

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**

№ 6'2020

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

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

No. 6'2020

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. — № 6 (1360) 2020. — 100 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, Венгрия

Л. Пуиджанер, профессор, доктор философии,

Политехнический университет Каталонии, кафедра

химического машиностроения, Барселона, Испания

И. Плазл, проф., факультет химии и химической

технологии, Университет Любляны, Любляна, Словения

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

Ноттингемский университет, кампус Малайзии, кафедра

химической и экологической инженерии, Малайзия

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:

Bukhkalov 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 № 6 від 13 листопада 2020 р.

А. Є. ДЕНИСОВА, Г. В. ЛУЖАНСЬКА, Л. В. ІВАНОВА, О. С. ЖАЙВОРОН, О. С. БОДЮЛ

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОЛОКАЛІЗАЦІЇ НА ЗАСАДАХ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

З метою досягнення енергозберігаючого ефекту запропоновано перекриття повітровипускного отвору по вертикалі в перемежуваному порядку, зменшуючи тим самим живий перетин для проходження повітря, знижуючи кількість необхідного повітря, значно скорочуючи витрати теплової енергії на систему теплопостачання. При перекриванні повітровипускного отвору неізотермічний повітряний потік, що витікає розбивається на плоскі струмені, які зливаються в результуючий повітряний потік на певній відстані, що попереджує проникання холодного повітря в приміщення. Для підтвердження запропонованого рішення теоретичні та експериментальні дослідження аеродинамічних та теплових параметрів струменів виконані на пілотній установці, що дозволило встановити температурні і швидкісні поля потоків повітря в теплолокалізуючому пристрої. Підтверджено, що впливовими чинниками ефективності запропонованого рішення є геометричні розміри, швидкість і температура струменів, які зливаються, що визначає далекобійність результуючого повітряного потоку. На підставі результатів математичного моделювання і експериментальних досліджень встановлено зміни аеродинамічних та теплових параметрів струменів в просторі і часі, а також характер розподілу швидкості результуючого повітряного потоку, утвореного злиттям плоских неізотермічних струменів, на вході в опалювальне приміщення. В результаті досліджень виявлено, що зі збільшенням швидкості витікання струменя, збільшується далекобійність повітряного потоку і відповідно підвищується ефективність роботи системи теплолокалізації.

Ключові слова: повітряно-теплова завіса, плоский повітряний струмінь, результуючий потік, аеродинамічні та теплові параметри.

А. Е. ДЕНИСОВА, А. В. ЛУЖАНСКАЯ, Л. В. ИВАНОВА, О. С. ЖАЙВОРОН, Е. С. БОДЮЛ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОЛОКАЛИЗАЦИИ НА ПРИНЦИПАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

С целью достижения энергосберегающего эффекта предложено перекрывать воздуховыпускное отверстие по вертикали в перемежающемся порядке, что позволяет уменьшить живое сечение для пропуска воздуха, снижает количество необходимого воздуха и соответственно существенно сокращает расходы теплоты на систему теплоснабжения. При перекрывании воздуховыпускного отверстия вытекающий неізотермический воздушный поток, разбивается на плоские струи, которые сливаются на определенном расстоянии в результирующий воздушный поток, что предупреждает проникновение холодного воздуха в помещение. Для подтверждения предложенного решения теоретические и экспериментальные исследования аэродинамических и тепловых параметров струй были выполнены на пилотной установке, что позволило установить поля температур и скоростей потоков воздуха в теплолокализующей системе. Установлено, что влияющими факторами эффективности предлагаемого решения являются геометрические размеры, скорость и температура сливающихся струй. На основании результатов математического моделирования и экспериментальных исследований установлено изменения аэродинамических и тепловых параметров струй в пространстве и времени, а также характер распределения скорости результирующего воздушного потока, образованного слиянием плоских неізотермических струй, на входе в отапливаемое помещение. В результате исследований выявлено, что с увеличением скорости истечения струи, увеличивается дальность воздушного потока и соответственно повышается эффективность работы системы теплолокализации.

Ключевые слова: воздушно-тепловая завеса, плоский воздушный и результирующий поток, аэродинамические и тепловые параметры.

A. E. DENYSOVA, G. V. LUZHANSKA, L. V. IVANOVA, O. S. ZHAIVORON, O. S. BODIUL

IMPROVEMENT OF THERMAL TRAPPING SYSTEMS ON THE PRINCIPLES OF ENERGY SAVING

One of the important directions of development of the energy sector is the development of energy-efficient systems and equipment, the application of which can reduce significantly the consumption of fuel and energy resources. In the cold period of the year the huge mass of outdoor air after the thermal trapping system enters the heated premises of public and industrial buildings. To prevent this, it's necessary to improve the thermal trapping systems installed in open external openings of buildings, in accordance the principles of energy saving technologies. In order to achieve an energy-saving effect it's proposed to overlap the air outlet vertically in interleaved order, that reduces the free cross-section for the passage of air, reduces the amount of required air and accordingly significantly reduces the heat consumption of heating system. When the air outlet is interleaved closed, the escaping non-isothermal air flow is broken into flat jets, which merge at a certain distance into resulting air flow, which prevents the penetration of cold air into the building. For confirmation of proposed solution, the theoretical and experimental studies of the aerodynamic and thermal parameters of the jets were carried out on a pilot plant, which made it possible to establish the fields of temperatures and air flow rates in the heat-trapping system. It is found that the factors influencing the efficiency of the proposed solutions are geometric dimensions, speed and temperature of merging jets, which determines the range of the resulting air flow. Based on the results of mathematical modeling and experimental studies, changes of aerodynamic and thermal parameters of jets in space and time, as well as the character of distribution of speed in the resulting air flow formed by the merger of flat non-isothermal jets at the entrance to heated room, are established. The merging of the jets into the resulting air flow takes place in the initial section, while the general direction of the flow remains parallel to the initial direction of the interacting jets. As a result of research, it is revealed that with increase of jet speed, the range of air flow increases and, accordingly, the efficiency of the thermal trapping system increases.

Keywords: air-thermal curtain, flat air jet, resulting flow, aerodynamic parameters, thermal parameters, energy saving.

Вступ. Актуальність впровадження енергозберігаючих технологій в Україні обумовлена значною залежністю економіки країни від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, що суттєво гальмує процес становлення України як енергонезалежної держави.

Україна задовольняє свої потреби в природних енергоресурсах за рахунок власного видобутку приблизно на 45%. Тому фактор енергозбереження є одним із визначальних для енергетичної стратегії нашої країни.

