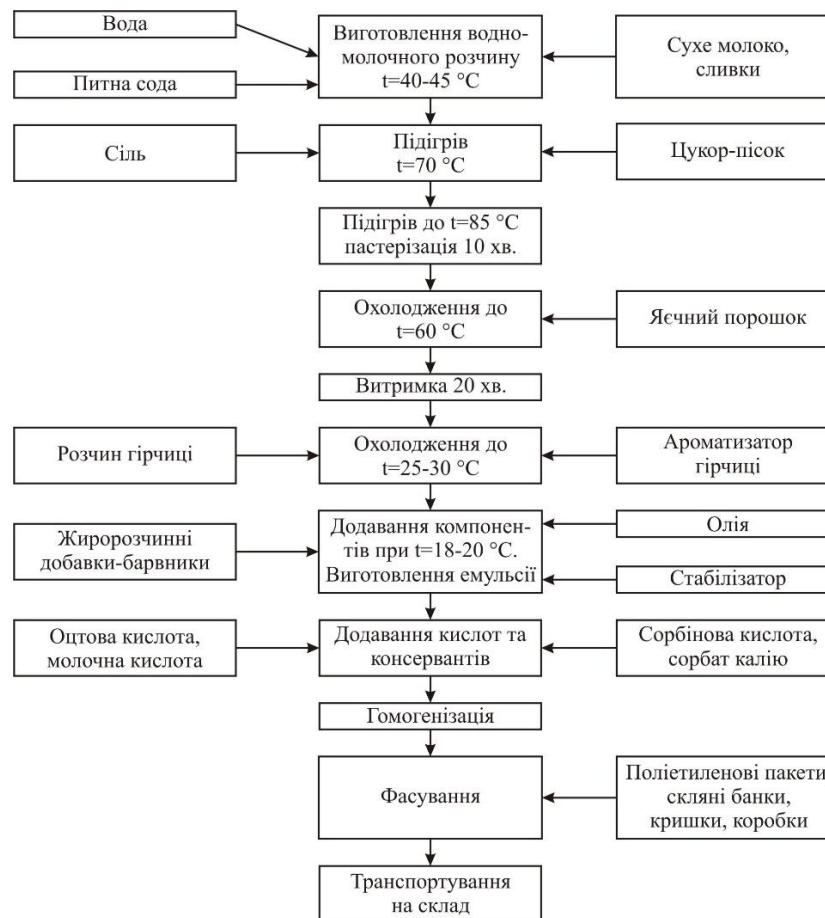


Рис. 1. Функціональна схема виготовлення майонезу

З партії майонезу відбирається проба: вона повинна бути зовсім однорідної, без розшарувань, грудочок, і мати характерну для неї в'язкість, а також колір, смак і запах. Потім майонез необхідно перекачати в спеціальну ємність для готової продукції, звільнивши головний бак для нового циклу. Зараз практично будь-яке устаткування, що продається, дозволяє одержувати високоякісний майонез, але тут важливо знайти точне співвідношення: майонез повинен бути якісним, і одночасно дешевим – саме тоді він буде користуватися підвищеним попитом [9–12].

Реологічні показники консистенції емульсійних продуктів, які проявляють властивості неньютонівських рідин проводять з метою оцінки консистенції емульсійних жирових продуктів і, тим самим, забезпечують контроль необхідних структурно-механічних характеристик продукту.

Визначені необхідні експериментальні характеристики з реологічних властивостей різновидів майонезів не завжди, наприклад, мають криву течії, яку можна описати одним рівнянням – тоді реологічні характеристики можна визначити для окремих інтервалів напруги або деформації. Таким чином, коли експериментальна крива не описується одним рівнянням, її розбивають на ланки та апроксимують різними рівняннями на різних ланках.

Умовами стикування різних гілок теоретичної кривої є неперервність та, можливо, гладкість.

Параметри моделі (коефіцієнти, що входять у рівняння, та точки перемикання різних аналітичних виглядів) знаходяться з методу найменших квадратів, що є наслідком гіпотез математичної статистики, які у нас виконуються:

1. Всі вимірювання незалежні.
2. Під час вимірювань немає систематичних похибок та промахів.
3. На результати вимірювань впливає багато дрібних випадкових факторів, серед яких немає переважних. Тоді згідно з центральною граничною теоремою теорії ймовірностей результати вимірювань розподілені за нормальних законом.
4. Всі вимірювання рівноточні.

Адекватність математичної моделі з m параметрами можна оцінити за її вибірковою дисперсією, яка обчислюється за формулою: $S^2 = L_{\min}/f$, де L_{\min} – сума квадратів відхилень експериментальних значень від теоретичних, а f – кількість ступенів волі, яка дорівнює кількості даних мінус кількість параметрів моделі: $f = n - m$.

Для побудови теоретичних залежностей ми використовували математичний пакет MATLAB, в якому є функція `nlinfilt` для нелінійної апроксимації.

Щоб її запустити, треба передати їй абсциси та ординати експериментальних точок, вигляд функції математичної моделі та початкову точку для пошуку мінімуму суми квадратів. Експериментальні дані для залежності $D_1(\tau)$ показані на рис. 2. Серед запропонованих моделей найкраще підходить ступенева: $D_1 = k\tau^n$. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_1 = 0.00033818 \cdot \tau^{2.07494285}.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 1903290$.

Експериментальні дані для залежності $D_2(\tau)$ показані на рис. 3. Тут теж підбиралася ступенева модель. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_2 = 0.00000175 \cdot \tau^{2.66663476}.$$

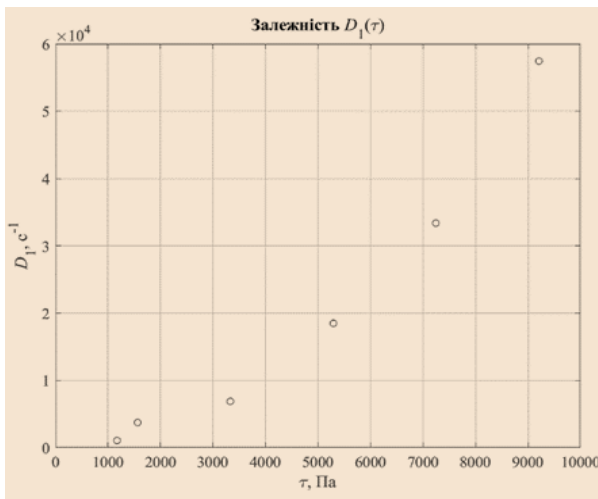


Рис. 2. Експериментальні дані для залежності $D_1(\tau)$: Майонез «Столовий»

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 3.048 \times 10^7$.

Експериментальні дані для залежності $D_3(\tau)$ показані на рис. 4. Тут теж підбиралася ступенева модель. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_3 = 0.00105525 \cdot \tau^{2.08983716}.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 2.13 \times 10^8$.

Експериментальні дані для залежності $D_4(\tau)$ показані на рис. 5. Тут теж підбиралася ступенева модель. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_4 = 0.00027574 \cdot \tau^{2.12973529}.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 1.173 \times 10^8$.

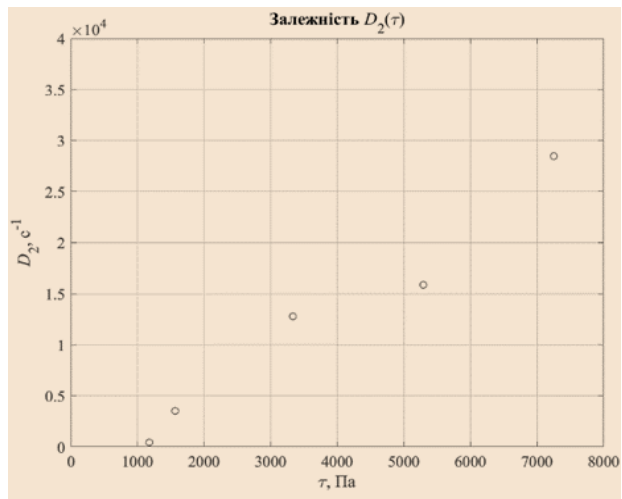


Рис. 3. Експериментальні дані для залежності $D_2(\tau)$: Майонез «Провансаль1»

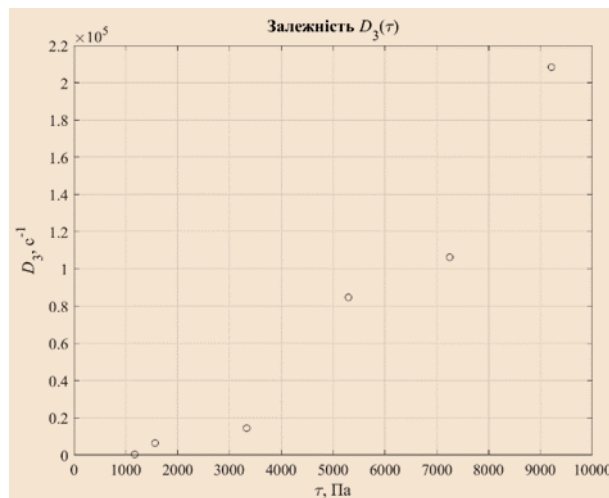


Рис. 4. Експериментальні дані для залежності $D_3(\tau)$: Майонез «Домашній для дітей»

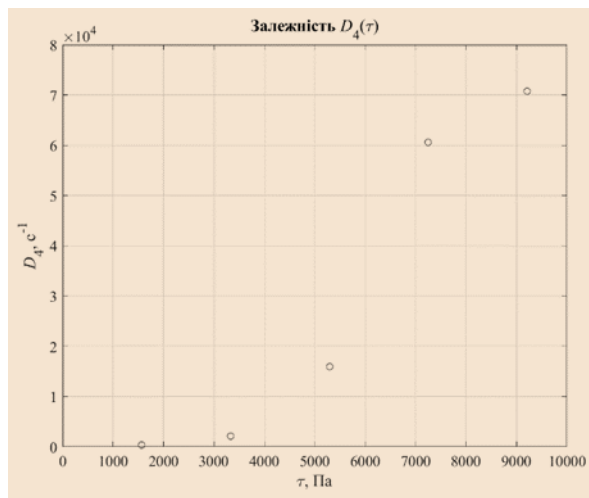


Рис. 5. Експериментальні дані для залежності $D_4(\tau)$: Майонезний соус «Легкий1»

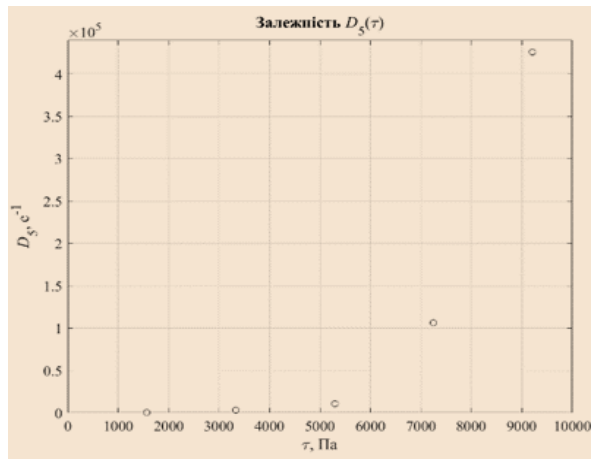


Рис. 6. Експериментальні дані для залежності $D_5(\tau)$: Майонез «Провансаль2»

Експериментальні дані для залежності $D_5(\tau)$ показані на рис. 6. Тут ступенева модель не підходить: на графіку експериментальних даних ми бачимо спочатку лінійну ділянку, а потім вже ступеневу. Тому будемо підбирати лінійно-ступеневу модель (модель з перемиканням) у такому вигляді:

$$D_5 = a\tau, \text{ якщо } \tau \leq \tau_0; D_5 = a\tau + k(\tau - \tau_0)^n, \text{ якщо } \tau > \tau_0.$$

Визначена за цією моделлю функція $D_5(\tau)$ є неперервною та гладкою у точці τ_0 . Невідомих параметрів моделі тут 4: це τ_0 , a , k та n . За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_5 = 1.62904108 \cdot \tau, \text{ якщо } \tau \leq 5389.997; \\ D_5 = 1.62904108 \cdot \tau + 0.01959872 \cdot (\tau - 5389.997)^{2.043834}, \text{ якщо } \tau > 5389.997.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 1.3076 \times 10^7$.

Експериментальні дані для залежності $D_6(\tau)$ показані на рис. 7. Тут теж підбиралася лінійно-ступенева модель з перемиканням, як і для $D_5(\tau)$. За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_6 = 2.192727 \cdot \tau, \text{ якщо } \tau \leq 5443.154; \\ D_6 = 2.192727 \cdot \tau + 0.01971012 \cdot (\tau - 5443.154)^{2.045088}, \text{ якщо } \tau > 5443.154.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 9866866$. Експериментальні дані для залежності $D_7(\tau)$ показані на рис. 8. Тут на малюнку чітко видно, що є два відрізки ламаної прямої. Тому будемо підбирати лінійно-лінійну модель з перемиканням, але з точкою зламу:

$$D_7 = a\tau, \text{ якщо } \tau \leq \tau_0; D_7 = a\tau + b(\tau - \tau_0), \text{ якщо } \tau > \tau_0.$$

Визначена за цією моделлю функція $D_7(\tau)$ є неперервною в точці τ_0 , але набуває там зламу.

Невідомих параметрів моделі тут 3: це τ_0 , a та b .

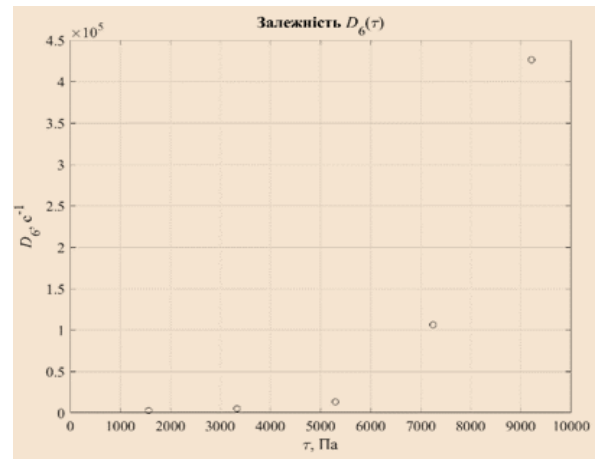


Рис. 7. Експериментальні дані для залежності $D_6(\tau)$: Майонезний соус «Сімейний»

За допомогою методу найменших квадратів була побудована математична модель:

$$D_7 = 1.79664397 \cdot \tau, \text{ якщо } \tau \leq 5478.3648; \\ D_7 = 1.79664397 \cdot \tau + 52.611 \cdot (\tau - 5478.3648), \text{ якщо } \tau > 5478.3648.$$

Її вибіркова дисперсія $S^2 = 2149338$.

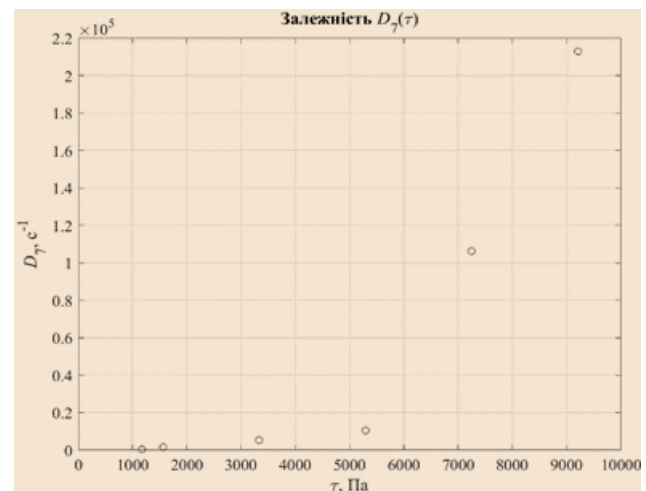


Рис. 8. Експериментальні дані для залежності $D_7(\tau)$: Майонезний соус «Легкий2»

Ефективну в'язкість η (Па·с) як результат виміру для дослідження випробуваного середовища при температурі T °С у момент часу t обчислюють за формулою:

$$\eta = \tau / D,$$

де τ – напруга зрушення, Па; D – середня швидкість деформації зрушення, c^{-1} .

Властивості в'язкості випробуваного середовища при даній температурі визначаються кривою ефективної в'язкості, що встановлює залежність ефективної в'язкості від середньої швидкості деформації зрушення.

Як відомо в'язкість неньютонівських рідин при заданих температурах та тиску не залишається незмінною, а залежить від швидкості деформації та інших факторів, тому залежність напруги зрушення від швидкості зсуву має нелінійний характер (рис. 9). Але слід відзначити, що одна й та ж речовина залежно, наприклад, від концентрації може проявляти різні види течії.