© Денисова А.Є., Лужанська Г.В., Іванова Л.В., Жайворон О.С., Бодюл О.С., 2020

Процеси економічного зростання в Україні, раціоналізації її енергетичного балансу потребують значного технічного і технологічного переозброєння, структурних змін в господарських комплексах країни, зменшення залежності від імпорту паливно-енергетичних ресурсів.

Одним з головних напрямків подолання енергетичної кризи, забезпечення оздоровлення економіки є енергозбереження. Це дієвий шлях значної економії паливно-енергетичних ресурсів та являє собою діяльність, спрямовану на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві, реалізується з використанням технічних, економічних і правових методів. Одним з найбільш ефективних і масштабних напрямів енергозбереження є галузеве енергозбереження за такими основними напрямками, як впровадження нових енергозберігаючих технологій та обладнання; удосконалення існуючих технологій та обладнання; скорочення витрат енергоносіїв.

Аналіз стану питання. Відкриті дверні отвори будівель і споруд муніципального сектора в холодний та перехідний періоди року призводять до значних втрат теплоти, які можуть обчислюватися сотнями кіловат [1, с. 206]. Вихолодження приміщень тим більше, чим більше відкритих дверних прорізів. При цьому, чим вище температура повітря всередині будівлі, тим з більшою швидкістю холодне зовнішнє повітря надходить в приміщення. Внаслідок цього, значні маси холодного повітря, як більш важкі, заповнюють робочу зону приміщення.

Витрата повітря залежить від [2, с.5]; [3, с.121]; [4, с.15]; [5, с.23]; [6, с. 18]:

- різниці тисків всередині і ззовні будівлі;
- різниці температур всередині і ззовні будівлі;
- швидкості вітру відносно дверного отвору.

Значні маси зовнішнього холодного повітря в зимовий період надходять в опалювальні приміщення будівель, збільшуючи витрати теплоти на системи мікроклімату для створення комфортних умов для людей в цих приміщеннях. Це спричиняє значні перевитрати паливно-енергетичних ресурсів.

Найбільш вагомими чинниками енергозбереження є питомі показники тепловтрат при теплопостачанні будинків громадського та промислового призначення [7, с. 27]; [8 с. 61]. Основним напрямком енергозбереження для цих будинків є оптимальне використання режимів роботи теплового обладнання та пристроїв систем вентиляції і мікроклімату.

Для запобігання проникнення холодного повітря в будинки використовують спеціальні пристрої теплолокалізації – системи повітряно-теплових завіс [9, с. 49]; [10 с. 14].

Системи теплолокалізації захищають відкриті отвори будівель штучно сформованим повітряним

струменем, який спрямовують поперек проникаючого крізь двері і ворота зовнішнього холодного потоку повітря.

Згідно з нормативними вимогами повітряні завіси використовують в таких випадках [9, с. 49]:

– при постійно відкритих прорізах у зовнішніх стінах будівель;

– біля воріт і прорізів у зовнішніх стінах будинків, які не мають тамбурів і відчиняються більше п'яти разів та не менше ніж 40 хв. за робочу зміну, в регіонах з розрахунковою температурою зовнішнього повітря мінус 15 °С і нижче;

– біля зовнішніх дверей вестибюлів будинків громадського та промислового призначення в залежності від розрахункової температури зовнішнього повітря і числа людей, які проходять крізь двері протягом однієї години, а саме, взимку при температурі від –15 °С до –20 °С, коли крізь вхідні двері проходять більше 400 осіб.

Повітряно-теплові завіси використовуються для розділення приміщень з різною температурою повітряного середовища по різні боки вхідних дверей і воріт. Як правило, зовнішні прорізи будинків громадського та промислового призначення є досить габаритними, отже повітряні завіси є досить енергоємними пристроями [11, с.70]; [12, с. 24]. В деяких випадках витрати теплоти при роботі повітряно-теплових завіс навіть перевищують витрати теплоти на опалення будівлі. Отже, збільшення енергетичної ефективності пристроїв теплолокалізації дозволить досягти суттєвого енергозберігаючого ефекту, що необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації систем теплопостачання будівель громадського та промислового призначення.

При роботі повітряно-теплових завіс штучно сформована захисна повітряна маса, змішується як з зовнішнім повітрям, так і з повітрям всередині приміщення. При цьому розподіл температур і швидкості повітря по перетину штучного струменя є нерівномірним. Існуючі методи розрахунку повітряно-теплових завіс недосконалі, зокрема не містять системної інформації щодо характеру розподілу потоків повітря в площині зовнішнього прорізу. Внаслідок цього виникають труднощі урахування розподілу поля температур і епюри швидкостей повітряного струменя, що витікає зі щілин повітророзподільного отвору.

Питання конструювання раціональних теплолокалізуючих пристроїв для будинків громадського та промислового призначення вимагає системного підходу до досліджень на засадах енергозберігаючих технологій.

Основні конструктивні елементи повітряної завіси – це повітропровід для рівномірної роздачі повітря, який забезпечений щілиновидною насадкою з направляючими пластинами, що розташовані по всій його довжині.

Повітря, яке виходить із повітророзподільного отвору, утворює плоский струмінь [13, с. 22]. Насадка пов'язана повітроводами з вентилятором та калорифером, який використовується у разі потреби.

Штучна повітряна завіса формується порівняно вузьким струменем теплового потоку повітря, що надходить зі сторони щільного отвору, під певним кутом назустріч холодному зовнішньому потоку повітря, і є плоским неізотермічним струменем, який виникає на межі двох зустрічних повітряних середовищ, які мають різну температуру. Перепад тисків повітря з двох сторін штучного струменя повітряної завіси, спричиняє зміну його траєкторії, а саме, відбувається відхилення осі струменя від початкового напрямку.

Мета. Шляхом математичного моделювання і

експериментальних досліджень удосконалення схемно-конструктивних особливостей теплолокалізуючих пристроїв та виявлення чинників, що впливають на ефективність роботи повітряно-теплової завіси, з метою зменшення теплових втрат і теплового навантаження на систему теплопостачання будівлі, відповідно.

Методи дослідження. Для підвищення ефективності роботи систем теплолокалізації необхідно виконати числове моделювання та експериментальні дослідження теплових і аеродинамічних параметрів системи, а саме, особливостей розподілу швидкостей і зміни надлишкових температур при різних способах перекривання перерізу повітророзподільного отвору по вертикалі в перемежованому порядку (рис.1).

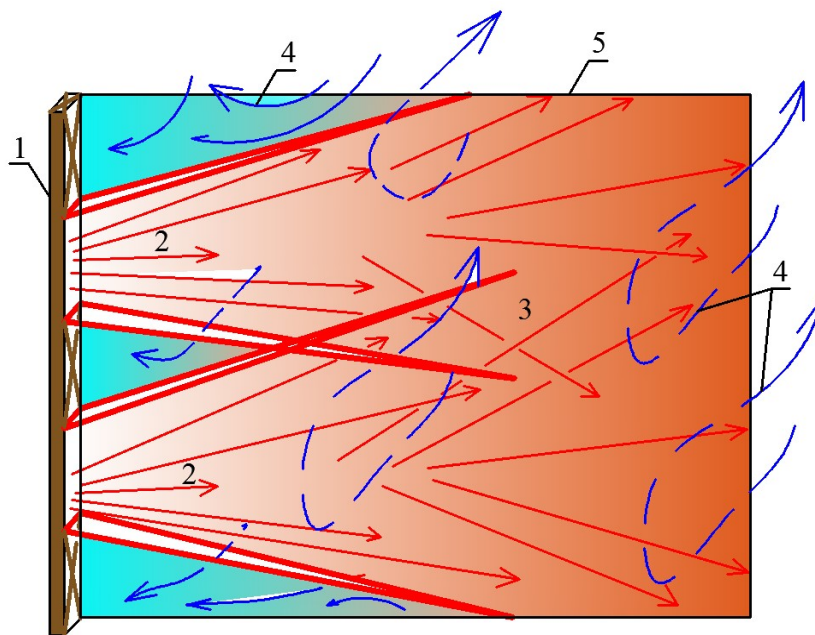


Рис. 1 – Схема руху штучного повітряного потоку системи теплолокалізації:

1 – повітророзподільний щільний отвір, перемищений по вертикалі; 2 – плоский неізотермічний струмінь повітря; 3 – результуючий потік повітря після змішання; 4 – холодне зовнішнє повітря; 5 – проріз будівлі

Необхідно відзначити, що процеси, які відбуваються в досліджуваному пристрої, в науковій літературі описані не систематизовано, теоретичні дослідження, як правило, не підтверджені експериментально.

Новизна наших пропозицій полягає у вдосконаленні схемно-конструктивних характеристик повітряно-теплової завіси, а саме, пропонується удосконалити теплообмінні і аеродинамічні параметри повітророзподільного отвору щільності шляхом перекриття її по вертикалі в перемежованому порядку.

Вказане здатне призвести до вдосконалення параметрів розподілення швидкостей і поля надлишкових температур при злитті повітряних потоків, що необхідно встановити експериментальним шляхом.

Отже, необхідно виконати експериментальні дослідження теплових і аеродинамічних процесів, які відбуваються в повітряно-тепловій завісі, при зміні схемно-конструктивних характеристик повітророзподільного отвору щільності.

Для аеродинамічних випробувань була створена пілотна установка повітряно-теплової завіси.

Для визначення полів швидкостей і розподілення надлишкових температур в діапазоні від +8 °C до -18 °C (температура холодної п'ятиденки, для м. Одеси) на діючому стенді, принцип діє якого представлено на рис. 2, були виконані експериментальні дослідження. Повітряно-теплова завіса встановлена у зовнішнього отвору 1. Нагріте в калорифері 4, повітря подається по повітропроводам 16 вентилятором 3. Витікання повітря здійснюється з щільного

повітророзподільного отвору коробу 2, який перекривається в перемежованому порядку.

Для виконання вимірювань швидкості установка забезпечена термоанемометром 13 з можливістю визначення напрямку швидкості і температури з вбудованим вимірювальним зондом 11 і координатною сіткою 6 для розподілу точок замірів. Вимірювання кількості повітряного струменя здійснювалося камерної діафрагмою 8, з'єднаної з U-подібним дифманометром 17.

Регулювання кількості повітря відбувалось засувкою 7. Вимірювання температури потоку проводилося спиртовим термометром 5 з шкалою розподілу $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ і термоанемометром-термометром – позиція 13.

Повний аеродинамічний опір пристрою визначався за показаннями дифманометра.

Перед початком експериментальних досліджень проводилося калібрування термоанемометра і установка перемежованих щілинних отворів для створення повітряного потоку, що витікає і досліджується. Шляхом встановлення координатної сітки по зрізу повітророзподільного отвору чи в необхідному перетині, визначалася кількість точок, які підлягають виміру.

Після включення вентилятора і калорифера виконувалися виміри швидкості і надлишкової температури в заданому перетині, після чого

координатна сітка переносилася на наступну відстань, до іншого перетину для вимірювань.

Для визначення особливостей поля швидкостей і температур експериментальні дослідження проводились в три етапи:

- дослідження ефективності роботи повітряно-теплової завіси при різних схемно-конструктивних характеристиках щілинного повітророзподільного отвору;

- визначення параметрів полів температур і швидкості, які утворені при взаємодії повітряних струменів;

- дослідження відносної швидкості і температури повітряного потоку, утвореного при взаємодії повітряних струменів.

Визначальними факторами, що впливають на ефективну роботу повітряно-теплових завіс, є комплекс аеродинамічних параметрів: швидкість і температура витікання; геометричні параметри струменів, що витікають та результуючого повітряного потоку після змішання; далекобійність результуючого струменя, тобто відстань від повітророзподільного щілинного отвору.

В результаті експериментальних досліджень отримано графік злиття плоских неізотермічних струменів в результуючий (змішаний) повітряний потік в залежності від ширини щілинного отвору і початкової швидкості потоку (рис. 3).