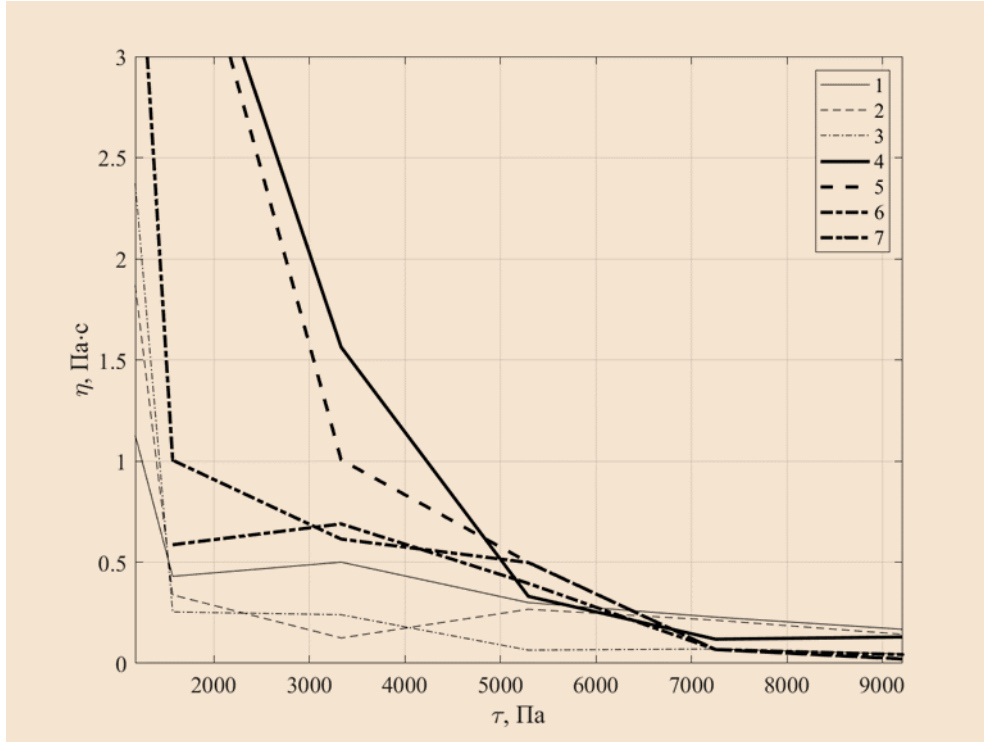


Рис. 9. Експериментальні дані залежності $\eta(\tau)$ для різновидів майонезу: «Столовий» (1), «Провансаль» – відповідно 1(2) та 2(5), «Домашній для дітей» (3); майонезних соусів «Легкий1,2» (4, 7), «Сімейний» (6)

При $D=0$, відповідно при $\alpha_0=0$ (α – кут нахилу дотичної до кривої), в'язкість стає нескінченно великою. Але практично знаходять кінцеве значення цієї в'язкості – при $n=1$ степінний закон зводиться до виразу Ньютона.

Степінний закон описує в'язкість різних неньютонівських харчових матеріалів: різновидів майонезу; хлібопекарського тіста; конфетних мас; цукрових сиропів; абрикосового пюре; крохмальних суспензій; томатної пасти; мила та деяких інших. Дисперсні системи при напругах менше граничних поведуть себе як тверді тіла і пружно деформуються при напругах вищих, ніж граничні, стають пластичними, відомі декілька видів пластичної течії.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

На вибір реологічної моделі рідини впливає багато чинників. Найбільш поширеними для опису реологічної поведінки псевдопластичної та в'язкопластичної рідин є моделі Оствальда, Бінгама, Балклі–Гершеля.

Рівняння Оствальда (ступеневий закон) описує криву наступним чином: $\tau = kD^n$ при $n < 1$. Це рівняння є емпіричним, константа k залежить від природи речовини й геометричних розмірів апаратури для виконання вимірів, константа n – це індекс течії.

Ці моделі прийняті за базові для інтерпретації течії неньютонівських рідин в різних галузях промисловості. На додаток до них розроблено багато інших моделей, які можуть застосовуватись для опису конкретних неньютонівських рідин [1–4, 6, 8].

Так, наприклад, моделі Кроса, Рейнера–Філіпова, Ван Вазера, Пауела–Ейрінга тощо корисні для моделювання псевдопластичних режимів на низьких, середніх і високих швидкостях зсуву.

Деякі рівняння, такі як модифіковане рівняння Кесона, узагальнене Балклі–Гершеля корисні для вирішення інженерних проблем в технологічних процесах, де застосовуються в'язкопластичні рідини.

Застосування того чи іншого реологічного рівняння для опису течії реального матеріалу перевіряється експериментально для діапазону швидкостей зсуву, що нас цікавить, і який повинен відповідати швидкостям зсуву, за яких досліджуваний матеріал застосовується в технологічному процесі.

Треба відзначити, що однією із відповідальних і часто складних задач є визначення швидкості зсуву матеріалу в робочих органах технологічних апаратів та машин і відтворення в приладах саме тих швидкостей зсуву, яким він піддається в технологічному обладнанні.

Результати апроксимації експериментальних реологічних кривих показують, що одній і тій самій рідині в певному діапазоні швидкостей зсуву може бути підпорядковано декілька реологічних моделей, які за обраним критерієм не поступаються одна одній. В такому разі питання вибору моделі вирішується, враховуючи область застосування моделі, зручності практичного застосування. Але тоді обрану реологічну модель не можна поширювати на інші умови і швидкості деформації.

Подальші дослідження спрямовані на вивчення таких питань як:

- розширення корисних властивостей можливої сировини, її класифікація-ідентифікація та визначення методів контролю якості;
- вибір науково-обґрунтованих технологій та методів виробництва;
- розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки сировини;
- вибір підприємств для виробництва і обґрунтування вибору усіх видів ресурсів для реалізації цих проектних рішень;
- забезпечення безпеки пакування та ін.

Ці фактори стимулюють розвинення досліджень з метою розробки сучасної великотоннажної технології отримання якісних та корисних майонезів з різноманітної рослинної сировини. Її впровадження її на Україні [13–21].

Список літератури

1. Каминер А.А., Яхно О.М. Гидромеханика в инженерной практике. – К.: Техніка, 1987. – 175 с.
2. Ellis S.B. Thesis laffayette College, Pa. Cited, 1927, in: Whorlow R.W. Rheological Techniques. Halsted Press. – New York, 1980.
3. Mizrahi S., Berk Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment // J. Texture Stud. – 1972. – №3. – P. 69–79.
4. Ofoly R.Y., Morgan R.G. Steffe J.F. A generalized rheological model for inelastic foods // J. texture Stud. – 1987. – №18. – P. 213–230.
5. ДСТУ 4287:2005. Майонези. Загальні технічні умови., К.: Держспоживстандарт. 2005. 15 с.
6. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
7. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
8. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
9. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. С. 217.
10. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение. НТУ «ХПИ», Харьков, 2005, – 460 с.
11. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
12. Пріщенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 320.
13. Сирку М.А., Бухкало С.І., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнутова М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
14. Ситник В.В., Яценко Б.С., Бухкало С.І., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.
15. Бухкало С.І. Харчові технології у прикладах і задачах. Підручник з грифом МОН. – К.: «Центр учбової літератури», 2019. – 108 с.
16. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442.
17. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., & Perevertaylenko, O.Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
18. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leaves and calendula extracts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
19. Sytnik, N., Mazaeva, V., Bilous, O., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Kravchenko, T., & Zakharkiv, S., (2019). Research of oxidative stability of vegetable oils for use in sport nutrition. Technology Audit and Production Reserves. – № 6/3(50), pp. 27–30, 2019. Chemical engineering: reports on research projects doi: 10.15587/2312-8372.2019.187673
20. Бухкало С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 84–92. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
21. Бухкало С.І. Перспективи розвитку технологій крохмалів з картоплі та кукурудзи. Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 21(1346). – С. 75–83. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.12

References (transliterated)

1. Kaminer A.A., Jahno O.M. *Gidromehanika v inzhenernoy praktike*. – K.: Tehnika, 1987. – 175 p.
2. Ellis S.B. Thesis laffayette College, Pa. Cited, 1927, in: Whorlow R.W. *Rheological Techniques*. Halsted Press. – New York, 1980.
3. Mizrahi S., Berk Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment // *J. Texture Stud.* – 1972. – №3. – Pp. 69–79.
4. Ofoly R.Y., Morgan R.G. Steffe J.F. A generalized rheological model for inelastic foods // *J. texture Stud.* – 1987. – №18. – Pp. 213–230.
5. DSTU 4287:2005. *Majonezi. Zagal'ni tehnicni umovi.*, K.: Derzhspozhivstandart. 2005. 15 p.
6. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah*. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. – 832 p.
7. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi)*. Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
8. Bukhhalo S.I. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi)* [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
9. Bukhhalo S.I. *Viznachennja zagal'noї tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 217.
10. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.A., Havin G.L. *Osnovnye tehnologii pishhevih proizvodstv i jenergosberezhenie*. NTU «KhPI», Kharkiv, 2005. – 460 p.
11. Bukhhalo S.I. *Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017)* 17–19 maja 2017. – Kharkiv: Ch. III, p. 14.
12. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhhalo S.I. *Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 320.
13. Sirku M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. *Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
14. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. *Viznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019)*, 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 343.
15. Bukhhalo S.I. *Harchovi tehnologii u prikladah i zadachah*. Pidruchnik z grifom MON. – K.: «Centr uchbovoi literaturi», 2019. – 108 c.
16. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 66–73. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>.
17. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyanskyy L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., & Perevertaylenko, O.Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.
18. Bilous, O., Demidov, I., & Bukhhalo, S. (2015). Developing the complex antioxidant from walnut leafs and calendula extracts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6), 22–26. doi:10.15587/1729-4061.2015.35995.
19. Sytnik, N., Mazaeva, V., Bilous, O., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Kravchenko, T., & Zakharkiv, S., (2019). Research of oxidative stability of vegetable oils for use in sport nutrition. *Technology Audit and Production Reserves*. – № 6/3(50), pp. 27–30, 2019. *Chemical engineering: reports on research projects* doi: 10.15587/2312-8372.2019.187673
20. Bukhhalo S.I. *Mozhливosti rozvitku tehnologij modifikovanih krohmaliiv Visnik NTU «KhPI»*. – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346), – pp. 84–92. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.13
21. Bukhhalo S.I. *Perspektivi rozvitku tehnologij krohmaliiv z kartopli ta kukurudzi. Visnik NTU «KhPI»*. – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346), pp. 75–83. doi: 10.20998/2220-4784.2019.21.12

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; 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

Ольховська Вікторія Олегівна (Ольховская Виктория Олеговна, Olkhovska Victoria Olegovna) – студентка ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

I. О. ЛАВРОВА, С. І. БУХКАЛО, С. В. ВАЛУЙКІН

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ФОСФОЛІПІДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ

В статті наведені можливості постановки та вирішення сучасних задач використання фосфоліпідів з метою підвищення адгезійної здатності дорожніх бітумів. Мета роботи – на підставі вивчення адгезійних властивостей дорожніх бітумів, а також проведених досліджень, показати, як окислені фосфоліпіди впливають на адгезію бітуму. Лабораторні дослідження показали, що у дорожніх бітумів при додаванні фосфоліпідів показники температури спалаху, температури розм'якшення та адгезії значно підвищилися, що робить цю добавку перспективною для поліпшення якості бітумів як зв'язуючого для дорожніх покриттів. Встановлено, що спостерігається значна кореляційна залежність між стандартизованими показниками якості бітуму, що розглядається.

Ключові слова: бітум, адгезія, фосфоліпідний концентрат, температура спалаху, температура розм'якшення

И. О. ЛАВРОВА, С. И. БУХКАЛО, С. В. ВАЛУЙКИН

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОЛИПИДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

В статье приведены возможности постановки и решения современных задач использования фосфолипидов с целью повышения адгезионной способности дорожных битумов. Цель работы – на основании изучения адгезионных свойств дорожных битумов, а также проведенных исследований, показать, как окисленные фосфолипиды влияют на адгезию битума. Лабораторные исследования показали, что у дорожных битумов при добавлении фосфолипидов показатели температуры вспышки, температуры размягчения и адгезии значительно повысились, что делает эту добавку перспективной для улучшения качества битумов как связующего для дорожных покрытий. Установлено, что между стандартизированными показателями качества рассматриваемого битума наблюдается значительная ранговая корреляция.

Ключевые слова: битум, адгезия, фосфолипидный концентрат, температура вспышки, температура размягчения.

I. O. LAVROVA, S. I. BUKHKALO, S. V. VALUIKIN

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF USING PHOSPHOLIPIDES TO INCREASE THE ADHESIONAL ABILITY OF ROAD BITUMEN

The article is devoted to the issue of increasing the adhesive ability of road bitumens. The aim of the work is to show how oxidized phospholipids affect the adhesion of bitumen on the basis of studying the adhesion properties of road bitumens, as well as research. Laboratory experiments have shown that the addition of phospholipids to road bitumens has significantly increased flash point, softening temperature and adhesion, which makes this additive promising for improving the quality of bitumen as a binder for pavements. Experimental studies allow to evaluate of road bitumens; efficiency and optimal modes of using phospholipid concentrate; summarize the results obtained and assess the feasibility of using phospholipid concentrate in the process studied. It is established that a significant rank correlation is observed between the standardized indicators of the quality of bitumen being considered.

Keywords: bitumen, adhesion, phospholipid concentrate, flash point, softening point.

Вступ. Бітуми широко використовуються для отримання бітумномінеральних (БМ) композицій, де вони виконують роль сполучного матеріалу. Головним споживачем бітуму є дорожнє будівництво, в першу чергу через те, що бітум є відносно дешевим і універсальним матеріалом для застосування в якості в'язучого при влаштуванні дорожніх покриттів. В умовах реформування галузі дорожніх покриттів ваговими показниками розвитку можна відзначити: 1) забезпеченню надійної роботи та поліпшенню екологічної ситуації на рівні кращих світових практик; 2) наближенню вимоги щодо якості продукції до найкращих практик Європейського Союзу; 3) прийняттю з метою застосування відповідних технічних регламентів європейських стандартів як національних стандартів України з одночасним скасуванням дії стандартів ГОСТ та ін.

Дорожній бітум повинен мати високу здатність до склеювання в широкому діапазоні температур, з

метою подальшого міцного утримування мінеральних складових від викришування. Це особливо важливо при інтенсивному русі автомобільного транспорту, зростаючому щорічно на 10–12%. Найбільш поширені види руйнувань асфальтобетонних покриттів відбуваються внаслідок недостатньої адгезійної міцності на кордоні розділу фаз між бітумом і мінеральною поверхнею. Тому актуальною є задача розробки бітумних в'язучих, які мають поряд з поліпшеними показниками якості підвищені адгезійні властивості до мінерального матеріалу.

Актуальність роботи полягає в тому, що показано можливість підвищення якісних показників бітуму нафтового дорожнього марки БНД 60/90 з одночасною утилізацією відходів виробництва біодизеля, що дає підстави говорити, про отриманий технічний та екологічний ефект.

© Лаврова І.О., Бухкало С.І., Валуйкін С.В., 2020

Мета та задачі дослідження.

Метою роботи є встановлення виявлення можливостей використання залишку фосфатидного концентрованого, що утворюється як побічний продукт в процесі отримання біодизеля, як добавки до нафтового дорожнього бітуму для підвищення його зчеплення із твердою фазою.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні задачі:

- експериментально підібрати оптимальні рецептури компаундованих бітумів;
- оцінити доцільність використання фосфатидного концентрату в якості добавки, що підвищує адгезійні властивості бітумів;
- експериментально оцінити фізико-хімічні показники отриманих компаундів;
- узагальнити отримані результати та розробити на їх основі ефективні пропозиції для нормативно-технічної документації.

Методи дослідження.

Під час виконання роботи застосовувались сучасні методи фізико-хімічного аналізу: температура розм'якшення по кільцю і шару, температура спалаху, визначення зчеплення в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу. Для узагальнення результаті досліджень використовувались методи візуальної оцінки та графічні методи. Для обробки даних використовувався Microsoft Excel.

Практичне значення одержаних результатів для нафтопереробної та бітумної промисловості полягає в тому, що були запропоновані нові добавки, які допомагають отримати бітум з більш якісними показниками адгезії. Розроблено схему обробки результатів та сформульовані вихідні дані для її подальшого використання.

Об'єкт дослідження – бітум для дорожнього будівництва.

У будівництві доріг застосовується полімерний бітумний продукт, зараз в Україні виробництво дорожнього бітуму нарощується, але все одно за обсягами виготовляється матеріалу воно далеко відстає від світових показників.

Такі установки характеризуються великим споживанням енергії, їх електрична потужність досягає 200 кВт і більше. В силу великих витрат на електроенергію багато заводів з виготовлення асфальтобетону не можуть організувати у себе модифікацію бітуму в'язучими полімерними складами. Бітум можна віднести до продукції з сезонним попитом, це перш за все визначається сезонністю дорожніх робіт в нашій країні. Ціна бітуму за тону в літній період різко зростає, а в зимовий падає. Внаслідок того, що цей матеріал виробляється з нафти, неабиякий вплив на вартість бітуму надає і нестабільність нафтових котирувань на світовому ринку. Також ціна на бітум сильно залежить від віддаленості споживача від виробляють комплексів, це пов'язано з чималими витратами на транспортування матеріалу як в рідкому стані в

емностях, так і в твердому вигляді, коли транспортується твердий бітум в мішках. [1–9].

1. Загальне наукове обґрунтування дослідження за темою. 1.1. Загальна характеристика бітуму – сировини.

Бітум складається на 14% з водню і на 70% з вуглецю, інша частина - це домішки кисню, сірки та інших хімічних елементів. На його властивості впливає не стільки його елементний склад, скільки види з'єднань водню з вуглецем, що визначаються технологією виробництва бітуму. Види з'єднань, що впливають на властивості бітуму:

- масляний компонент, який забезпечує матеріалу плинність;
- смолисті включення, які надають продукту пластичність;
- асфальтенові з'єднання, завдяки яким у бітуму є в'язкість.

Вміст масел в бітумі по відношенню до його загальної маси досягає 60%, що є переважною часткою. Чим вище це часткове співвідношення, тим більше його проникаюча здатність по відношенню до інших середовищ. Значно менше в ньому міститься смол, зазвичай їх кількість не перевищує 30%. Смоли мають тягучість, а щільність у них значно вища, ніж у масел. Смоли можуть бути за консистенцією твердими, в'язкими і напіврідкими, їх в'язкість визначається температурою: з підвищенням температури в'язкість смол і самого бітуму знижується. При достатньому нагріванні в установці з виробництва бітуму можна отримати зручний у використанні рідкий бітум.

1.2. Загальна характеристика виробництва бітуму.

Бітуми можна отримувати одним з трьох способів: 1) глибокої вакуумною перегонкою мазуту (залишкові бітуми); 2) компаундування залишкових і окислених продуктів (компаундують бітуми); 3) окисленням залишкових нафтопродуктів повітрям при високих температурах (окислені бітуми).

Залишкові бітуми отримують як кубові залишки (випають вище 450–500 °С) процесів первинної переробки спеціальних важких нафт. Для отримання остаточних бітумів використовують тільки сировину з великим вмістом смолисто-асфальтенових речовин, які присутні в достатній кількості в важких високосмолистих нафтах [4, 5].

Компаундуванні бітуми отримують змішанням різних залишкових і окислених бітумів, та інших нафтових залишків, напівпродуктів виробництва, важких дистилатів.

Окислені бітуми отримують окисленням важких залишків переробки нафти (вище 400–450 °С) або їх сумішей з різними екстрактами, смолами або іншими важкими напівпродуктами нафтопереробки киснем повітря при температурі 250–280 °С. Виробництво окислених бітумів можна класифікувати за типом окислювально-реакційних апаратів процесу: куб, неопалювальні трубчасті (змієвикові) реактори, безкомпресорні реактори і окисні колоні.

Від якості сировини залежить якість готових бітумів. А для окислених бітумів ще й від тривалості окислення, температури, і витрати повітря. Чим більше зміст смолисто-асфальтенових компонентів в нафти і чим вище відношення асфальтени: смоли і чим менш міститься твердих парафінів, тим вище якість одержуваних бітумів і простіше технологія їх виробництва.

Найгіршою сировиною для виробництва бітумів є високопарафіністи нафти. Високий вміст парафіну в нафті негативно впливає на важливі експлуатаційні властивості бітуму: прилипаємість до мінеральних покриттів і міцність. Нафти, для отримання бітуму, повинні бути добре знесолити.

Окислені бітуми отримують одночасним впливом на нафтові залишки високої температури і кисню повітря. При підвищенні температури прискорюється процес, але, при цьому неприпустимі реакції утворення карбенів і карбоїдів, вихід яких прискорюється при дуже високих температурах.

Час окислення залежить від якості сировини і необхідної якості бітуму. Для отримання більш твердого бітуму час окислення має бути більше. Зазвичай тривалість процесу окислення становить 18–40 годин. Температура процесу 250–280 °C [1–5].

2. Ідентифікація-класифікація бітумів.

Бітуми класифікують за областями застосування як дорожні, ізоляційні, покрівельні, будівельні і бітуми спеціального призначення: 1) ізоляційні нафтові бітуми застосовуються для ізоляції трубопроводів з метою захисту їх від корозії, а також для приготування заливних акумуляторних мастик; 2) покрівельні бітуми застосовують для виготовлення покрівлі та виробництва покрівельних матеріалів, їх поділяють на просочувальні і покривні (для просочення основи і отримання покривного шару); 3) будівельні нафтові бітуми застосовують при виконанні ремонтно-будівельних робіт, для гідроізоляції фундаментів будівель; 4) приготування лакофарбових матеріалів; 5) обробка металевих конструкцій і споруд; 6) в шинній і електротехнічної промисловості використовують бітуми спеціального призначення та ін.

Дорожні в'язкі нафтові бітуми використовують для виробництва всіх основних видів ремонтів і будівництва дорожніх покриттів. Рідкі нафтові бітуми використовують для продовження сезону дорожніх робіт [9].

2.1. Структурні типи бітумів. Бітуми – це дисперсні системи властивості яких залежать не тільки від їх складу, але і від структури і характеру взаємодії. За відсутності або наявності взаємодії між частинками бітуми, за своєю структурою поділяються на типи: 1 – гель, 2 – золь і 3 – золь-гель.

2.1.1. Гель – характеризується найбільш значними розмірами складної структурної одиниці, пов'язаними один з одним в єдиний суцільний каркас в єдиний суцільний каркас з іммобілізованим дисперсійним середовищем. Бітуми цієї структури містять, як правило, понад 25% асфальтенив, менш

24% смол і більше 50% вуглеводнів. При цьому частка асфальтенив в загальній сумі смолисто-асфальтенових речовин становить понад 0,5, а співвідношення кількості асфальтенив до суми кількостей смол і вуглеводнів – більше 0,35.

2.1.2. Золь – дисперсна фаза бітумів представлена складною структурною одиницею з мінімальними розмірами (найменший ступінь асоціації асфальтенив), що не взаємодіють один з одним і хаотично розподіленими в суцільний дисперсійному середовищі. Бітуми цього типу містять не більше 18% асфальтенив, понад 36% смол і не більше 48% вуглеводнів. Частка асфальтенив в загальній сумі асфальт осмолених речовин становить менше 0,34, а по відношенню до суми вуглеводнів і смол – більше 0,22.

2.1.3. Золь-гель – мають проміжні розміри і утворюють проміжну структуру (бажану для дорожніх бітумів).

Таким чином, в основі класифікації структурних нафтових бітумів лежить відмінність в розподілі в них складної структурної одиниці за розмірами. [8, 9].

3. Загальні властивості бітумів.

3.1. Особливості процесів окиснення.

Процес окислення сировини до бітуму є гетерогенна реакція між газовою (повітря) і рідкої (гудрон) фазами. З хімічної точки зору процес окислення-це не тільки реакції приєднання кисню, а й реакції відщеплення водню. Окислення гудрону до бітуму здійснюється в окислювальних апаратах шляхом продувки повітря через шар рідини. При цьому молекулярний кисень взаємодіє зі складовими компонентами сировини. Процес включає велику кількість паралельно-послідовних реакцій, що протікають за радикальним механізмом. В процесі окислення розрізняють такі типові реакції:

- реакція, в яких відбувається значне збільшення розміру молекул;
- реакція, в яких розміри молекул змінюються незначно або не змінюються.
- реакція в яких розміри молекул зменшуються;
- концентрація з відгонкою легких вуглеводневих фракцій.

Окислення нафтових вуглеводнів киснем проходить одночасно в двох напрямках (табл. 1), залежно від умов окислення можливі взаємні перетворення кислих і нейтральних продуктів окислення.

Таблиця 1. Напрямки окиснення нафтових вуглеводнів.

Вугле- водні	Кислоти	Оксикислоти	Асфальтенові кислоти	
	Смоли	Асфальтени	Карбени	Короїди

Велика частина кисню, що взаємодіє з компонентами гудрону, викликає реакції дегідрогенізації і несеться з газами, що відходять у вигляді сполуки (в основному, пари води і діоксид вуглецю). Інша частина кисню хімічно зв'язується у

вигляді окислених з'єднань. Основна кількість кисню, пов'язаного в окисленого бітуму, знаходиться в вигляді складнофірних груп. В середньому на них припадає 60% зв'язаного кисню і 40% розподіляється приблизно порівну між гідроксилу, карбонільних і карбоксильними групами. Кількість в окисленого бітуму хімічно пов'язаного кисню збільшується з підвищенням ароматичності нафтового залишку і зниженням температури окислення. [1–9].

У міру поглиблення окислення, співвідношення вмісту вуглецю до водню в бітумі підвищується. Основна кількість хімічно пов'язаного кисню з окисленням бітуму знаходиться в вигляді складнофірних груп (-COO) і в менших кількостях і гідроксильних (OH), карбоксильних (-COOH) і карбонільних (= CO) групах. Співвідношення груп залежить від природи сировини і умов процесу окислення (температури і тривалості процесу, об'ємної швидкості подачі повітря).

В процесі окислення утворюються низькомолекулярні органічні продукти (дистилят) – віддув (чорний соляр). Кількість віддуву залежить від вмісту легких компонентів в сировині і глибини окислення. При глибині окислення, що відповідає температурі розм'якшення бітуму 50–60 °С, утворюється віддув в кількості 0,5–2,0% у розрахунку на сировину.

Бітум хімічно пов'язує тим менше кисню, чим вище температура розм'якшення бітуму. Основна кількість кисню, що подається повітрям на окислення, йде на утворення води 10–20%, на утворення вуглекислого газу і лише незначна частина на утворення органічних речовин, що містять кисень. Частина кисню, що подається в реакцію не вступає і виноситься з газами, що відходять. Процес окислення гудрону супроводжується виділенням тепла.

Екзотермічна реакція окислення підвищує температуру в зоні реакції. Тепловий ефект реакції залежить від хімічної природи сировини, глибини і умов окислення. Найменший ефект спостерігається в початковій стадії окислення. При збільшенні температури окислення тепловий ефект знижується. Тепловий ефект реакції для дорожніх бітумів коливається від 45 до 150 кДж/кг, а для будівельних до 250 кДж/кг. Для зняття тепла реакції застосовується подача сировини в окислювальний апарат з температурою меншою, ніж температура окислення, а також експлуатації окислювальних апаратів без теплоізоляції [7–9, 10, 11].

3.2. Загальні властивості бітуму. Густина є однією з найважливіших характеристик бітуму. Вона залежить від хімічного складу бітуму: збільшення вмісту ароматичних структур підвищує його густину, а збільшення вмісту насичених з'єднань – зменшує. Щільність бітумів при температурі 20 °С складає 1,00–1,04 г/см³.

Температура спалаху бітуму і гудрону складає зазвичай більше 230 °С. За цим показником судять про наявність низько киплячих фракцій в сировині і готовому бітумі, отже про можливість їх вибухо-

пожежонебезпеку в процесі виробництва і застосування бітуму [12, 13–17].

В'язкість більш повно характеризує консистенцію бітумів при різних температурах застосування в порівнянні з пенетрацією і температурою розм'якшення. Бажано, щоб бітум при інших рівних показниках мав найбільшу в'язкість при максимальній температурі застосування.

Питома теплоємність практично однакова для різних бітумів. Вона збільшується з підвищенням температури: зміна теплоємності бітумів різної консистенції на 1 °С – 0,00032–0,00078 кал/(г град).

Вибірковість розчинників впливає на склад видобутих асфальтенів, що важливо при їх поділі на вузькі фракції. За розчинністю в органічних розчинниках, крім зольності і температури спалаху, судять про чистоту бітуму. Зольність визначають одночасно з випробуванням на розчинність. Допустимий вміст золи в бітумі не більше 0,1%. Розчинність бітумів в органічних розчинниках, таких як: хлороформ, бензол, сірковуглець і тетрахлорметан, характеризує наявність домішок – мінеральних і інших твердих речовин (карбенів, карбодів). У цих розчинниках окислені бітуми розчиняються більш ніж на 99%.

Показник пенетрації фіксує глибину проникнення стандартної голки в бітум при певному режимі (температура і зусилля навантаження). Пенетрація вимірюється в десятих частках міліметра.

Найважливіший показник визначає температуру фазового переходу бітуму з дисперсного в вільно-дисперсний стан. Температура розм'якшення. Випробування проводять за ГОСТ 11506-73 методом «Кільце і Куля» (КІШ).

Температура, при якій модуль пружності бітуму (тривалість стандартної напруги) має значення 1100 кг/см² або 1,0787–108 н/м², називається температурою крихкості. Вона відповідає фазового переходу бітуму в пружно-крихкий реологічний стан.

Пластичні властивості бітумів, їх здатність до деформаційних змін при стандартних навантаженнях і напруженнях без руйнування структури і втрати суцільності, визначаються значеннями їх розтяжності або дуктільності. Низькі значення цього показника (менше 50 см при температурі 25 °С) не завжди однозначно свідчать про низькі експлуатаційні властивості дорожнього бітуму. Розтяжність бітумів при 25 °С характеризує ступінь структурованості і, отже, тип дисперсної структури бітуму. Низькі значення показника розтяжності свідчать про посилення схильності бітуму до старіння в процесі експлуатації. Більше 40 см розтяжність мають дорожні нафтові бітуми

Адгезія (прилипання) пояснюється процесом утворення подвійного електричного поля на поверхні розділу мінерального матеріалу і плівки бітуму. Адгезія бітумів залежить від полярності їх компонентів та кислотності мінерального матеріалу. Її визначають за значенням електропровідності.

3.3. Вимоги до якості бітумів.

Вимоги, що пред'являються до бітумів, особливо дорожнім, вельми різноманітні. Дорожні бітуми повинні:

- а) зберігати міцність при підвищених температурах, тобто бути теплостійкими;
- б) зберігати еластичність при різних температурах, тобто бути морозостійкими;
- в) чинити опір стисненню, удару, розриву під впливом транспорту, що рухається;
- г) забезпечувати добре зчеплення з сухою і вологою поверхнею мінеральних матеріалів;
- д) зберігати протягом тривалого часу первісну в'язкість і щільність.

Будівельні бітуми можуть бути менш еластичними, але вони повинні бути більш жорсткими.

Властивості бітумів залежать від компонентного складу, оптимальний зміст може бути досягнуто при певному співвідношенні Асфальтенів, смол і масел з необхідним вмістом ароматичних вуглеводнів і при відсутності значних кількостей твердих парафінів. Отже властивості бітумів визначаються природою вихідної нафти і можуть регулюватися підбором суміші вихідної сировини, а також в процесі окисного структурування.

Основними експлуатаційними властивостями, визначальними якістю бітумів, є: технічні властивості – проникність стандартної голки (пенетрація), температура розм'якшення, індекс пенетрації, розтяжність (дуктільність), температура крихкості. Це основні показники якості бітумів. Глибина проникнення голки (пенетрація) і температура розм'якшення характеризують твердість бітуму, розтяжність – його еластичність. Більш докладно вони будуть розглянуті нижче; фізико-хімічні властивості – стабільність, щільність, поверхневий натяг; реологічні властивості – дисперсність, в'язкість, модуль пружності, модуль деформації.

Реологічні властивості бітуму не повинні значно змінюватися при його розігріві в котлах, приготуванні і укладанні суміші і протягом тривалого терміну служби в асфальтобетонних та інших покриттях; теплові властивості – питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт об'ємного розширення, температура спалаху. Вони визначають можливість використання бітуму в якості теплоізоляційних матеріалів. За температури спалаху можна судити про наявність нізкокиплячих фракцій в сировині і в готовому бітумі, а також про їх вибухо- і пожежонебезпеки в процесі виробництва і застосування бітумів.

Діелектричні властивості – пробивна напруга, питома електропровідність, тангенс кута діелектричних втрат. За зміною цих показників можна контролювати адгезійні властивості бітумів. З підвищенням діелектричної проникності вони, як правило, поліпшуються.

Оптичні властивості – коефіцієнт рефракції, світлопоглинання бітуму. Ці властивості дозволяють глибше вивчити груповий склад бітуму.

За розчинності в органічних розчинниках судять про чистоту бітуму. Чим більше бітум містить продуктів розчинних в хлороформі, бензолі, тим менше в ньому домішок, що погіршують його властивості.

Водорозчинність характеризує гідрофобні властивості в'язучого і його стабільність;

Адгезія і когезія – найважливіші показники якості бітумів як в'язучих матеріалів.

Дорожні покриття повинні проектуватися на певний період експлуатації з урахуванням діапазону і типу найбільш ймовірних транспортних навантажень. В останні роки різко зросла інтенсивність руху транспорту, збільшилися навантаження на дорожнє полотно за рахунок використання великовантажних автомобілів з підвищеним тиском в шинах. Це призводить до швидкого руйнування асфальтобетонних покриттів, що виявляється у вигляді колії, тріщин і викришування входять матеріалів, що входять до їх складу [13–17].