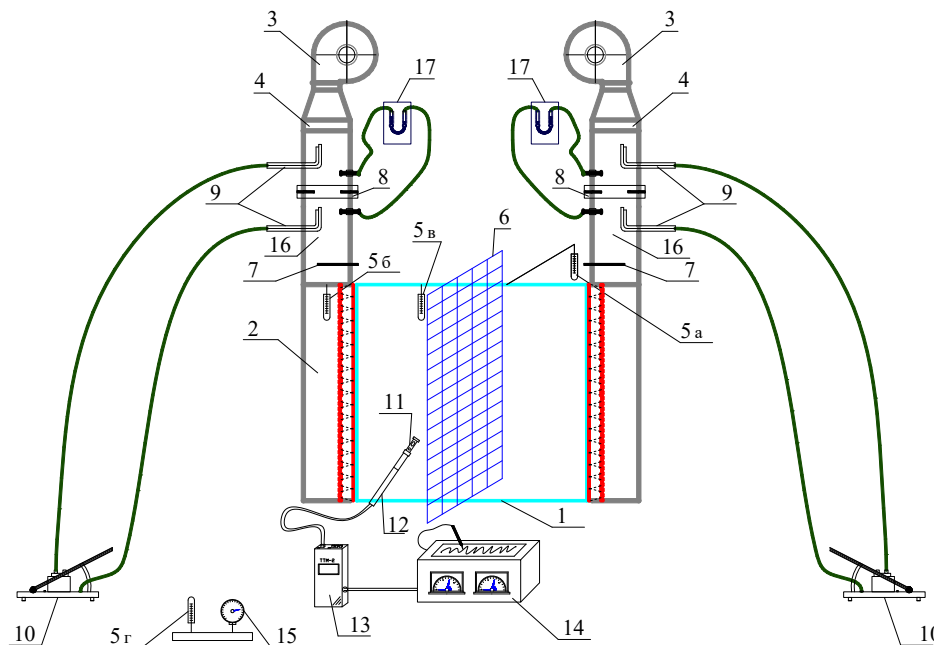


Рис. 2 – Пілотна установка теплолокалізуючого пристрою:

1 – проріз будівлі; 2 – короб завіси з перемежованими щілинами; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – термометр: 5 а – зовнішнього повітря; 5 б – повітря, що витікає; 5 г – змішаного повітряного потоку; 5 г – внутрішнього повітря; 6 – координатна сітка; 7 – засувка; 8 – діафрагма; 9 – трубка Піто; 10 – мікро анемометр; 11 – зонд; 12 – термоскопічна трубка; 13 – термоанемометр; 14 – самописець; 15 – барометр; 16 – повітропровід; 17 – U-подібний манометр

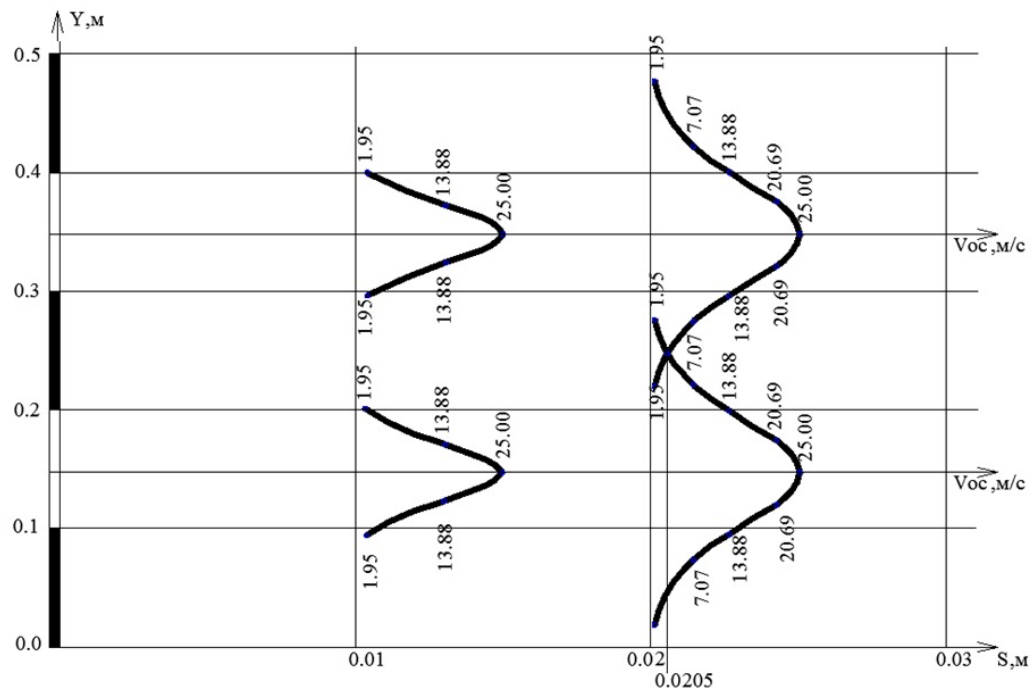


Рис. 3 – Змішування плоских струменів в результуючий потік повітря:
X – вісь відстані по горизонталі в сторону відкритого зовнішнього прорізу будівлі, м; Y – вісь відстані по вертикалі в сторону в щілинних отворів, м; Voc – вісь швидкості повітряного потоку, м/с

По осі X представлено відстань від місця витікання повітряних струменів по вертикалі в бік відкритого зовнішнього прорізу будівлі по горизонталі; по осі Y відкладено розміри щілинних отворів у вертикальній площині; по осі Voc – швидкість плоского неізотермічного струменя в залежності від відстані від місця витікання по горизонталі і відповідно від відстані по вертикалі в профільних перетинах потоку.

В ході виконання експерименту виконано дослідження, що пов'язані з визначенням впливу зміни живого перетину щілинних повітророзподільних отворів для витікання повітря, шляхом варіювання геометричних розмірів, на далекобійність результуючого повітряного потоку, утвореного після змішування струменів, і його швидкість, відповідно.

Визначено оптимальні параметри повітророзподільного отвору, при якому розміри щілини становлять 200 x 100 мм, при цьому плоскі струменя зливаються в результуючий потік на відстані 2,2 см на початковій ділянці формування струменя, що перешкоджає утворенню холодних зон для проривів зовнішнього повітря в опалювальні приміщення будівель громадського і промислового призначення. В результаті злиття і взаємодії струменів утворюється неізотермічний плоский потік, який повністю перекриває відкритий зовнішній отвір, тим самим підвищуючи ефективність роботи теплолокалізуючої установки, зменшуючи споживання теплової енергії та удосконалює роботу системам тепlopостачання будівлі.

Виконаємо дослідження температурних і швидкісних полів витікання плоских повітряних неізотермічних струменів, що злилися в єдиний повітряний потік засобами математичного моделювання.

Отримання адекватної картини фізичного процесу, тобто зміна фізичних параметрів в просторі і часі, можливо в результаті його математичного моделювання [14, с. 40].

Моделювання аеродинамічних та теплових параметрів досліджуваних струменів повітряно-теплової завіси досліджуваних виконувалося з використанням програмного модуля SolidWorks Flow Simulation, заснованого на методі кінцевих елементів.

Основними етапами реалізації математичної моделі з використанням можливостей SolidWorks Flow Simulation є:

- створення 3D-моделі течії;
- препроцесорна обробка для генерування кінцево-елементної сітки розрахункової області течії;
- накладення граничних умов;
- постпроцесорна обробка результатів моделювання з візуалізацією полів швидкостей і температур.

Шляхом застосування математичного апарату, отримано візуалізацію фізичного процесу та встановлено зміну аеродинамічних та теплових параметрів в часі та просторі (зміну і розподіл швидкості та температури результуючого повітряного потоку, утвореного при злитті плоских неізотермічних струменів повітря, на вході в опалювальне приміщення будівлі.

При цьому, рух повітряних струменів моделюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, які описують в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу і енергії повітряного середовища.

Крім того, використані рівняння стану компонентів довкілля та емпіричні залежності в'язкості компонентів навколишнього середовища від температури. Для моделювання турбулентних течій рівняння Нав'є-Стокса осереднювалось по числу Рейнольдса. В результаті рівняння мають додаткові члени – напруги по числу Рейнольдса, а для замикання системи рівнянь в SolidWorks використані рівняння переносу кінетичної енергії турбулентності і дисипації з використанням k - ϵ моделі турбулентності [15, с. 79]; [16 с. 124], бо потік, що витикає з повітророзподільних отворів відрізняється створенням вихорів і появою турбулентності, тому для моделювання використана k - ϵ модель турбулентності, яка найбільш подібна до реального процесу.

При математичному моделюванні використана покращена k - ϵ модель турбулентності – k - ϵ "Realizable", яка звичайно використовується для дослідження струменів. Ця модель застосовується, коли необхідно максимально наближено до реальних умов змодельовати процес течії.

Процес генерування кінцево-елементної сітки об'єкта дослідження є найбільш трудомістким кроком препроцесорної обробки, бо від якості згенерованої сітки елементів залежать результати математичного моделювання.

Залежно від складності об'єкта дослідження кінцево-елементна сітка може бути структурованою і неструктурованою. У нашому дослідженні використовувалася неструктурована кінцево-елементна сітка, основною перевагою якої є властивість дрібно розташовуватися навколо об'єктів різної форми.

Постпроцесорна обробка є фінальним етапом даного аналізу. Вона включає візуалізацію результатів, отриманих шляхом математичного моделювання аеродинамічних процесів в системі теплолокалізації.

Використанні рівняння можна представити у вигляді:

- рівняння руху:

$$\rho \frac{\partial \vec{g}}{\partial t} = -\nabla P + \nu \nabla^2 \vec{g}$$

де ρ – густина повітря;

$\vec{g}$ – векторне поле швидкостей;

∇ – оператор Гамільтона;

P – тиск.

- рівняння нерозривності:

$$\nabla \cdot \vec{g} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

де $\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}$ – градієнти швидкості у напрямках x, y, z .

У даній моделі використалося також «внутрішнє завдання»: повітря, подавалось крізь систему прямокутних отворів з розмірами 100 x 200 мм із варіюванням швидкості вхідного потоку у межах 5 ... 15 м/с, тиск у приміщенні приймався 200 Па з урахуванням роботи системи вентиляції, температура зовнішнього повітря варіювалася у межах мінус 25 ... мінус 5 °С, вітрове навантаження (вплив швидкості руху зовнішнього повітря) змінювалось у межах 1 ... 5 м/с. Температура повітря в приміщенні приймалася рівною 20 °С, температура повітря, що подається, у завісі варіювалася у межах 30 ... 50 °С.

На рис. 4 показаний загальний вигляд моделі теплолокалізуючого пристрою, створеної засобами SolidWorks Flow Simulation.

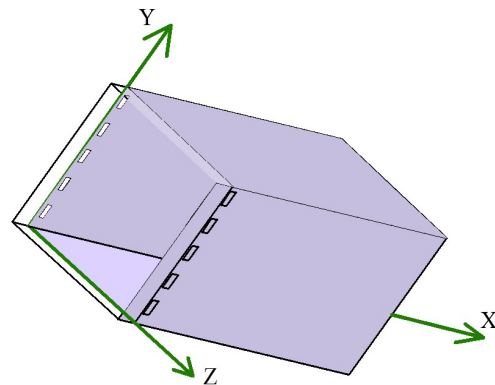


Рис. 4 – Модель повітряно-теплової завіси з перемешованими отворами

В результаті досліджень при різних швидкостях витікання і температурах отримано, що найбільш небезпечна температурна зона, з точки зору прориву холодного повітря в приміщення, утворюється в центральній частині.

При збільшенні швидкості подачі повітря в завісі відбувається більш повна локалізація приміщення.

Внаслідок виникнення збурень за торцями щілинних отворів зі збільшенням відстані від точки витікання відбувається більш плавний рух, що свідчить про зменшення гальмування і втрат тиску на тертя і більш рівномірному рух, утвореного результуючого повітряного потоку на початковій ділянці струменя (рис. 5–7).

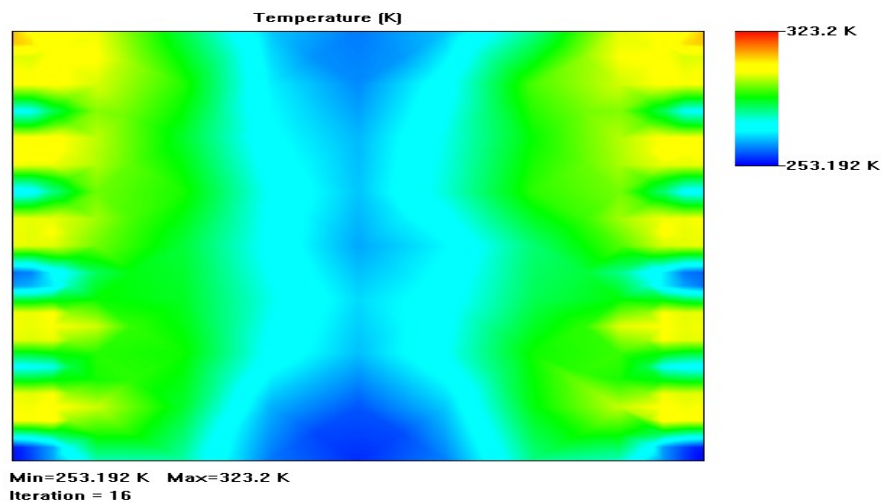


Рис. 5 – Поле температур на вході в приміщенні при температурі зовнішнього повітря мінус 15 °С і температурі повітря в щілинному насадку 30 °С.