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

Загальноприйнятим є факт модифікації бітумів полімерами, що дозволяє підвищити довговічність асфальтобетону. Ступінь поліпшення властивостей залежить від вмісту полімеру в бітумі і їх якості. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що введення найбільш часто застосовуваного полімеру типу СБС при поліпшенні багатьох властивостей бітуму практично не впливає на його зчеплення з мінеральним матеріалом. У той же час відомостей про стійкість асфальтобетонів на бітумах, модифікованих полімерами, проти руйнівної дії води недостатньо, а наявні відомості досить суперечливі.

Процес структуроутворення БМ композитів зобов'язаний, перш за все, адгезійною взаємодією бітумного в'язучого з поверхнею мінерального заповнювача. На всіх рівнях взаємодії бітумного в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу важливою структуроутворюючої одиницею є контактна зона, розташована між двома сусідніми частинками мінерального матеріалу.

Адгезійне зчеплення дорожнього бітуму з поверхнею мінеральних частинок, має першорядне значення для забезпечення основних властивостей асфальтобетону

Результати експериментальних досліджень. Метою проведення експерименту визначено виявлення можливостей використання залишку фосфатидного концентрату – побічного продукту процесу виробництва біодизеля у якості добавки для підвищення зчеплення нафтового дорожнього бітуму із твердою фазою.

Фосфоліпіди – складні ефіри багатоатомних спиртів і вищих жирних кислот. Містять залишок фосфорної кислоти і з'єднану з нею додаткову групу атомів різної хімічної природи.

За фізико-хімічними показниками концентрат фосфатидний може мати властивості, зазначені у прикладі таблиці 2.

Таблиця 2 Фізико-хімічні показники фосфоліпідів

Назва показника	Показники якості концентрату для	
	Кормових цілей	Технічних цілей
Масова частка вологи і летких речовин, %, не більше	3,0	3,0
Масова частка фосфатидів, %, не менше	40,0	40,0
Масова частка олії, %, не більше	60,0	60,0
Масова частка речовин, не розчинних в етиловому ефірі, %, не більше	5,0	5,0
Кислотне число олії, виділеної з концентрату, мг КОН/г, не більше	20,0	-
Перекисне число, $\frac{1}{2}$ O ₂ ммоль/кг, не більше	25,0	-
Масова частка кислоти в олії, виділеної з концентрату, %, до суми жирних кислот, не більше	5,0	не нормовано

Примітка. Норма показника «колірне число» для концентрату фосфатидного ріпакового кормового не більше ніж 20,0 мг йоду. Цей показник нормують і визначають за вимогами споживача по ГОСТ 5477.

У процесі вивчення адгезійних властивостей бітумів були проведені дослідження за різновидами зразків, включаючи вихідну сировину бітум марки БНД 60/90. Результати дослідів будуть приведені нижче в підсумкових таблицях.

Таблиця 3. Характеристики вихідного бітуму марки БНД 60/90.

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	48	49	51
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	49	52	56

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду в кількості 0,5% від загальної маси (композиція 1) представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Характеристики показників композиції 1

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	48	51	54
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	55	62	61

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду в кількості 0,7% від загальної маси (композиція 2) представлені в таблиці 5.

Таблиця 5. Характеристики показників композиції 2

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	46	49	53
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	89	96	90

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду в кількості 1,5% від загальної маси (композиція 3) представлені в таблиці 6.

Таблиця 6. Характеристики показників композиції 3

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	43	46	51
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	99	99	99

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду и СаО в кількості 0.5% від загальної маси (композиція 4) представлені в таблиці 7.

Таблиця 7. Характеристики показників композиції 4

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	46	51	48
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	46	51	55

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду и СаО в кількості 0.7% від загальної маси (композиція 5) представлені в таблиці 8.

Таблиця 8. Характеристика показників композиції 5

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	46	49	52
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	67	74	73

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду и СаО в кількості 1,5% від загальної маси (композиція 6) представлені в таблиці 9.

Таблиця 9. Характеристика показників композиції 6

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	42	47	51
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	99	99	99

Для БМ композиції з окисленим фосфоліпідом (рис. 1): кореляції Пірсона дорівнює 0,7697:

$$y = 30,357x + 56,345, R^2 = 0,5968.$$

Для отриманих експериментальних залежностей розраховано 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.

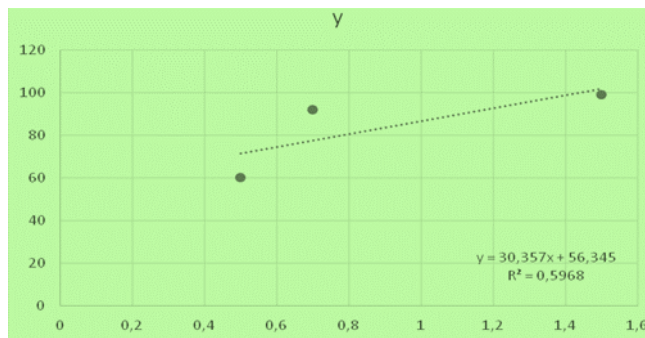


Рис. 1 – Відношення вмісту окисленого фосфоліпідів до площі покриття поверхні бітумом

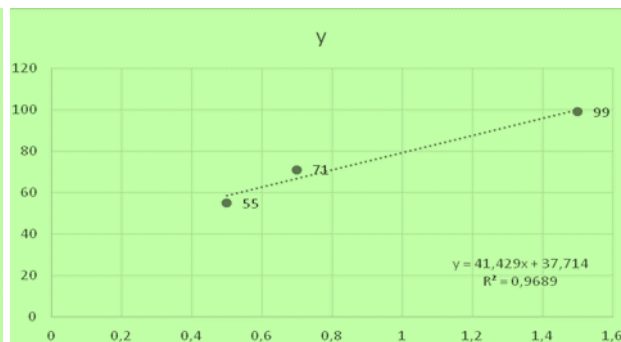


Рис. 2 – Відношення вмісту окисленого фосфоліпідів до площі покриття поверхні бітумом з домішкою CaO

Для БМ композиції з окисленим фосфоліпідом та домішкою оксиду кальцію CaO (рис. 2): кореляції Пірсона дорівнює 0,7697:

$$y = 41,429x + 37,714, R^2 = 0,9689$$

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Загальні підсумки проведеного дослідження можна визначити як: обґрунтування доцільності використання фосфоліпідів в якості складових БМ композитів.

За результатами дослідження був проведений математичний аналіз даних в ході якого були показані порівняльні графіки, коефіцієнти кореляції Пірсона та величина достовірності апроксимації. Встановлені залежності і індекси кореляції між показниками якості, які розглянуті у роботі, які

можуть бути корисними для прогнозування напрямків подальшого дослідження та при розробці системи автоматизованого контролю якості на стадії виробництва.

Тим самим було показано, що по коефіцієнтам кореляції Пірсона дослідження можна відтворити у подальших напівпромислових експериментах та розробках, також величина достовірності апроксимації досить близька до 1, що показує мінімальну розбіжність у дослідах.

Додатково до викладеного матеріалу необхідно формувати у студентів усіх рівнів навчання знання про теоретичні і правові засади нормування в Україні принципів якості довілля та категорій нормативних документів, з визначенням системи понятійної термінологічної бази якості довілля [1, 2, 18–22].

Список літератури

1. Родионов А. И. Техника защиты окружающей среды / Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. М.: Химия, 1989. – 512 с.
2. Грудников И.Б. Виробництво нафтових бітумів. М.: Хімія, 1983. 192 с.
3. Гуреев А.А., Чернишова Е.А., Коновалов А.А., Кожевникова Ю.В. Виробництво нафтових бітумів. -М. Вид. Нафта і газ, 2007, 102 с.
4. Сергієнко, С.Р. Високомолекулярні сполуки нафти. М.: Хімія, 1964. 540 с.
5. Пажітова, Н.П. Дослідження властивостей бітумів, що застосовуються в дорожньому будівництві / Н.П. Пажітова, Т.В. Потапова. М.: Праці СоюздорНИИ, 1970. 99 с.
6. Гун Р.Б. Нафтові бітуми. М.: Хімія. 1973, 472 с.
7. Розенталь, Д.А.. Бітуми. Отримання і способи модифікації. Л.: ЛТИ, 1979, 80 с.
8. Рудін, М.Г. Кишеньковий довідник нафтопереробника / М.Г.Рудін, В.Є. Сомов. ВАТ «ЦНПТЕНефтехім». М. 2002, 608 с.
9. Альбом технологічних схем процесів переробки нафти і газу / Под ред. Б.І. Бондаренко М.: Хімія, 198, 126 с.
10. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдінов Р.А. та ін. Технологічні розрахунки установок переробки нафти: навч. посібник для вузів. М.: Хімія, 1987, 302 с.
11. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М. та ін. Розрахунки процесів і апаратів нафтопереробної промисловості. Л.: Хімія, 1974, 343 с.
12. Дубовкін Н.Ф. Довідник по теплофізичних властивостях вуглеводневих палив і їх продуктів згоряння. - М.-Л.: Госенергоіздат, 1962, 195 с.
13. ГОСТ 11501-78. Бітуми нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы.
14. ГОСТ 11505-75. Бітуми нефтяные. Метод определения растяжимости.
15. ГОСТ 11506-73. Бітуми нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу

- и шару.
16. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные.
 17. Григоров А.Б. Методи визначення якості нафти та нафтопродуктів / І.В. Сінкевич, І.О. Лаврова, О.В. Богоявленська 2015, 146 с.
 18. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
 19. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
 20. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
 21. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
 22. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
 9. Al'bom tehnologichnih shem procesiv pererobki nafti i gazu / Pod red. B.I. Bondarenko M.: Himija, 198, 126 p.
 10. Tanatarov M.A., Ahmetshina M.N., Fashutdinov R.A. ta in. Tehnologichni rozrahunki ustanovok pererobki nafti: navch. posibnik dlja vuziv. M.: Himija, 1987, 302 p.
 11. Kuznecov A.A., Kagermanov S.M. ta in. Rozrahunki procesiv i aparativ naftererobnoi promislovosti. L.: Himija, 1974, 343 p.
 12. Dubovkin N.F. Dovidnik po teplofizichnih vlastivostjah vuglevodnevih paliv i ih produktiv zgorjannja. M.-L.: Gosenergoizdat, 1962, 195 p.
 13. GOST 11501-78. Bitumy nefjtjanye. Metod opredelenija glubiny pronikanija igly.
 14. GOST 11505-75. Bitumy nefjtjanye. Metod opredelenija rastjazhivosti.
 15. GOST 11506-73. Bitumy nefjtjanye. Metod opredelenija temperatury razmjagchenija po kol'cu i sharu.
 16. GOST 22245-90. Bitumy nefjtjanye dorozhnye.
 17. Grigorov A.B. Metodi viznachennja jakosti nafti ta naftoproduktiv / I.V. Sinkevich, I.O. Lavrova, O.V. Bogojavlens'ka 2015, 146 p.
 18. Bukhhalo S.I. Viznachennja zagal'noi tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: тези доповідей XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 217.
 19. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
 20. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
 21. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340). – pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
 22. Bukhhalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17–19 maja 2017. Kh.: Ch. III, – p. 14.

Bibliography (transliterated)

1. Rodionov A. I. Tehnika zashhity okruzhajushhej sredy / Rodionov A. I., Klushin V. N., Torocheshnikov N. S. M. : Himija, 1989. – 512 p.
2. Grudnikov I.B. Virobnictvo naftovih bitumiv. M.: Himija, 1983. 192 p.
3. Gureev A.A., Chernishova E.A., Konovalov A.A., Kozhevnikova Ju.V. Virobnictvo naftovih bitumiv. -M. Vid. Nafta i gaz, 2007, 102 p.
4. Sergienko, S.R. Visokomolekuljarni spoluki nafti. M.: Himija, 1964. 540 p.
5. Pazhitova, N.P. Doslidzhennja vlastivostej bitumiv, shho zastosovujut'sja v dorozhn'omu budivnictvi/ N.P. Pazhitova, T.V. Potarova. M.: Praci SojuzdorNII, 1970. 99 p.
6. Gun R.B. Naftovi bitumi. M.: Himija. 1973, 472 p.
7. Rozental', D.A.. Bitumi. Otrimmannja i sposobi modifikacii. L.: LTI, 1979, 80 p.
8. Rudin, M.G. Kishen'kovij dovidnik naftererobnika / M.G.Rudin, V.E. Somov. VAT «CNIITEneftehim». M. 2002, 608 p.

Поступила (received) 23.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лаврова Інна Олегівна (Лаврова Инна Олеговна, Lavrova Inna Olegovna) – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора навчально-наукового інституту хімічних технологій та інженерії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: inlavr68@gmail.com

Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Валуйкін Станіслав Віталійович (Валуйкин Станислав Витальевич, Valuikin Stanislav Vitalyevich) – студент групи 2.ХТ105.8н, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: zigaxs@gmail.com

O. P. PRISHCHENKO, T. T. CHERNOGOR

ANALYSIS OF OPPORTUNITIES OF ANALYTICAL METHOD OF OPTIMIZATION IN CHEMICAL TECHNOLOGY

The article analyzes the possibilities of optimization methods in chemical technology. The optimization of the technological process of production of any product contains an important stage - the determination (finding) of a mathematical model or the equation of the relationship of the output quality indicator of the product (target function, optimization parameter) with the parameters of this product or technological process (input factors). The search for optimal conditions is one of the most common scientific and technical problems. The process of solving these problems is called the optimization process or simply optimization. An example of optimization is the search for the optimal composition of multicomponent mixtures or alloys, increasing the productivity or operating efficiency of existing plants, improving product quality, reducing production costs. To solve optimization problems, you need to choose the right method. Of the main optimization methods that are most widely used in chemical technology, this article considers the analytical method.

Keywords: optimality criterion, optimization problem, mathematical model, optimizing parameters, function extremum, analytical optimization method, chemical-technological process, optimization object.

О. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ

У статті аналізуються можливості методів оптимізації в хімічній технології. Оптимізація технологічного процесу виробництва будь-якої продукції містить важливий етап - визначення (відшукування) математичної моделі або рівняння зв'язку вихідного показника якості виробу (цільової функції, параметра оптимізації) з параметрами цього виробу або технологічного процесу (вхідними факторами). Пошук оптимальних умов є однією з найбільш поширених науково-технічних завдань. Процес вирішення цих завдань називається процесом оптимізації або просто оптимізацією. Прикладом оптимізації є пошук оптимального складу багатокомпонентних сумішей або сплавів, підвищення продуктивності або ефективності роботи діючих установок, підвищення якості продукції, зниження витрат на виробництво виробів і т.п. Для вирішення завдань оптимізації потрібно правильно вибрати метод. З основних методів оптимізації, найбільш широко використовуваних в хімічній технології, в даній статті розглядається аналітичний метод.

Ключові слова: критерій оптимальності, завдання оптимізації, математична модель, оптимізуючі параметри, екстремум функції, аналітичний метод оптимізації, хіміко-технологічний процес, об'єкт оптимізації.

О. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В статье анализируются возможности методов оптимизации в химической технологии. Оптимизация технологического процесса производства любой продукции содержит важный этап – определение (отыскание) математической модели или уравнения связи выходного показателя качества изделия (целевой функции, параметра оптимизации) с параметрами этого изделия или технологического процесса (входными факторами). Поиск оптимальных условий является одной из наиболее распространенных научно-технических задач. Процесс решения этих задач называется процессом оптимизации или просто оптимизацией. Примером оптимизации является поиск оптимального состава многокомпонентных смесей или сплавов, повышение производительности или эффективности работы действующих установок, повышение качества продукции, снижение затрат на производство изделий и т.п. Для решения задач оптимизации нужно правильно выбрать метод. Из основных методов оптимизации, наиболее широко используемые в химической технологии, в данной статье рассматривается аналитический метод.

Ключевые слова: критерий оптимальности, задача оптимизации, математическая модель, оптимизирующие параметры, экстремум функции, аналитический метод оптимизации, химико-технологический процесс, объект оптимизации.

Introduction. Mathematical modeling – a method for studying processes or phenomena in mathematical models [1–5]. An important stage of mathematical modeling is the creation of a mathematical model that would adequately describe the process in question.

Typically, mathematical models of individual devices are created, based on models of processes that occur in these devices, and then technological schemes are modeled that connect these devices into a single technological process [6–10].

The ultimate goal of modeling a chemical process is its best implementation or its optimization.

Optimization is a purposeful activity, which consists in obtaining the best results (values of object parameters) under appropriate conditions [11–12].

An example of optimization is the search for the

optimal composition of multicomponent mixtures or alloys, increasing the productivity or operating efficiency of existing plants, improving product quality, reducing production costs, and the like. [13].

Statement of the problem in general and its connection with important scientific or practical problems. In order for the solution of optimization problems to be feasible, it is necessary to correctly determine the optimality criteria, present the target function, set restrictions on the optimizing parameters and choose the optimization method correctly.

Optimization consists in finding the extremum of the function in question or the optimal conditions for the process. To assess the optimum, it is first necessary to select an optimization criterion.

© Prishchenko O.P., Chernogor T.T., 2020

The criterion of optimization (optimality) is the quantitative assessment of the optimized quality of an object. This is the main sign of the effectiveness of solving the optimization problem.

Depending on specific conditions, as an optimality criterion, you can choose a technological criterion (for example, the maximum output of a unit volume of the apparatus), as well as an economic criterion (for example, the minimum cost of a product for a given productivity) [14].

Optimality criterion requirements.

1. The optimality criterion should be the only one.
2. The optimality criterion must be expressed by a number.

Based on the selected optimality criterion, an target function (benefit function) is compiled, which is the dependence of the optimality criterion on the parameters that affect its value.

The target function is an optimality criterion, considered as a function of input parameters:

$$F = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

The more or less F , the better.

Therefore, the optimum is the extremum (*max* or *min*) of the target function, and the optimization problem is reduced to finding the extremum.

Optimizing parameters are those system input parameters that are referred to as control parameters during the optimization process and which are used to optimize the process.

Constraints are conditions that must be observed regardless of how their observance will affect the value of the optimality criterion [15–17].

Examples of possible restrictions:

- by the quantity and quality of raw materials and products;
- according to the technology conditions:
 - a) for example, a temperature that cannot be higher than that at which the catalyst deteriorates (sinter) is selected as a control parameter;
 - b) cannot change the size of the device;
 - c) control parameter - space velocity;
- mixture flow rate is limited by pump power;
- for economic reasons (capital costs should not exceed the allocated amount);
- on labor protection and the environment.

According to mathematical characteristics, the restrictions are divided:

- restrictions of the type of equalities that establish certain values of one or another factor:

$$x_i = a_i$$

(for example, values are set for the composition of the raw materials, the dimensions of the apparatus, etc.);

- limitations of the type of inequalities that determine the limits of variation of process parameters.

For example,

$$f_i \geq a_i \text{ (performance not lower than the set);}$$

$$a_1 \leq f_1 \leq b_1 \text{ (temperature in a certain range);}$$

$f_k \leq b_k$ (temperature not higher than that which the material will withstand).

Statement of the optimization problem:

1. It is necessary to create a mathematical model of the optimization object.

2. Choose an optimality criterion, optimizing parameters and form a goal function.

3. Set possible restrictions that should be imposed on variables.

4. Choose an optimization method that allows you to find the extreme value of the desired quantities.

Thus, mathematically solving the optimization problem means determining the optimum function of the target.

There are static optimization problems for processes occurring in steady-state modes, and dynamic optimization problems in unsteady process modes.

Presentation of the main research material.

When solving a specific optimization problem, the researcher must choose a method that leads to final results with the least amount of computation.

The choice of a particular method is largely determined by the statement of the optimization problem, as well as the mathematical model of the optimization object.

The main optimization methods that are most widely used in chemical technology can be divided into several groups:

1. Analytical methods:

- methods for studying the functions of classical analysis are used for deterministic processes with an optimality criterion in the form of differentiable functions;
- lagrange multiplier method - for problems with constraints such as equalities with the optimality criterion in the form of differentiable functions;
- variational methods - for tasks with an optimality criterion in the form of a functional, calculation of optimal temperature profiles of chemical reactors, optimal modes of batch processes;
- Pontryagin's maximum principle – a class of problems with objects that are described by differential and finite equations, the calculation of optimal control in control problems.

2. Mathematical Programming Methods:

- geometric programming: processes with a mathematical description in the form of algebraic polynomial functions;
- dynamic programming: multi-stage processes with optimization criteria in the form of an additive function (partitioned reactors, cascade of devices, etc.);
- linear programming: processes that are described by linear algebraic equations with an optimality criterion in the form of a linear function.

3. Gradient methods.

The object of optimization is the complex processes of chemical technology, individual objects and cascades of devices (optimization of non-linear and linear functions with non-linear and linear constraints).

4. Statistical Methods.

Optimization objects do not have a deterministic description. When compiling algorithms and programs using optimization methods, it is advisable to adhere to the modular principle, since multiple calls to the calculation of the target function are required [18–20].

Let us consider in more detail analytical optimization methods, which are classical methods for finding the extreme value of a function (min or max). They are used mainly in cases where the analytical form of the optimized function F of independent variables is known x_i and the number of variables x_i is small [21]. With a large number of variables, the so-called multidimensional barrier arises and the use of analytical methods becomes difficult.

The analytical search for the extreme value of the target function $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ reduces to equating its partial derivatives to zero:

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Necessary and sufficient conditions for the existence of an extremum of a function of one variable

The necessary conditions for the existence of an extremum of a continuous function $F(x)$ (in the absence of restrictions) can be obtained based on the analysis of the first derivative $\frac{dF}{dx}$. The function $F(x)$ can have

extreme value at those points of the x axis where the derivative $\frac{dF}{dx}$ is zero or does not exist [1–4].

The fact that the derivative is equal to zero graphically means that the tangent to the curve $F(x)$ at this point is parallel to the x axis (fig. 1).

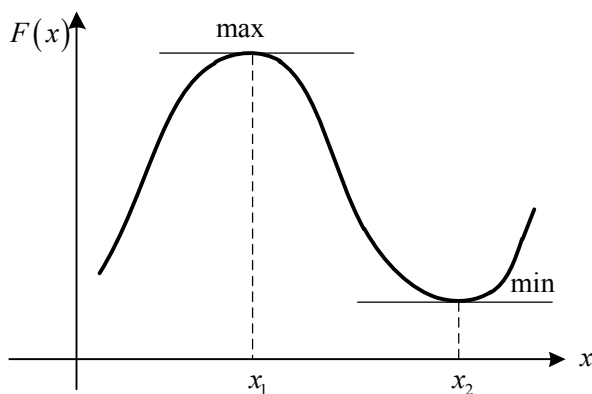


Fig. 1

We show the cases when the derivatives at the extremum points do not exist.

Types of extremes:

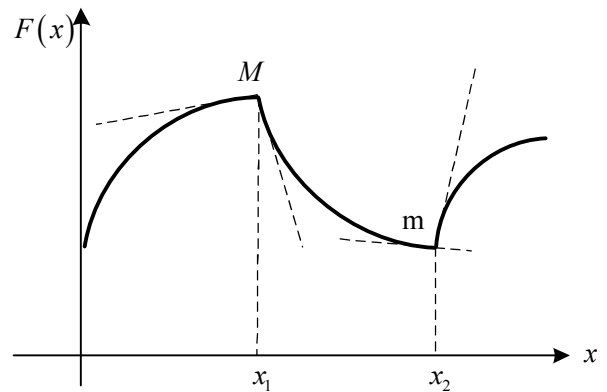


Fig. 2a

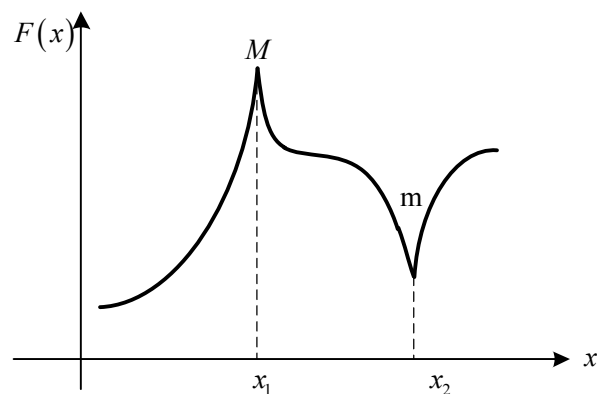


Fig. 2b

At points *min* and *max*, there exists a finite discontinuity of the derivative $\frac{dF}{dx}$ (fig. 2a).

In figure 2b shows the case where at the extremum points the value of the derivative goes to infinity. An infinite discontinuity of the derivative occurs, in which its value varies from $+\infty$ to $-\infty$ at a point x_1 and from $-\infty$ to $+\infty$ at a point x_2 [6].

The conditions listed above ($\frac{dF}{dx} = 0$, the absence of a derivative) are necessary conditions for the existence of an extremum. But their implementation does not mean the presence of an extremum of the function at a given point (fig. 3).

In order to determine whether an extremum really exists at a point, the following additional studies are necessary:

1. Comparing function values.

The value of the function is calculated at the point suspected of extreme, and at two close points to the left and to the right of it ($x_i + \xi$ and $x_i - \xi$, where ξ – small positive value).

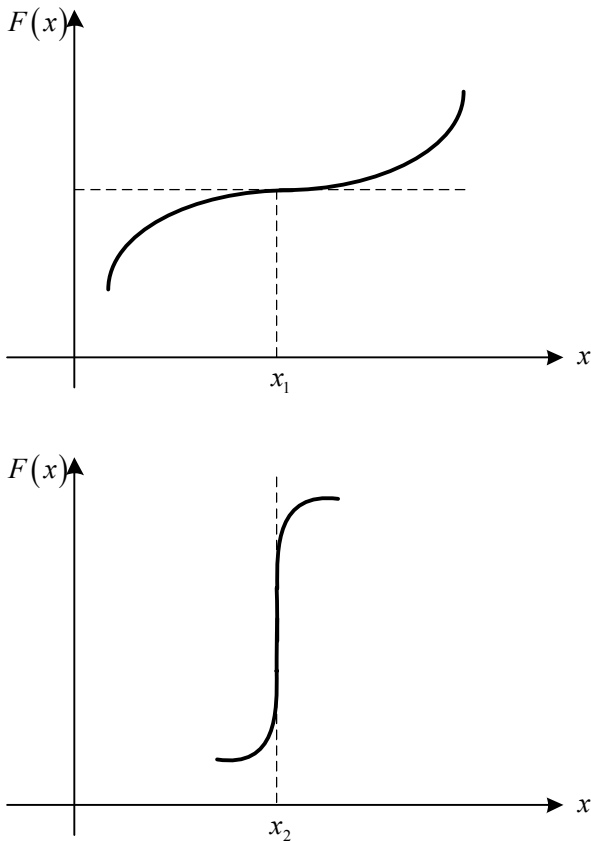


Fig. 3 – Cases of the absence of an extremum when the necessary conditions for its existence are fulfilled

If both values $F(x_i + \xi)$ and $F(x_i - \xi)$ are less or greater $F(x_i)$, then at the point x_i is the maximum or minimum, respectively. If $F(x_i)$ it has an intermediate value, then at the point $F(x_i)$ there is no extremum [7].

2. Derivative sign comparison.

The signs of the derivatives $\frac{dF}{dx}$ at the points $(x_i + \xi)$ and $(x_i - \xi)$ are determined.

If the signs are different, then at the point x_i there is an extremum (if the sign changes from (+) to (-), then at the point x_i it is the maximum, if from (-) to (+) the minimum). If the signs coincide at the points $(x_i + \xi)$ and $(x_i - \xi)$, then the point x_i is not extreme.

3. The study of the signs of higher derivatives.

This method can be applied if higher-order derivatives exist at points x_i (suspicious of an extremum).

Derivative is calculated $\frac{d^2F}{dx^2}$.

If the derivative $\frac{d^2F}{dx^2} < 0$, then the maximum is at the point x_i , if it is $\frac{d^2F}{dx^2} > 0$, then the minimum.

Most often they use the first two methods, because the latter is quite cumbersome [12].

Extremums of functions of many variables.

The solution to the optimization problem is complicated if the optimality criterion is a function of several independent variables.

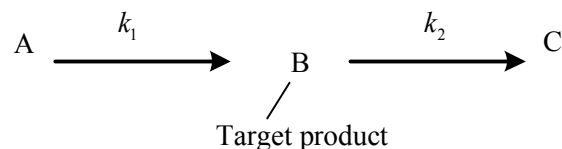
For a continuous function $F = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ having continuous first and second order derivatives with respect to all variables x_i ($i = 1, 2, \dots, n$), the necessary condition for the extremum at a point x_i is the vanishing of partial derivatives with respect to all variables, i.e. Points at which the extremum of the function can be determined by solving the system of equations

$$\frac{\partial F(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

The left sides of the equations are functions of factors x_1, \dots, x_n . Therefore, the solution of system (2) gives the optimal value of the factors. If the process is optimized, then this solution corresponds to the optimal mode.

Consider the particular problems of optimizing the chemical process using mathematical models [8–9].

Ideal mixing reactor optimization. The reaction takes place in the ideal mixing reactor. [10]



Determine the optimal residence time of the reactants in the reactor at which the maximum yield of the target product B is achieved (fig. 4).

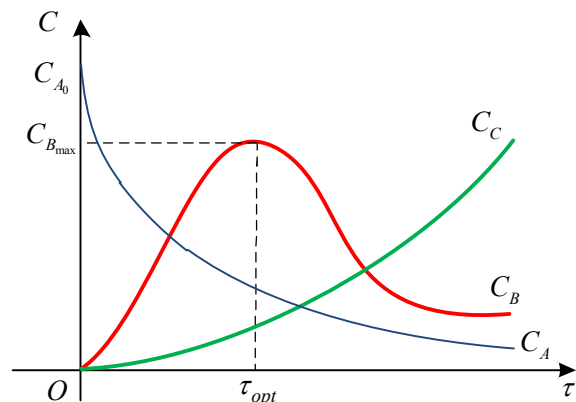


Fig. 4

Let's make a mathematical model:

$$\frac{dC_A}{d\tau} = \frac{1}{\tau}(C_{A_0} - C_A) - k_1 C_A; \quad (3)$$

$$\frac{dC_B}{d\tau} = \frac{1}{\tau}(C_{B_0} - C_B) + k_1 C_A - k_2 C_B; \quad (4)$$

$$\frac{dC_C}{d\tau} = \frac{1}{\tau}(C_{C_0} - C_C) + k_2 C_B; \quad (5)$$

Initial conditions: at $\tau = 0$, $C_A(0) = C_{A_0}$;

$$C_B(0) = C_{B_0}.$$

In stationary mode of operation of the reactor

$$\frac{dC_B}{d\tau} = 0;$$

When $C_{B_0} = 0$ equation (4) takes the following form:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{\tau}C_B + k_1 C_A - k_2 C_B &= 0; \\ k_1 C_A \cdot \tau &= C_B + k_2 C_B \cdot \tau; \\ C_B &= \frac{k_1 C_A \cdot \tau}{1 + k_2 \cdot \tau}. \end{aligned} \quad (6)$$

Equate to equation (3):

$$\begin{aligned} C_{A_0} - C_A - k_1 C_A \cdot \tau &= 0; \\ C_{A_0} &= C_A(1 + k_1 \tau); \\ C_A &= \frac{C_{A_0}}{(1 + k_1 \tau)}. \end{aligned} \quad (7)$$

We substitute the resulting expression in (6):

$$C_B = \frac{k_1 C_{A_0} \tau}{(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)}. \quad (8)$$

To determine the optimal contact time (τ_{opt}) at which the maximum concentration value C_B is reached, it is necessary to differentiate equation (8) with respect to τ and equate the derivative to zero:

$$\begin{aligned} \frac{dF}{d\tau} &= \frac{k_1 C_{A_0} (1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)}{[(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)]^2} - \\ &= \frac{k_1 C_{A_0} \tau [k_1(1 + k_2 \tau) + k_2(1 + k_1 \tau)]}{[(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)]^2} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

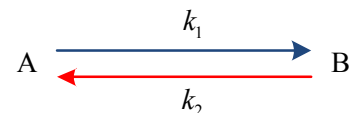
From here we express the contact time:

$$\tau_{opt} = \frac{1}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}};$$

$$F = C_{B_{max}} = \frac{k_1 C_{A_0} \frac{1}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}}}{\left(1 + \frac{k_1}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}}\right) \left(1 + \frac{k_2}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}}\right)} \quad (10)$$

The task of finding the optimal temperature of a reversible chemical reaction.

Chemical reaction proceeds



If a chemical reaction proceeds without side steps, then the reaction rate can be chosen as the criterion of optimality [22, 23].

The target function has the form

$$F = W = k_1 \cdot e^{\frac{-E_1}{RT}} \cdot C_A - k_2 \cdot e^{\frac{-E_2}{RT}} \cdot C_B \quad (11)$$

Set limits and choose optimizing factors.

The optimality criterion F depends on three parameters: T , C_A and C_B . But C_A and C_B they cannot be chosen as optimizing parameters, because they are not system inputs, but are reaction results, that is, to increase the speed it is necessary to have as much substance C_A and less C_B .

The goal of the process is the opposite - to increase the concentration of substance B and reduce the concentration of substance A . Therefore, the concentrations C_A and C_B cannot be considered independent factors.

Thus, there is only one independent parameter that affects the function of the target F – temperature. Therefore, the present problem is the problem of the optimum temperature of a chemical reaction.