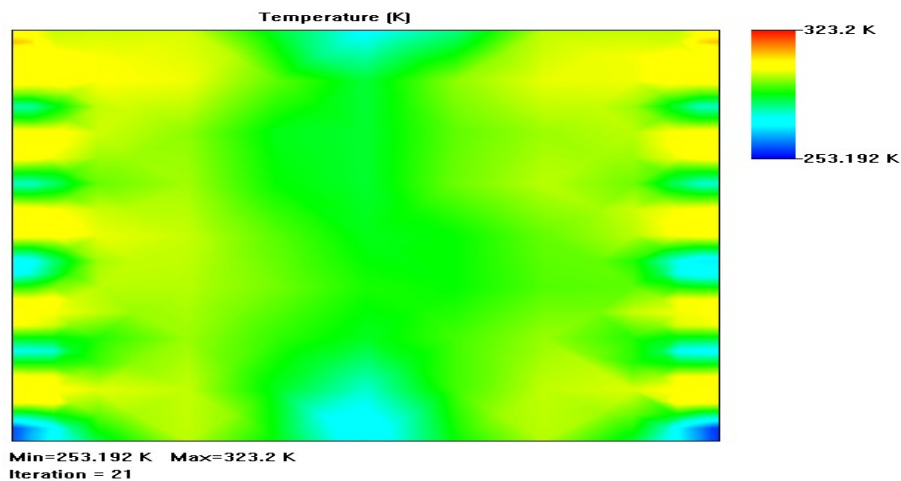


Рис. 6 – Поле температур на вході в приміщенні при температурі зовнішнього повітря мінус 15 °С і температурі повітря в щілинному насадку 40 °С.

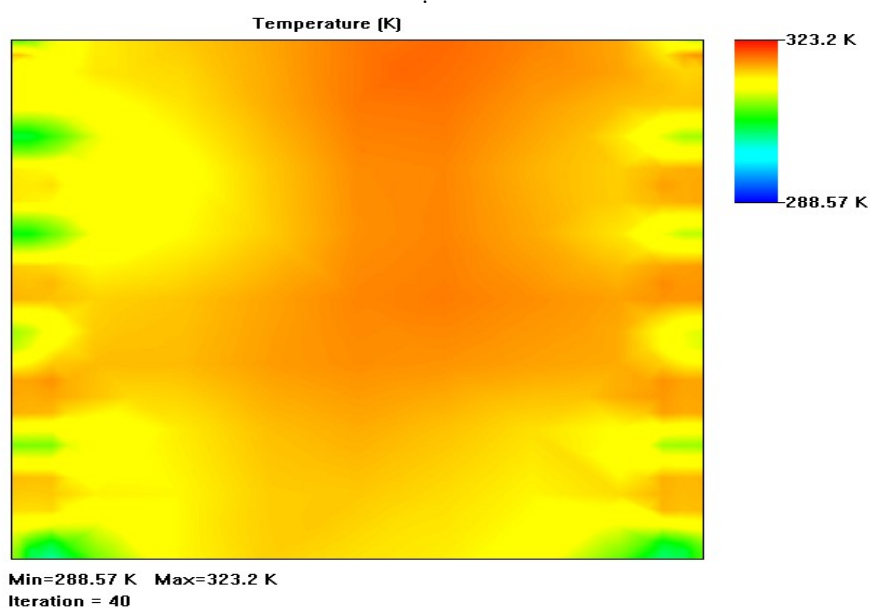


Рис. 7 – Поле температур на вході в приміщенні при температурі зовнішнього повітря мінус 15 °С і температурі повітря в щілинному насадку 50 °С.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. В результаті аналізу узагальнених результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень, що виконані на пілотній установці теплолокалізації, спрямованих на визначення поля швидкостей і температур повітряного потоку, що витікає з повітророзподільної насадки теплолокалізуючого пристрою, можна зробити такі висновки :

– удосконалено конструкцію повітророзподільного отвору системи теплолокалізації шляхом перекриття його по вертикалі в перемежованому порядку, що призводить до енергозберігаючого ефекту;

– визначено оптимальні розміри щілинних отворів 200 x 100 мм для витоку плоских неізотермічних струменів, що попереджує проникнення холодного зовнішнього повітря, забезпечуючи роботу системи на засадах енергозбереження;

– визначено оптимальну відстань, де відбувається злиття плоских неізотермічних струменів, які витікають з повітророзподільного щілинного отвору, формуючи результуючий повітряний потік на мінімальній відстані 2,2 см від щілинного отвору, що забезпечує підвищення ефективної роботи повітряно-теплової завіси;

– встановлено оптимальні умови формування результуючого струменя на початковій ділянці розвитку плоского неізотермічного струменя, що дозволяє сформувати повітряний потік, який повністю перекриває зовнішній отвір, запобігаючи виникненню холодних зон і перешкоджаючи проникненню холодного зовнішнього повітря в опалювальні приміщення будинків громадського та промислового призначення;

– розроблено конструкцію системи теплолокалізації зі зменшеним живим перетином для руху повітря, шляхом перекриття щілинного повітророзподільного отвору в перемежованому порядку по вертикалі, що дозволило зменшити витрату повітря, яке подається на повітряно-теплову завісу, і призводить до скорочення витрати теплоти на систему теплопостачання, відповідно зменшуючи споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремін М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Евроклимат-2003. – 416 с.
2. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Влияние внешних условий и внутренних факторов защищаемого объекта на работу струйного заграждения. Специальность 05.14.04 Промышленная теплоэнергетика. Мирошниченко Людмила Олеговна. М., 2007. – 20 с.