However, at different values C_A and C_B , the effect of temperature can be different. Therefore, we pose the problem as follows: find the optimal temperature of the chemical reaction at fixed values C_A and C_B . Thus, concentrations C_A and C_B act as constraints in the form of equalities

$$\begin{cases} C_{A/t=0} = C_{A_0}; \\ C_{B/t=0} = C_{B_0}. \end{cases}$$

The second limitation of the type of inequalities (mandatory): the temperature cannot exceed a certain maximum value T_{max}

$$T \leq T_{max}$$

If the reaction is irreversible, i.e. $k_2 = 0$, then the first term remains in the equation, which grows unlimited with increasing temperature. In this case, the optimum is determined by the restriction:

$$T_{opt} = T_{max};$$

$$W = k_1 \cdot e^{\frac{-E_1}{RT}} \cdot C_A - k_2 \cdot e^{\frac{-E_2}{RT}} \cdot C_B; \frac{dW}{dt} = 0;$$

$$k_1 \cdot e^{\frac{-E_1}{RT}} \cdot C_A \cdot \frac{E_1}{R} \cdot \frac{1}{T^2} - k_2 \cdot e^{\frac{-E_2}{RT}} \cdot C_B \cdot \frac{E_2}{R} \cdot \frac{1}{T^2} = 0;$$

$$k_1 \cdot e^{\frac{-E_1}{RT}} \cdot C_A E_1 = k_2 \cdot e^{\frac{-E_2}{RT}} \cdot C_B E_2;$$

$$\frac{E_1 \cdot k_1 \cdot C_A}{E_2 \cdot k_2 \cdot C_B} = \frac{e^{\frac{-E_1}{RT}}}{e^{\frac{-E_2}{RT}}} = e^{\frac{E_1 - E_2}{RT}};$$

$$\ln \left(\frac{E_1 \cdot k_1 \cdot C_A}{E_2 \cdot k_2 \cdot C_B} \right) = \frac{E_1 - E_2}{RT};$$

$$T = \frac{E_1 - E_2}{k \cdot \ln \left(\frac{E_1 \cdot k_1 \cdot C_A}{E_2 \cdot k_2 \cdot C_B} \right)}.$$

Conclusions and development prospects of this direction.

The application of the optimization method considered in this paper requires knowledge of the corresponding sections of mathematical analysis. In practical classes in higher mathematics, considering the topic «Finding the points of the extremum of a function», one has to solve problems of a general nature. But for students of the Educational Scientific Institute of Chemical Technology and Engineering, tasks that are directly related to their specialty are of greater interest.

Thus, considering tasks similar to the ones presented in this article, we will increase the interest and motivation of future specialists to study this material.

References

1. Высшая математика в примерах и задачах: уч. пособ. : Т. 2 / Ю.Л. Геворкян, Л.А. Балака, С.С. Габриелян и др. ; под ред. Ю.Л. Геворкяна. – Х.: Підручник НТУ «ХП», 2011. – 376 с.
2. Вища математика в прикладах і задачах: у 2 т. Т. 2 : Диференціальне та інтегральне числення функцій багатьох змінних. Диференціальні рівняння та ряди : навч. посіб. / Л.В. Курпа, Н.О. Кириллова, Г.Б. Лінник та ін. ; за ред. Л.В. Курпи. – Харків : НТУ «ХП», 2009. – 432 с.
3. Геворкян Ю.Л. Краткий курс высшей математики : учеб. пособ. : в 2 ч. Ч. 2 / Ю.Л. Геворкян, А.Л. Григорьев, Н.А. Чикина. – Х. : Підручник НТУ «ХП», 2011. 476 с.
4. Диференціальні рівняння та їх застосування : н.-мет. посіб. / Прищенко О.П., Черногор Т.Т. – Х. : НТУ «ХП», 2017. – 88 с.
5. Ерёмин В.В. Математика в химии. – 2-е изд., испр. / В.В. Ерёмин. – М. : МЦНМО, 2016. – 64 с.
6. Збірник розрахунково-графічних завдань з вищої математики : у 2 ч. Ч. 2 / Н.О. Чікіна, А.М. Гайдаш, В.Д. Крупа та ін. ; за ред. Н.О. Чікіної. – Х. : Підручник НТУ «ХП», 2013. – 216 с.
7. Методические указания к решению расчетных заданий по теме «Дифференциальные уравнения и их приложения» по курсу высшей математики для студентов химических специальностей / сост. А.М. Мануйлова, Е.И. Орлова, Т.Т. Черногор и др. – Харьков : ХПИ, 1989. – 76 с.
8. Прищенко О. П., Черногор Т. Т. Аналіз прикладів застосування диференціальних рівнянь в хімічній та харчовій технології // Вісник НТУ «ХП». – Харків : НТУ «ХП», 2018. – № 40 (1316). – с. 39 – 45.
9. Прищенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – с.320.
10. Прищенко О.П., Черногор Т.Т. Деякі особливості проведення регресійного аналізу Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – с. 319.
11. Скатецкий В.Г. Математические методы в химии : учеб. пособ. для студентов вузов / В.Г. Скатецкий, Д.В. Свиридов, В.И. Яшкин. – Минск : ТетраСистемс, 2006. – 368 с.
12. Тевяшев А.Д. Вища математика у прикладах та задачах : у 3 ч. Ч. 3 : Диференціальні рівняння. Ряди. Функції комплексної змінної. Операційне числення : навч. посіб. / А.Д. Тевяшев, О.Г. Литвин. – Харків : ХНУРЕ, 2002. – 596 с.
13. Бухкало С.І. Деякі моделі процесів хімічного спінювання вторинного поліетилену // Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП». 2017. № 18 (1240). – С. 35–45.
14. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості: тестові завдання (підручник з грифом МОНУ), Київ: Центр учбової літератури. 2014. – 412 с.
15. Бухкало С.І., Ігліч С. П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. Інтегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 3. – С. 52–57.
16. Бухкало С.І. Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 4. – с. 29–33.
17. Бухкало С.І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
18. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Using of methods of cross-correlation and regressive analysis for determination of functional dependence between sizes // Вісник НТУ «ХП» Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – №15 (1340). – С. 36 – 41.
19. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.:НТУ «ХП». 205 с.
20. Бухкало С.І., Білоус О.В., Демидов І.М. Розробка комплексного антиоксиданту із екстрактів листя горіху волоського та календули. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 1/6(73), – с. 22–26. – Х. : Технол. центр.
21. Zipunnikov Mykola; Bukhhalo Svetlana; Kotenko Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. French-Ukrainian Journal of Chemistry, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:http://dx.doi.org/10.17721/ fujcV7I2, pp. 138–144. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/>
22. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 6(11 (102)), 66–73.

doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>.
<http://journals.uran.ua/ejet/article/view/186442>.

23. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. *Chemical Engineering Transactions*, Vol.70, (2018), – pp.2047–2052.

References (transliterated)

1. Vysshaja matematika v primerah i zadachah : ucheb. posob. : T. 2 / Ju.L. Gevorkjan, L.A. Balaka, S.S. Gabrieljan i dr. ; pod red. Ju.L. Gevorkjana. – Khar'kiv : Pidruchnik NTU «KhPI», 2011. – 376 p.
2. Vishha matematika v prikladah i zadachah : u 2 t. T. 2 : Diferencial'ne ta integral'ne chislennja funkcij bagat'oh zmynnih. Diferencial'ni rivnjannja ta rjadi : navch. posib. / L.V. Kurpa, N.O. Kirillova, G.B. Linnik ta in. ; za red. L.V. Kurpi. – Khar'kiv : NTU «KhPI», 2009. – 432 p.
3. Gevorkjan Ju.L. Kratkij kurs vysshej matematiki : ucheb. posob. : v 2 ch. Ch. 2 / Ju.L. Gevorkjan, A.L. Grigor'ev, N.A. Chikina. – Khar'kiv : Vid-vo «Pidruchnik NTU «KhPI», 2011. – 476 p.
4. Diferencial'ni rivnjannja ta ih zastosuvannja : navch.-metod. posib. / Prishhenko O.P., Chernogor T.T. – Khar'kiv : NTU «KhPI», 2017. – 88 p.
5. Erjomin V.V. Matematika v himii. – 2-e izd., ispr. / V.V. Erjomin. – M. : MCNMO, 2016. – 64 p.
6. Zbirnik rozrahunkovo-grafichnih zadan' z vishhoj matematiki : u 2 ch. Ch. 2 / N.O. Chikina, A.M. Gajdash, V.D. Krupka ta in. ; za red. N.O. Chikinoi. – Khar'kiv : Vid-vo «Pidruchnik NTU «KhPI», 2013. – 216 p.
7. Metodicheskie ukazannya k resheniju raschetnyh zadaniy po teme «Diferencial'nye uravnenija i ih prilozhenija» po kursu vysshej matematiki dlja studentov himicheskikh special'nostej / sost. A.M. Manujlova, E.I. Orlova, T.T. Chernogor i dr. – Khar'kiv : KhPI, 1989. – 76 p.
8. Prishhenko O. P., Chernogor T. T. Analiz prikladiv zastosuvannja diferencial'nikh rivnian v khimichnij ta kharchovij tehnologii // *Visnik NTU «KhPI»*. – Khar'kiv : NTU «KhPI», 2018. – № 40 (1316). – p. 39–45.
9. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhhalo S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konf. MicroCAD-2019, 15-17 travnja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Khar'kiv: NTU «KhPI». – p.320.
10. Prishhenko O.P., Chernogor T.T. Dejaki osoblivosti provedennja regresijnogo analizu Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2019, 15-17 travnja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Khar'kiv: NTU «KhPI». – p. 319.
11. Skateckij V.G. Matematicheskie metody v himii : ucheb. posob. dlja studentov vuzov / V.G. Skateckij, D.V. Sviridov, V.I. Jashkin. – Minsk : TetraSistems, 2006. – 368 p.
12. Tevjashev A.D. Vishha matematika u prikladah ta zadachah : u 3 ch. Ch. 3 : Diferencial'ni rivnjannja. Rjadi. Funkcii kompleksnoi zminnoi. Operacijne chislennja : navch. posib. / A.D. Tevjashev, O.G. Litvin. – Khar'kiv : HNURE, 2002. – 596 p.
13. Bukhhalo S.I. Dejaki modeli procesiv himichnogo spinjuvannja vtorinnogo polietilenu // *Visnik NTU «KhPI»*. Kh.: NTU «HPI», 2017. № 18 (1240), pp. 35–45.
14. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti: testovi zavdannja (pidruchnik z grifom MONU), Kiiv: Centr uchbovoi literaturi, 2014. – 412 p.
15. Bukhhalo S.I., Iglin S.P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri eksploatacii polimernih virobiv. Integrovani tehnologii ta energoberezhennja. H.: NTU «HPI», 2016. № 3, – pp. 52–57.
16. Bukhhalo S.I. Dejaki vlastivosti polimernih vidhodiv u jakosti sirovini dlja energo- i resursozberigajuchih procesiv // Integrovani tehnologii ta energoberezhennja. – H.: NTU «HPI», 2014. – № 4, – pp. 29–33.
17. Bukhhalo S.I. Modeli energetichnogo miksu dlja utilizacii polimernoj chastki TPV // *Visnik NTU «KhPI»*. – H.: NTU «HPI», 2016. – № 19 (1191), – pp. 23–32.
18. Prishhenko O.P., Chernogor T.T. Using of methods of cross-correlation and regressive analysis for determination of functional dependence between sizes // *Visnik NTU «KhPI»* – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – №15 (1340), pp. 36–41.
19. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. H.: NTU «KhPI». – 205 p.
20. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo ta kalendulr. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. No.1/6(73), (2015), – pp. 22–26. Harkiv : «Tehnolog. centr».
21. Zippunnikov, Mykola; Bukhhalo, Svetlana; Kotenko, Anatolii. Researching The Process Of Hydrogen Generating From Water With The Use Of The Silicon Basis Alloys. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*, [S.I.], v. 7, n. 2, p. 138-144, dec. 2019. doi:<http://dx.doi.org/10.17721/fujcV7I2P138-144>. <http://kyivtoulouse.univ.kiev.ua/journal/index.php/fruajc/article/view/258>.
22. Bilous, O., Sytnik, N., Bukhhalo, S., Glukhykh, V., Sabadosh, G., Natarov, V., Yarmysh, N., Zakharkiv, S., Kravchenko, T., & Mazaeva, V. (2019). Development of a food antioxidant complex of plant origin. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 6(11 (102)), 66–73. doi:<http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186442>. <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/186442>.
23. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., & Perevertaylenko O.Y. (2018). Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 2047–2052. doi:10.3303/CET1870342.

Надійшло (received) 21.03.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прищенко Ольга Петрівна (Прищенко Ольга Петровна, Prishchenko Olga Petrivna) – асистент кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0530-2131> e-mail: priolga2305@gmail.com

Черногор Тетяна Тимофіївна (Черногор Татьяна Тимофеевна, Chernogor Tetiana Timofiyivna) – старший викладач кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7823-7628> e-mail: tatyanchernogor54@gmail.com

Y. A. POLYVANOV, N. V. KONDRATIUK, O. Yu. VIENKO, I. P. HONCHARENKO

THEORETICAL ASPECTS OF THE CREATION OF FOOD HYDROGELS WITH GLUCURONIC ACID

The article presents the possibility of developing the technology of food hydrogels based on substances (xanthan and glycyrrhizin) containing glucuronic acid. The expediency of regulating the amount of glucuronic acid in the composition of hydrogels by modeling the content of xanthan and glycyrrhizin, which will further enrich the finished product with useful substances for the human body with a detoxifying effect was demonstrated. Methods of neutralizing a wide range of xenobiotics and activating the absorption of flavonoids in the case of consumption foods containing xanthan-glycyrrhizin hydrogels are described. The possibility of using such hydrogels in the technology of domestic soft drinks in order to improve the quality of finished products that have a detox-effect has been experimentally confirmed.

Keywords: glycyrrhizin, xanthan, hydrogels, glucuronic acid, quantum chemical modeling, detoxification.

Є. А. ПОЛИВАНОВ, Н. В. КОНДРАТЮК, О. Ю. ВІЄНКО, І. П. ГОНЧАРЕНКО

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ХАРЧОВИХ ГІДРОГЕЛІВ З ГЛЮКУРОНОВОЮ КИСЛОТОЮ

У статті наведено можливість розробки технології харчових гідрогелів на основі речовин (ксантану та гліцирризину), що містять глюкуронову кислоту. Доведена доцільність регуляції кількості глюкуронової кислоти у складі гідрогелів шляхом моделювання вмісту ксантану та гліцирризину, що додатково збагатить готовий продукт на корисні для організму людини речовини з детокс-ефектом. Описані шляхи нейтралізації широкого спектру ксенобіотиків та активації засвоєння флавоноїдів у разі споживання харчових продуктів, що містять ксантан-гліцирризинові гідрогелі. Експериментально підтверджена можливість використання таких гідрогелів у технології безалкогольних напоїв вітчизняного виробництва з метою підвищення якості готової продукції, що має детокс-ефект.

Ключові слова: гліциррозин, ксантан, гідрогелі, глюкуронова кислота, квантово-хімічне моделювання, детоксикація.

Е. А. ПОЛИВАНОВ, Н. В. КОНДРАТЮК, А. Ю. ВІЄНКО, И. П. ГОНЧАРЕНКО

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ПИЩЕВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ С ГЛЮКУРОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

В статье описывается возможность разработки технологии пищевых гидрогелей на основе веществ (ксантан и глицирризин), содержащих глюкуроновую кислоту. Доказана целесообразность регуляции количества глюкуроновой кислоты в составе гидрогелей путем моделирования содержания ксантана и глицирризина, что дополнительно обогатит готовый продукт полезными для организма человека вещества с детокс-эффектом. Описанные пути нейтрализации широкого спектра ксенобиотиков и активации усвоения флавоноидов в случае потребления пищевых продуктов, содержащих ксантан-глицирризиновые гидрогели. Экспериментально подтверждена возможность использования таких гидрогелей в технологии безалкогольных напитков отечественного производства с целью повышения качества готовой продукции, имеющей детокс-эффект.

Ключевые слова: глицирризин, ксантан, гидрогели, глюкуроновая кислота, квантово-химическое моделирование, детоксикация.

Introduction.

The human body has complex systems of metabolism and detoxification of compounds dangerous to it. These systems have undergone a long evolution under the influence of natural toxic components of food, water, air and various biological toxins.

In the XXI century. the human body began to be exposed to various synthesized substances (xenobiotics). According to modern ideas, the schemes of biotransformation of xenobiotics, nutrients and flavonoids are similar.

Therefore, it is very important to create appropriate conditions under which the processes of metabolism of foreign substances become more or less controlled and predictable, and the metabolism of nutrients and flavonoids will proceed more fully [1, 2].

The formulation of the problem in general form and its connection with important scientific or practical tasks.

The concept of biotransformation of xenobiotics covers not only enzymatic chemical transformations, but also transmembrane transfer, tissue distribution, deposition and elimination. During biotransformation, the formation of two types of compounds is possible: less dangerous than originally entered the body, and others – with greater reactivity than the original. The high chemical activity of these compounds determines their ability to easily bind to biomolecules. This is the effect of the mechanism of toxic action.

© Polyvanov Y.A., Kondratiuk N.V., Vienko O. Yu., Honcharenko I.P., 2020

When small amounts of xenobiotics enter the body, their detoxification is carried out in the usual way – by enzymatic and non-enzymatic transformations. In the case of penetration into the human body of a large number of foreign substances, these detoxification processes are insufficient and the body begins to accumulate superoxide anions, hydrogen peroxide, organic peroxides, etc., which cause side effects of xenobiotics. Elimination of these effects is carried out with the participation of vitamins A, E, C, P, choline and amino acids (cysteine, methionine, arginine). It follows that the optimal functioning of the body's protective and adaptive systems against xenobiotics depends on its supply of complete proteins, trace elements (iron, selenium, copper), calcium, vitamins. Unfortunately, in most groups of the population there is a nutritional deficiency of the above nutrients, which requires priority correction of diets in the direction of developing food components (functional products or food additives) [3]. It should be noted that the consumption of functional products can get excess fats and carbohydrates, and the consumption of food and dietary supplements is a valuable safeguard for many people with metabolic syndrome (schoolchildren, youth, workers working in public budget institutions, retirees, the disabled, etc.).

Flavonoids are important for human life and health substances contained in plant raw materials. Recently, a growing amount of scientific evidence of their beneficial effects on various organs and systems, a positive role in the prevention and treatment of diseases of the cardiovascular, nervous and immune systems. And although the sources of flavonoids - a variety of vegetables, fruits, berries, nuts, as well as beverages such as tea (black and green), wine (mainly red), coffee, cocoa - are available for consumption, the level of their content in the human body is necessary increase. As it becomes clear today, the effectiveness of these polyphenolic compounds lies in their bioavailability, which, as in the case of xenobiotics, depends on complex biotransformation processes.

Quite massive hydrophilic molecules of flavonoids have a low ability to penetrate the membranes of small cells by passive diffusion. Proanthocyanidins also due to the large size of the molecule can not be absorbed in the small intestine [2].

Therefore, it is important to find ways to detoxify xenobiotics and increase the absorption of flavonoids by typical compensatory-adaptive reactions that maintain homeostasis at the molecular level and without involving enzymes, because with age the enzyme activity decreases, the amount of toxic substances increases and the level of flavonoids decreases.

Today it is recognized that glucuronic acid has a wide range of properties and physiological features aimed at detoxifying effect and cleavage effect. We also consider important for the study of natural substances, which include glucuronic acid: xanthan, glycyrrhizin, in order to implement their physical and technological properties in the composition of composite hydrogels, as

the basis of a wide range of human health products (food, pharmaceutical, medicinal, cosmetics).

Purpose and tasks of work.

The aim of the article is to describe safe technological environments based on natural substances containing glucuronic acid (xanthan, glycyrrhizin) with the subsequent development of technologies of hydrogels of a wide range of useful properties for the human body.

In accordance with the goal, a number of tasks were set:

- substantiate the feasibility of developing hydrogels based on components that contain glucuronic acid;
- to substantiate and develop the composition of composite hydrogels based on xanthan, glycyrrhizin to justify their use in food, pharmaceutical forms and cosmetics.

Presentation of the main research material.

Glucuronic acid is one of the uronic acids formed in the body from glucose during the oxidation of its primary alcohol group. Optically active, well soluble in water, mp = 167...172 °C, monobasic. D-glucuronic acid is widespread in animals and plants, is part of acidic mucopolysaccharides, some bacterial polysaccharides, triterpene saponins, hemicellulose and gum. Free glucuronic acid is found in small amounts in blood and urine. In the form of paired compounds of glucuronic acid (glucuronides) are excreted in the urine of some metabolic products, including toxic (phenol, cresol), and many drugs. The conversion of glucuronic acid in all animals except monkeys and guinea pigs, as well as humans, leads to the biosynthesis of ascorbic acid. In physiological fluids and tissues of animals (especially in the liver, kidneys, spleen, and malignant tumors), bacterial and plant tissues contain the enzyme β -glucuronidase, which catalyzes the hydrolysis of β -glucuronides to free glucuronic acid and the corresponding aglycone [4].

In fig. 1 shows a schem of glucuronic acid, which clearly shows the number of functional groups, both for ionic binding (-COOH) and for intermolecular interaction (-OH) with other participants in the technological environment and the gastrointestinal tract.

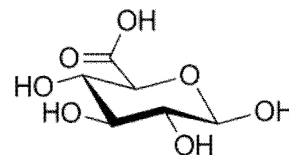


Fig. 1 The structure of glucuronic acid

Glucuronic acid is found in small amounts in the human body, where it is formed during the oxidation of D-glucose. Its normal concentration in the blood is 0.02–0.08 mmol/liter. Glucuronic acid is part of mucus, saliva, intercellular matrix, glycocalyx. Is one of the key components of pigment metabolism in the liver.

The properties of glucuronic acid to some extent coincide with the properties of glucose, but due to the presence of a carboxyl group, it is possible to create salts and lactones. When heated, glucuronic acid is dehydrated and decarboxylated.

An important function of glucuronic acid for the human body is that it is able to form soluble conjugates (glucuronides) with alcohols, phenols, carboxylic acids, thiols, amines and a number of other substances, due to which it is given the status of a powerful detoxifying agent. still, in addition, loyally removes the products of biotransformation from the body. According to some scientists, the biotransformation of xenobiotics in the human body occurs in three phases [5–7].

The reactions of the first and second phases are catalyzed by enzymes that metabolize xenobiotics (EMX). Most of these enzymes are concentrated in the liver, although the activity of EMX is also manifested in other organs and tissues. As you can see, to carry out the

detoxification and elimination of xenobiotics, it is necessary to ensure a balance between the enzymes of the first and second phases. Thus, to protect the body from damage that may be caused by external influences of xenobiotics. Later, the existence of specific substances-transfers of exogenous compounds – P-glycoproteins, which provide the movement of xenobiotics in the body, was proved. Also, the main function of such transfer substances is to improve the process of excretion of xenobiotics (bile or blood), which in some sources is called the third phase of biotransformation – the evacuation phase.

Biotransformation, as a rule, leads to a decrease in the activity of toxicants – decontamination. However, in some cases, xenobiotic metabolites become, on the contrary, more toxic compounds, and can also change the nature of the toxic effect or initiate another toxic process [8]. We analyzed several ways to implement the three-phase process of xenobiotic metabolism (Table 1).

Table 1. Characteristics of the main conjugation reactions of xenobiotics

Reaction	Attached agent	Xenobiotic functional group
A. Reactions involving activated forms of attached agents		
Conjugation with glucuronide acid	УДФ- glucuronide acid	-OH; -COOH; NH ₂ ; -NR ₂ ; -SH; -CH
Conjugation with glucose	УДФ- glucose	-OH; -SH; COOH; =NH
Sulfatation	ФАФС	-OH; -NH ₂ ; -SH
Methylation	S-adenosylmethionine	-OH; -NH ₂
Acetylation	Acetyl CoA	-OH; -NH ₂
Detoxification of cyanide	Sulfone sulfide	-CN
B. Reactions involving activated forms of xenobiotics		
Conjugation with glutathione	Glutathione	Arenoxides; epoxies; halogenated alkyl and aryl hydrocarbons
Amino acid conjugation	Glycine; glutamine; ornithine; taurine; cysteine	-COOH

As can be seen from the table, almost all of the presented ways of neutralization of xenobiotics involve proteins, amino acids or peptides. However, there is a way, which is based on the chemical activity of glucuronic acid. In addition, the table clearly shows that it is the conjugation with glucuronic acid allows to bind the largest number of xenobiotics, as it is possible to attach a wide range of their functional groups.

For example, glucuronic acid is actively attached to molecules of aliphatic and aromatic alcohols, organic acids, sulfur-containing compounds. The process of conjugation leads to the formation of glucuronic acid esters - glucuronides, which are formed mainly in the liver, as well as in the kidneys, skin, digestive tract and so on.

Glucuronide conjugates of xenobiotics have a 5-pyranoside structure and are classified as follows:

1) O-glucuronides are formed from phenols, alcohols and carboxylic acids;

2) N-glucuronides (there are several types). The nitrogen atom of these compounds to which the glucuronide moiety is attached may be in the amino, sulfamide, carbonyl group or in a heterocyclic nitrogen compound.

3) S-glucuronides – thiol compounds with glucuronic acid [9].

A characteristic feature of glucuronides is that the carboxyl group in their molecules remains free. Therefore, in plasma and urine glucuronides are almost completely ionized by the carboxyl group.

The general scheme of glucuronide formation is shown in fig. 2.

Some endogenous substances, such as steroids and bilirubin, are also metabolized by conjugation with glucuronic acid [10].

The glucuronic detoxification pathway is one of the most loyal pathways for removing toxins from the body. To implement it, as can be seen from the table, it is

necessary to involve the enzyme UDP-glucuronosyltransferase. Also involved are the enzymes acetyl CoA, amine N-acetyltransferase, sulfotransferase, glutathione S-transferase, cysteine-conjugating β -lyase.

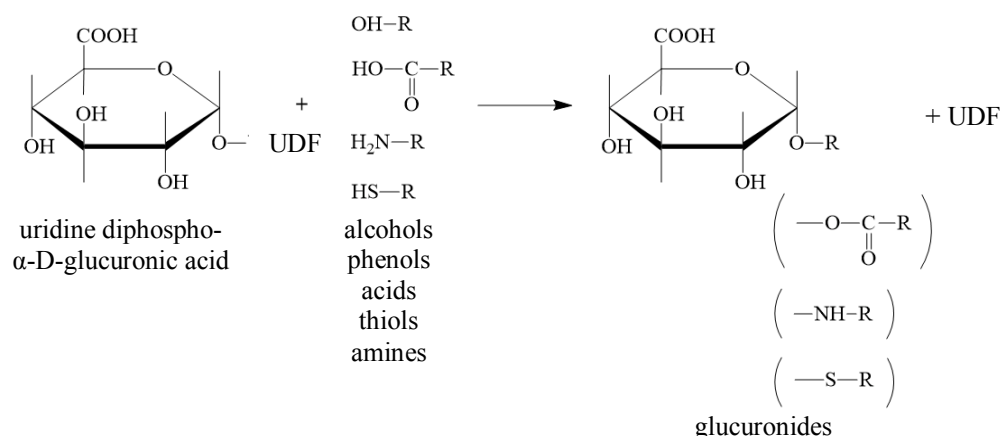


Fig. 2 - General scheme of synthesis of glucuronides in the body

It is also necessary to monitor the process of metabolism of flavonoids, which due to their significant mass and volume have low bioavailability. It should be noted that there is a way of absorption of a significant part of flavonoids, with the exception of proanthocyanidin, through the apical membrane of enterocytes of the small intestine. For this purpose it is necessary to carry out their deglycosylation. This pathway can be implemented with the participation of the enzyme lactase-florizine-hydrolase, which belongs to β -glucosidase. This enzyme is localized in the brush border of the epithelial cells of the small intestine and exhibits substrate specificity for flavonoid glycosides, providing their hydrolysis before absorption. An alternative pathway for deglycosylation is carried out by other β -glucosidases, the main of which are cytosolic β -glucosidases and occurs in several phases:

- hydrolysis of flavonoid glycosides (phase I metabolism);
- conjugation of aglycones in small intestine cells (phase II).

It should be noted that conjugation in small intestine cells is provided by enzymes such as uridine-5'-diphosphate glucuronosyl transferase, sulfotransferase and catechol methyltransferase. As a result, molecules are formed, which are glucuronides, as well as sulfates with or without methylation of flavonoid aglycones.

That is, from the above information it becomes clear that the metabolism of both xenobiotics and flavonoids requires the enzyme β -glucosidase.

Due to the fact that all over the world there is a decrease in enzyme activity, ie in the human body glucuronic acid is poorly synthesized from the age of 25, it became necessary to search for external sources of glucuronic acid and study the mechanism of their assimilation in humans. According to the results of the analytical review, glycyrrhizin and xanthan became such raw materials.

Today, polymer hydrogels based on composites containing glucuronic acid have a number of unique mechanical, physicochemical and physiological features that should be used in pharmaceuticals, medicine and other fields. Thus, the use of hydrogels based on xanthan and glycyrrhizin as a dosage form provides a prolongation of the drug compound, targeted delivery to target systems and organs, and in some cases a noticeable synergistic effect of the drug and the pharmacopoeial basis. In addition, there is a decrease in the toxicity of drugs, their side effects, reducing their dose while maintaining high biological activity due to the content of glycyrrhizin.

In the case of delivery of biologically active substances with high reactivity in the stomach, the immobilizing matrix for them are the structures of xanthan and hyaluronic acid, in which glucuronic acid by intermolecular and hydrogen bonds bond useful molecular structures. In this case, low molecular weight structures are retained in the intermolecular space of glycyrrhizin and hyaluronic acid, and bulkier molecules are retained due to bonds with the functional groups of xanthan.

To date, quantum chemical modeling has made it possible to explain the principles of formation of hydrogels based on uronate polysaccharides and to develop matrices for immobilization of biologically active substances in order to reduce their reactivity in the stomach and improve absorption in the small intestine [11].

Taking into account the obtained knowledge and results, the innovative design of the product, the technology of which is considered in this article, was the stage realization of the chemical potential of glucuronic acid (Fig. 3).

Quantum chemical models have predicted the formulation of hydrogels based on xanthan and glycyrrhizin, which contains licorice root.

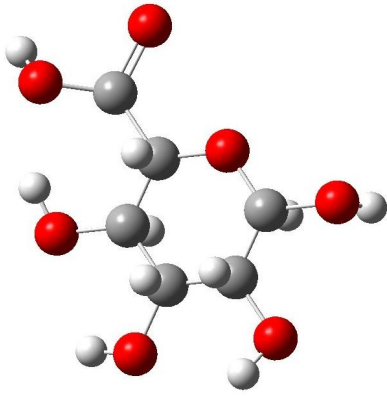


Fig. 3 – Quantum chemical model of glucuronic acid

Production of gel with a mass fraction of dry matter not more than 2%, its boiling and bottling is carried out in accordance with current instructions at the enterprise.

The technological scheme of production consists of the following stages:

- dosage of dry raw materials and auxiliary materials;

- homogenization of dry raw materials and auxiliary materials without biologically active substances;
- preparation of gel;
- settling of the mixture (T = 45-90 min);
- mixing;
- boiling with periodic stirring and filtering (T = 40-50 min, t = 75-85°C);
- cooling to 50... 55°C;
- addition of biologically active substances (if necessary, flavors and dyes);
- mixing;
- bottling of the finished hydrogel.

Conclusions and development prospects of this direction.

The theoretical preconditions for the formation of composite polymer hydrogels based on glycyrrhizin and xanthan were considered in the work.

The possibility of their formation with the participation of biologically active substances and drugs is described. It has been shown that biodegradable hydrogels are obtained by crosslinking glucuroncontaining compounds in aqueous solutions of polymer chains. The obtained systems are recommended for use in medicine, cosmetics and food products that have a detox effect.

Список літератури

1. Землянова М. А., Кольдибекова Ю. В. Современные подходы к оценке нарушений метаболизма ксенобиотиков при поступлении в организм из внешней среды. Экология человека. 2012. № 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-otsenke-narusheniy-metabolizma-ksenobiotikov-pri-postuplenii-v-organizm-iz-vneshney-sredy> (дата обращения: 02.02.2020).
2. Зверев Я.Ф. Флавоноиды глазами фармаколога. Особенности и проблемы фармакокинетики. Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2017. № 15. Т. 2. С. 4-11. URL: <https://journals.eco-vector.com/RCF/article/viewFile/6900/5534> (дата обращения: 03.05.2020).
3. Тазеддинова Д. Р., Суханбердина Ф. Х., Камар И. К., Абуова А. Б., Максимюк Н. Н. Принципы поддержки процессов биотрансформации ксенобиотиков. Молодой ученый. 2016. № 7. С. 358-361. URL: <https://moluch.ru/archive/111/27962/> (дата обращения: 02.02.2020).
4. Ахмедов О. Р., Сохибназарова Х. А., Шомуротов Ш. А. Биологически активные соединения на основе модифицированной ксантановой камеди. Химия растительного сырья. 2017. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biologicheskii-aktivnye-soedineniya-na-osnove-modifitsirovannoy-ksantanovoy-kamedi> (дата обращения: 02.02.2020).
5. Белоусова О. В., Белоусов Е. А., Королькова А. И. Исследование ассортимента косметических средств, содержащих гиалуроновую кислоту, в аптечных организациях г. Белгорода. Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. 2017. № 12 (261). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-assortimenta-kosmeticheskikh-sredstv-soderzhaschih-gialuronovuyu-kislotu-v-aptechnyh-organizatsiyah-g-belgoroda> (дата обращения: 02.02.2020).
6. Chong, S.-L., Koutaniemi, S., Juvonen, M., Derba-Maceluch, M., Mellerowicz, E. J., & Tenkanen, M. Glucuronic acid in Arabidopsis thaliana xylans carries a novel pentose substituent. International Journal of Biological Macromolecules. 2015. № 79. P. 807-812. doi:10.1016/j.ijbiomac.
7. Поливанов Є. А. Квантово-хімічне моделювання системи «Глутатіон-пектин» та оцінка можливості її використання у складі харчових продуктів. Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, 2018. № 18 (1294). С. 65-68.
8. Чурносов М. И., Полякова И. С., Пахомов С. П., Орлова В. С. Молекулярные и генетические механизмы биотрансформации ксенобиотиков. Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. 2011. № 16 (111). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molekulyarnye-i-geneticheskie-mehanizmy-biotransformatsii-ksenobiotikov> (дата обращения: 02.02.2020).
9. Комов, В. П. Биохимия в 2 ч. Часть 1. : учебник для академического бакалавриата / В. П. Комов, В. Н. Шведова ; под общей редакцией В. П. Комова. 4-е изд., испр. и доп. Москва : Издательство Юрайт, 2019. 333 с. ISBN 978-5-534-02059-5. URL: <https://urait.ru/bcode/444950> (дата обращения: 02.02.2020).
10. Крамаренко В. Ф. Токсикологическая химия. К. : Выща шк. Головное изд-во, 1989. 447 с.