3. Гримитлин А.М., Стронгин А.С. Воздушные завесы для зданий и технологических установок: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 136 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. Лужанская А.В., Зайцев О.Н., Аэродинамика воздушно-тепловых завес в промышленных зданиях и сооружениях (монография). Научное издание к 50-ти летию НАПКС – Симферополь: НАПКС, СОНАТ 2009. – 184 с, ISBN 9668111-56-7
5. Григорьев А.Ю., Григорьев К.А., Брайнин А.Я. Экспериментальное исследование аэро- и термодинамических процессов в проемах, оборудованных тепловыми завесами // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. С. 23–26.
6. Вовк Н. Промышленные воздушные завесы-важные особенности // AW Therm №1 січень-лютий 2020. № 1. – С. 18–21.
7. O. Klymchuk, A. Denysova, A. Mazurenko, G. Balasanian, A. Tsurcan. Construction of methods to improve operational efficiency of an intermittent heat supply system by determining conditions to employ a standby heating mode // (2018) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6. – 8 (96), pp. 25–31
8. Klymchuk O., Denysova A., Balasanian G., Ivanova L., Bodiul O. Enhancing efficiency of using energy resources in heat supply systems of buildings with variable operation mode // EUREKA, Physics and Engineering. 2020, № 3, pp. 59–68.
9. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування/Мінрегіон України, К., 2013. 113 с.
10. ДБН В.2.2-9:2018 Громадські будинки та споруди / Мінрегіон України, Київ, 2019. – 47 с.
11. Кустиков Г.Г., Таран М.А., Ускова О.И. Воздушная завеса повышенной эффективности // Омский научный Вестник №3 (143) 2015. – С. 70–73
12. Григорьев А.Ю., Рубцов И.А. Аэро- и термодинамические процессы в проемах, оборудованных тепловыми завесами // Вестник Междун. академии холода. 2011. № 4. – С. 24–26.
13. Лужанская А.В. Оценка эффективности работы теплолокализирующих устройств // Холодильная техника та технологія. Том 53. Випуск 4. – Одесса: ОНАХТ. 2017. – С. 21–25.
14. Лужанская А.В., Коваль П.П., Фокин А.С., Греку И.Н. Повышение эффективности теплозащиты зданий и сооружений // Энергоефективні технології в міському будівництві та господарстві: матеріали VII Міжн. Наук.-практ. Конф. 17–18 травня 2018 р. – Одеса: ОДАБА, 2018. – С.39–43.
15. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
16. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Денисова А.Є. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛІ, 2016. – 470 с.

References (transliterated)

1. Anan'ev V.A., Balueva L.N., Gal'perin A.D., Gorodov A.K., Eremin M.Ju., Zvjaginцева S.M., Murashko V.P., Sedyh I.V. Sistemy ventiljacji i kondicionirovanija. Teorija i praktika. Evroklimat-2003. – 416 p.

2. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. Vlijanie vneshnih uslovij i vnutrennih faktorov zashishhaemogo ob#ekta na rabotu strujnogo zagrazhdenija. Special'nost' 05.14.04-Promyshlennaja teploenergetika. Miroshnichenko Ljudmila Olegovna. M., 2007. – 20 p.
3. Grimitlin A.M., Strongin A.S. Vozdushnye zavesy dlja zdaniy i tehnologicheskikh ustanovok: Uchebnoe posobie. – SPb.: Izdatel'stvo «Lan», 2018. – 136 p. – (Uchebniki dlja vuzov. Special'naja literatura).
4. Luzhanskaja A.V., Zajcev O.N., Ajerodinamika vozdušno-teplovih zaves v promyshlennyh zdaniyah i sooruzhenijah (monografija). Nauchnoe izdanie k 50-ti letiju NAPKS – Simferopol': NAPKS, SONAT 2009. – 184 p, ISBN 9668111-56-7
5. Grigor'ev A.Ju., Grigor'ev K.A., Brajnin A.Ja. Jeksperimental'noe issledovanie ajero- i termodinamicheskikh processov v proemah, oborudovannyh teplovymi zavisami // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda. 2014. No. 1, pp. 23–26.
6. Vovk N. Promyshlennye vodushnye zavesy-vazhnye osobennosti//AW Therm №1 sichen'-ljutij 2020. No. 1, – pp. 18–21.
7. O. Klymchuk, A. Denysova, A. Mazurenko, G. Balasarian, A. Tsurcan. Construction of methods to improve operational efficiency of an intermittent heat supply system by determining conditions to employ a standby heating mode // (2018) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6. – 8 (96), pp. 25–31.
8. Klymchuk O., Denysova A., Balasarian G., Ivanova L., Bodiul O. Enhancing efficiency of using energy resources in heat supply systems of buildings with variable operation mode // EUREKA, Physics and Engineering. 2020, No. 3, pp. 59–68.
9. DBN V.2.5-67:2013 Opalennja, ventiljacija ta kondicionuvannja/Minregion Ukraïni, K., 2013. 113 p.
10. DBN V.2.2-9:2018 Gromads'ki budinki ta sporudi / Minregion Ukraïni, Kiïv, 2019. – 47 p.
11. Kustikov G.G., Taran M.A., Uskova O.I. Vozdushnaja zavesa povyshennoj jeffektivnosti // Omskij nauchnyj Vestnik No. 3 (143) 2015, – pp. 70–73
12. Grigor'ev A.Ju., Rubcov I.A. Ajero- i termodinamicheskie processy v proemah, oborudovannyh teplovymi zavesami // Vestnik Mezhdunarodnoj. akademii holoda. 2011. № 4, – pp. 24–26.
13. Luzhanskaja A.V. Ocenka jeffektivnosti raboty teplolokalizujushih ustrojstv // Holodil'na tehnika ta tehnologija. Tom 53. Vipusk 4. – Odessa: ONAHT. 2017, – pp. 21–25.
14. Luzhanskaja A.V., Koval' P.P., Fokin A.S., Greku I.N. Povysenie jeffektivnosti teplozashhity zdaniy i sooruzhenij // Energoeffektivni tehnologii v mis'komu budivnictvi ta gospodarstvi: materiali VII Mezhdunarodnoj Nauk.-prakt. Konf. 17–18 travnja 2018 r. – Odesa: ODABA, 2018, – pp. 39–43.
15. SolidWorks. Komp'juternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike / Aljamovskij A. A., Sobachkin A. A., Odincov E. V., Haritonovich A. I., Ponomarev N. B. – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 800 p.
16. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Denisova A.C. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2016. – 470 p.

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Денисова Алла Євсївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsivna) – 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.

Лужанська Ганна Вікторівна (Лужанская Анна Викторовна, Luzhanska Ganna Viktorivna) – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, м. Одеса, Україна;

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3784-5926>;

e-mail: luzhanska@opu.ua

Іванова Лідія Володимирівна (Іванова Лідія Владимировна, Ivanova Lidiia Volodymyrivna) – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, м. Одеса, Україна;

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0752-6983>;

e-mail: lvivanova@opu.ua

Жайворон Оксана Сергїївна (Жайворон Оксана Сергеевна, Zhaivoron Oksana Sergiivna) – аспірант, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, м. Одеса, Україна;

ORCID ID 0000-0001-6750-2388;

email: jaivoron.oksana@gmail.com

Бодіул Олена Станіславівна (Бодіул Елена Станиславовна, Bodiul Olena Stanislavivna) – кандидат технічних наук, Одеської національної академії харчових технологій, старший викладач кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки, м.Одеса, Україна;

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-9925-434x>;

e-mail: bodyulolena@ukr.net

G. V. LISACHUK, M. V. VED, R. V. KRYVOBOK, A. V. ZAKHAROV, V. V. VOLOSHCHUK, M. S. MAISTAT

DEVELOPMENT TECHNOLOGY OF ELECTRICAL CONDUCTANCE CERAMICS

The article considers the influence of the technological parameters of the composite ceramics production on the specific volume resistivity of the composition and, consequently, on the protective properties against the effects of electromagnetic radiation. The technological parameters included the preparation method, the averaging time of the raw materials, both the pressing and second calcination pressure. Based on the complex of studies carried out, the following technological parameters of production were established: duration of grinding – 60 minutes; the moisture content of the press powder is 6.2%; pressing pressure – 25 MPa; first calcination temperature – 1060 °C; temperature of the second calcination – 1060 °C. The developed technology can be applied at enterprises that produce ceramic tiles according to high-speed calcination. The resulting material can protect biological and technical objects from the action of electromagnetic radiation. Further research at selecting a glaze coating for the developed ceramics is aimed.