11. Кулинский В. И. Обезвреживание ксенобиотиков. Соросовский образовательный журнал. 1999 № 1. С. 8-12. URL: http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9901_008.pdf (дата звернення: 16.01.2020).

References (transliterated)

- Zemlyanova M.A., Koldibekova Y.V., Sovremennyye podkhody k otsenke narusheniy metabolizma ksenobiotikov pri postuplenii v organizm iz vneshney sredey [Modern approaches to assessing metabolic disorders of xenobiotics when ingested from the external environment]. *Ekologiya cheloveka*. no 8, 2012.
- Zverev Y.F. Flavonoidy glazami farmakologa. Osobennosti i problemy farmakokinetiki [Flavonoids through the eyes of a pharmacologist. Features and problems of pharmacokinetics]. *Obzoryn po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii*. 2017. no 15, vol. 2, pp. 4–11.
- Tazeddinova D. R., Sukhanberdina F.H., Kamar I. K., Abuova A. B., Maksimyuk N. N. Printsipy podderzhki protsessov biotransformatsii ksenobiotikov [Principles of supporting the processes of biotransformation of xenobiotics]. *Molodoy uchenyy*. 2016. no 7, pp. 358-361.
- Akhmedov O. R., Sokhibnazarova H.A. Shomurotov S. A. Biologicheski aktivnyye soyedineniya na osnove modifitsirovannoy ksantanovoy kamedy [Biologically active compounds based on modified xanthan gum]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2017. no. 3.
- Belousova O. V., Belousov E. A., Korol'kova A. I. Issledovaniye assortimenta kosmeticheskikh sredstv, soderzhashchikh gialuronovuyu kislotu, v aptechnykh organizatsiyakh g. Belgoroda [Research of the assortment of cosmetics containing hyaluronic acid in pharmacy organizations in Belgorod]. *Nauchnyye vedomosti BelGU. vol: Medicine. Pharmacy*. 2017, no. 12, pp. 261.
- Chong, S.-L., Koutaniemi, S., Juvonen, M., Derba-Maceluch, M., Mellerowicz, E. J., & Tenkanen, M. Glucuronic acid in *Arabidopsis thaliana* xylans carries a novel pentose substituent. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015. № 79. P. 807–812. doi:10.1016/j.ijbiomac.
- Polivanov E. A. Kvantovo-khimicheskoye modelirovaniye sistemy «Glutation-pektin» i otsenka vozmozhnosti yeye ispol'zovaniya v sostave pishchevykh produktov [Quantum-chemical model of the Glutathione-Pectin system and the assessment of the potential of the Ukrainian warehouse at the warehouse of harch products]. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta «KHPI». vol: Innovative research in scientific works of students*. 2018. no. 18 (1294), pp. 65-68.
- Churnosov M. I., Polyakova I. S., Pakhomov S. P., Orlova V. S. Molekulyarnyye i geneticheskiye mekhanizmy biotransformatsii ksenobiotikov [Molecular and Genetic Mechanisms of Biotransformation of Xenobiotics]. *Nauchnyye vedomosti BelGU. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*. 2011. no. 16, pp. 111 .
- Komov, V. P. Biokhimiya v 2 ch. Chast' 1.: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata [textbook for academic undergraduate] / V. P. Komov, V. N. Shvedova; pod obschey redaktsiyey V. P. Komova. 4 izd., Ispr. i dop. Moskva: Izdatel'stvo Yurayt. 2019. pp. 333.
- Kramarenko V. F. Toksikologicheskaya khimiya. [Toxicological chemistry] K.: Vyshcha shk. Golovnoye izd-vo. 1989. pp. 447 .
- Kulinskiy V. I. Obvezvrezhivaniye ksenobiotikov. [Xenobiotic neutralization]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* . 2017. no. 1, pp. 8-12.

Надійшла (received) 10.03.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Поливанов Єгор Андрійович (Поливанов Егор Андреевич, Polyvanov Yehor Andriyovych) – студент IV курсу кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-5187>; e-mail: mr.egor.pv@gmail.com.

Кондратюк Наталія Вячеславівна (Кондратюк Наталья Вячеславовна, Kondratjuk Natalia Vyacheslavivna) – 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.

Вієнко Олексій Юрійович (Виенко Алексей Юрьевич, Vienko Oleksyi Yuriovych) – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, асистент кафедри харчових технологій; м. Дніпро, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8195-8995>; e-mail: alekseyrocnrolla@gmail.com.

Гончаренко Ірина Петрівна (Гончаренко Ирина Петровна, Honcharenko Iryna Petrivna) – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, асистент кафедри харчових технологій; м. Дніпро, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9349-254X>; e-mail: goncharenkoira88@ukr.net.

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 характеристизації 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). Надана унікальна можливість для компаній, організацій, викладачів, науковців, членів EFCE та CFE -UA внести свій вклад в розвиток і рішення сучасних і прогресивних наукових та технічних питань, пов'язаних з хімічною та харчовою технологіями, а також хімічним машинобудуванням, з метою вирішення глобальних завдань сьогодення. Очолює на громадських засадах неприбуткову Українську асоціацію хімічної і харчової інженерії член-кореспондент НАН України Товажнянський Л.Л.; робочу групу асоціації складається із членів кафедри ІТПА НТУ «ХП» проф. Вєдь В.Є., проф. Капустенко П.О., секретарем асоціації призначили проф. кафедри ІТПА Бухкало С.І.

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 безкоштовної 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 консультаційної 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. Бухкало С.І.; тел. [+380932430788](tel:+380932430788), email: cfe.ukraine@gmail.com

ПРАВИЛА НАПИСАННЯ АНОТАЦІЇ

Анотація – це коротка характеристика роботи, що містить перелік основних питань статті. Структура анотації: в анотації необхідно висвітлити основні розділи статті, з'єднати їх і представити в короткій формі. Вона включає в себе основні розділи: актуальність, постановку проблеми, шляхи її вирішення, результати і висновки. На кожен з розділів відводиться одне – два речення (таблиця).

Таблиця. Основні компоненти авторської анотації статті

Компонент	Опис складових анотації статті
Актуальність	Показати важливість дослідницької проблеми чи запропонованого проекту, які вивчались: відразу повинно скластися уявлення, чому обговорювана проблема потребує вивчення.
Постановка проблеми	Наукове обґрунтування необхідності висвітлення існуючої проблеми, на вирішення якої і буде спрямований дослідницька стаття. При читанні даного розділу анотації у читача повинно скластися враження, що без представленого проекту «подальший розвиток просто неможливий».
Шляхи вирішення проблеми	Необхідно перерахувати конкретні результати дослідження, спрямовані на вирішення існуючої проблеми. Для науково-обґрунтованих досліджень це може бути перерахування досліджуваних теоретичних та експериментальних питань. У кількісних дослідженнях (якщо в роботах є розрахункові та статистичні дані експерименту) в цьому розділі анотації перераховуються методики проведення експериментальної роботи, досліджувані змінні.
Результати та висновок	Представляються кількісні та якісні результати дослідження. Рекомендується використовувати загальні слова типу «довели ефективність», «виявилася неефективною», не згадуючи конкретні цифри, які можуть бути невірно інтерпретовані.
Визначення сфери впровадження	1. Можливість впровадження результатів дослідження. 2. Наскільки проведена робота розширила існуючі уявлення про досліджувані питання або запропонувала нове рішення існуючої проблеми. Методи дають можливість створювати більш гнучкі засоби оцінювання, а також розраховувати ризики, як на основі статистичних даних, так і на експертних оцінках, з урахуванням періоду часу, галузі промисловості, економічної та управлінської специфіки підприємства та ін. Використання методів дозволяє відобразити результати, як в кількісній, так і в якісній формі.

Рекомендується використовувати загальні слова типу «довели ефективність», «виявилася неефективною», не згадуючи конкретні цифри, які можуть бути невірно інтерпретовані, наприклад, представляються кількісні або якісні результати дослідження. На закінчення необхідно позначити сферу впровадження результатів дослідження, наскільки проведена робота розширила існуючі уявлення про досліджувані питання або запропонувала нове рішення існуючої проблеми. Методи дають можливість створювати більш гнучкі засоби оцінювання, а також розраховувати ризики, як на основі статистичних даних, так і на експертних оцінках, зроблених у нечіткому, слабоформалізованому середовищі, з урахуванням періоду часу, галузі промисловості, економічної та управлінської специфіки підприємства та ін. Використання методів дозволяє відобразити результати, як в кількісній, так і в якісній формі.

Часто наукові статті не містять опис експериментальних досліджень і при написанні анотації можна обмежитися лише першими трьома компонентами: актуальністю, постановкою проблеми та шляхами її вирішення. При написанні анотації слід звернути увагу на наступні питання: 1) Ліміт слів – необхідно дотримуватися встановленого ліміту слів (100...250 слів). 2) Узгодження часів – анотації логічніше всього писати в минулому часі. 3) Структура – необхідно дотримуватися загальноприйнятої структури (таблиця). 4) Простота у викладі матеріалу. Рекомендується використовувати відомі загальноприйняті терміни. 5) Відсутність деталей – необхідно уникати зайвих деталей і конкретних цифр. 6) Ключові слова (5–8) необхідні для пошукових систем і класифікації статей за темами. В інтересах автора вказати кількість ключових слів необхідних для збільшення шансів знаходження статті через пошукові системи. Словосполучення вважаться одним ключовим словом. Анотація з УДК, ПІБ авторів та переліком ключових слів надається українською, російською та англійською мовами (кегль 9, вирівнювання по ширині). У тексті анотації на англійській мові слід застосовувати термінологію, характерну для іноземних спеціальних текстів відповідної предметної області, уникати вживання термінів, які є прямою калькою російськомовних-україномовних термінів. Необхідно дотримуватися єдності термінології в межах анотації. Одним з перевірених варіантів анотації є коротке повторення в ній структури статті, що включає введення, цілі і завдання, методи, результати та висновки. Такий спосіб складання анотацій набув поширення і у зарубіжних журналах. Скорочення та умовні позначення, крім загальноживаних (в тому числі в англійських спеціальних текстах), застосовують у виняткових випадках або дають їх визначення при першому вживанні. Одиниці фізичних величин слід наводити в міжнародній системі СІ. В анотації не робляться посилання на публікації у списку літератури до статті.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

<i>Бухкало С. І., Агейчева А. О., Агейчева О. О., Бабаш Л. В., Пищкіна Н. Г.</i> Методичні аспекти реформування дистанційного навчання в системі вищої освіти	3
<i>Морозюк Л. І., Денисова А. Є., Саад Алдін Алхемірі Дауд Ліла, Хуссейн Джамал Таліб</i> Принцип створення системи тригенерації з сонячною енергоустановкою	11
<i>Говоров П. П., Бухкало С. І., Кіндінова А. К., Говорова К. В.</i> Енергоефективна система знезараження води на основі світлодіодних джерел світла	19
<i>Кустурова О. В., Жуган О. А., Печеніжська А. В., Моцарь Д. В., Сугрбов М. О.</i> Дослідження впливу калію хлористого на реологічну активність бентоніту	26

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

<i>Височин В. В., Нікульшин В. Р., Денисова А. Є., Бударін В. О.</i> Узгоджені параметри сезонних акумуляторів теплоти для геліосистеми	31
<i>Бухкало С. І., Іглін С. П., Ольховська О. І., Ольховська В. О.</i> Приклад експериментальних розрахунків дії реакторів як системи	37
<i>Бабак Т. Г., Демірський О. В., Пономаренко Є. Д., Селіванов І. Ю.</i> Підвищення енергоефективності процесу ректифікації суміші ацетон-бензол	45

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

<i>Первалов Л. І., Фадєєв Л. В., Тимченко В. К., Д'яченко М. В.</i> Технологічні аспекти одержання високоякісного ядра соняшнику для кондитерської промисловості	51
<i>Гаврюшенко К. О., Гладкий Ф. Ф.</i> Технологія поверхнево-активних похідних рицинової кислоти ...	56
<i>Бухкало С. І., Іглін С. П., Ольховська В. О.</i> Аналіз реологічних властивостей різновидів майонезу	63

ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

<i>Лаврова І. О., Бухкало С. І., Валуйкін С. В.</i> Аналіз можливостей використання фосфоліпідів для підвищення адгезійної здатності дорожніх бітумів	71
<i>Prishchenko O. P., Chernogor T. T.</i> Analysis of opportunities of analytical method of optimization in chemical technology	79
<i>Polyvanov Y. A., Kondratiuk N. V., Vienko O. Yu., Honcharenko I. P.</i> Theoretical aspects of the creation of food hydrogels with glucuronic acid	86

ІНФОРМАЦІЯ	93
ЗМІСТ	94

CONTENT

<i>Bukhhalo S. I., Ageicheva A. O., Aheicheva O. O., Babash L. V., Pshychkina N. G.</i> Distance learning reforming in higher education methodological aspects	3
<i>Morozyuk L. I., Denysova A. E., Saad Aldin Alhemiri Daowd Lila, Hussein Jamal Talib</i> Principle of development of the trigeneration system with solar power unit	11
<i>Hovorov P. P., Bukhhalo S. I., Kindinova A. K., Hovorova K. V.</i> Energy-efficient water disinfection system based on led light sources	19
<i>Kusturova O. V., Zhugan O. A., Pechenizhska A. V., Mozar D. V., Sugrobov M. O.</i> Research influence of potasium chloride on bentonite activity	26

MODELING AS A TOOL OF INNOVATION

<i>Wysochin V. V., Nikulshin V. R., Denysova A. E., Budarin V. O.</i> Rational parameters of seasonal heat accumulators for helios system	31
<i>Bukhhalo S. I., Iglin S. P., Olkhovska O. I., Olkhovska V. O.</i> Example of experimental calculations of chemical reactor action as a system	37
<i>Babak T. G., Demirskii O. V., Ponomarenko Ye. D., Selivanov I. Yu.</i> Improvement of acetone-benzene mixture rectification process energy efficiency	45

ENERGY AND RESOURCE SAVING AS PROBLEMS AND TECHNOLOGIES OF INNOVATIONS

<i>Perevalov L. I., Fadeev L. V., Timchenko V. K., Diachenko M. V.</i> Technological aspects of producing high-quality sunflower kernel for the confectionery industry	51
<i>Havriushenko K. O., Gladkiy F. F.</i> Technology of surface-active derivatives of castor acid	56
<i>S. I. Bukhhalo, Iglin S. P., Olkhovska V. O.</i> Analysis rheological properties of mayonnaise mass	63

INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH DIFFERENT PURPOSES

<i>Lavrova I.O., Bukhhalo S.I., Valuikin S.V.</i> Analysis of possibilities of using phospholipides to increase the adhesional ability of road bitumen	71
<i>Prishchenko O.P., Chernogor T.T.</i> Analysis of oppotunities of analytical method of optimization in chemical technology	79
<i>Polyvanov Y.A., Kondratiuk N.V., Vienko O.Yu., Honcharenko I.P.</i> Theoretical aspects of the creation of food hydrogels with glucuronic acid	86

INFORMATION	92
-------------------	----

CONTENT	95
---------------	----

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХП»
СЕРІЯ: ІННОВАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАУКОВИХ РОБОТАХ
СТУДЕНТІВ**

Збірник наукових праць

№ 5'2020

Головний редактор: канд. техн. наук, чл-кор. НАН вищої освіти України, проф. С.І. Бухало

Технічний редактор: доц. Н.М. Мірошніченко

Відповідальний за випуск канд. техн. наук, доц. Н.М. Мірошніченко

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 23.03.20 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,0. Облік.-вид. арк. 8,75
Тираж 100 пр. Зам. № 25. Ціна договірна.

Друкарня «ФОП Пісня О. В.». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ВО2 № 248750 від 13.09.2017 р.
61002, Харків, вул. Гіршмана, 16а, кв. 21, тел. 0932430788