Keywords: electrical conductance ceramics, composite ceramics, technological parameters, duration of grinding, moisture content of the press powder, pressing pressure, calcination temperature, volume resistivity, flexural strength, water absorption.

Г. В. ЛИСАЧУК, М. В. ВЕДЬ, Р. В. КРИВОБОК, А. В. ЗАХАРОВ, В. В. ВОЛОЩУК, М. С. МАЙСТАТ

ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ КЕРАМІКИ

У статті розглянуто вплив зміни технологічних параметрів виробництва композиційної кераміки на питомий об'ємний опір композиції а також на захисні властивості від впливу електромагнітного випромінювання. До технологічних параметрів було віднесено спосіб приготування, час усереднення сировинних матеріалів, тиск пресування і другого випалу. На підставі проведеного комплексу досліджень встановлено наступні технологічні параметри виробництва: тривалість помелу – 60 хв.; вологість прес-порошку – 6,2%; тиск пресування – 25 МПа; температура першого випалу – 1060 °C; температура другого випалу – 1060 °C. Розроблена технологія може бути використана на підприємствах, які випускають керамічну плитку зі швидкісним режимом випалу. Отриманий матеріал може бути використано для захисту біологічних і технічних об'єктів від дії електромагнітного випромінювання. Подальші дослідження спрямовані на підбір глазурованого покриття для розробленої кераміки.

Ключові слова: електропровідна кераміка, композитна кераміка, технологічні параметри, тривалість помелу, вологість прес-порошку, тиск пресування, температура випалу, об'ємна стійкість, міцність на згин, водопоглинання.

Г. В. ЛИСАЧУК, М. В. ВЕДЬ, Р. В. КРИВОБОК, А. В. ЗАХАРОВ, В. В. ВОЛОЩУК, Н. С. МАЙСТАТ

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ

В статье рассмотрено влияние изменения технологических параметров производства композиционной керамики на удельное объемное сопротивление композиции и, следовательно, на защитные свойства от воздействия электромагнитного излучения. К технологическим параметрам было отнесено способ приготовления, время усреднения сырьевых материалов, давление прессования и второго обжига. На основании проведенного комплекса исследований установлено следующие технологические параметры производства: длительность помола – 60 мин.; влажность пресс порошка – 6,2 %; давление прессования – 25 МПа; температура первого обжига – 1060 °C; температура второго обжига – 1060 °C. Разработанная технология может быть использована на предприятиях, которые выпускающих керамическую плитку по скоростному режиму обжига. Полученный материал может быть использован для защиты биологических и технических объектов от действия электромагнитного излучения. Дальнейшие исследования направлены на подбор глазурного покрытия для разработанной керамики.

Ключевые слова: электропроводящая керамика, композиционная керамика, технологические параметры, продолжительность помола, температура обжига, объемная устойчивость, прочность на изгиб, водопоглощение.

Introduction.

Human life takes place in conditions of increased concentration of electromagnetic radiation (EMR) of industrial, medical, research equipment, television and radio stations, satellite and cellular communications, and many others. EMR can cause certain functional disturbances in the human body – in some cases irreversible: increased fatigue, central nervous system disorder, clouding of the lens of the eye, etc. In addition, these emissions have an adverse effect on the technical condition of electronic systems, up to and including their disabling. Therefore, the development of materials that

effectively protect biological and technical objects from the EMR effect is an urgent problem.

One of the directions of creating materials that protect against the EMR is the introduction of electrical conductance additives into the dielectric matrix. It was preliminarily established [1] that silicon carbide should be used as an electrical conductance additive, and a ceramic mass for the production of facing tiles should be used as a dielectric matrix.

© Lisachuk G.V., Ved M.V., Krivobok R.V., Zakharov A.V., Voloshchuk V.V., Maistat M.S., 2020

It is known that radio-absorbing materials (RAM) are structural dielectrics that effectively absorb the electromagnetic energy of radio waves [2, 3].

According to the classification, radio-absorbing materials can be magnetic and non-magnetic. In turn, non-magnetic radio-absorbing materials are subdivided into gradient, interference and combined [4].

The general statement of the problem and its connection with important scientific or practical tasks.

It is known that the volume resistivity of electrical conductance ceramics obtained by the composite method depends mainly on the type of electrical conductance additive (conductor, semiconductor). An important role in the regulation of conductivity is played by the nature of the distribution of the additive in the volume of the dielectric matrix (uniformity, optimal grain size, the presence of contacts between electrical conductance particles).

The distribution of the electrical conductance additive in volume is primarily influenced by the technological parameters of production: the preparation method, the time of raw materials averaging, the pressing pressure, the temperature and duration of the first and second calcination. By changing the technological parameters of the composite ceramics production, it is possible to influence the volume resistivity of the

composition and, consequently, the protective properties against the effect of EMR [5–7].

Therefore, the task was set to study the influence of technological parameters of production: preparation method, averaging time of raw materials, pressing and second calcination pressure on the following properties of electrical conductance ceramics: volume resistivity – $\lg \rho_v$, flexural strength – σ_{fl} and water absorption – W .

Experimental part.

The process of grinding the components of the dielectric matrix and the electrical conductance filler is one of the most critical stages in the technology of electrical conductance ceramics, since the conductivity and physical and mechanical properties of the composition depend on the homogeneity of the mixture [6–8]. The authors found that the duration of grinding the raw components significantly affects the volume resistivity of the composition. The influence of grinding duration in the range of 20 – 70 min on the volume resistivity and physical and mechanical properties of composite ceramics was investigated.

The technological scheme (Fig. 1) for the preparation of samples provides wet joint grinding as the optimal method for homogenizing the initial components. Then the slip is dehydrated to obtain a press powder, semi-dry pressing, drying and calcination.

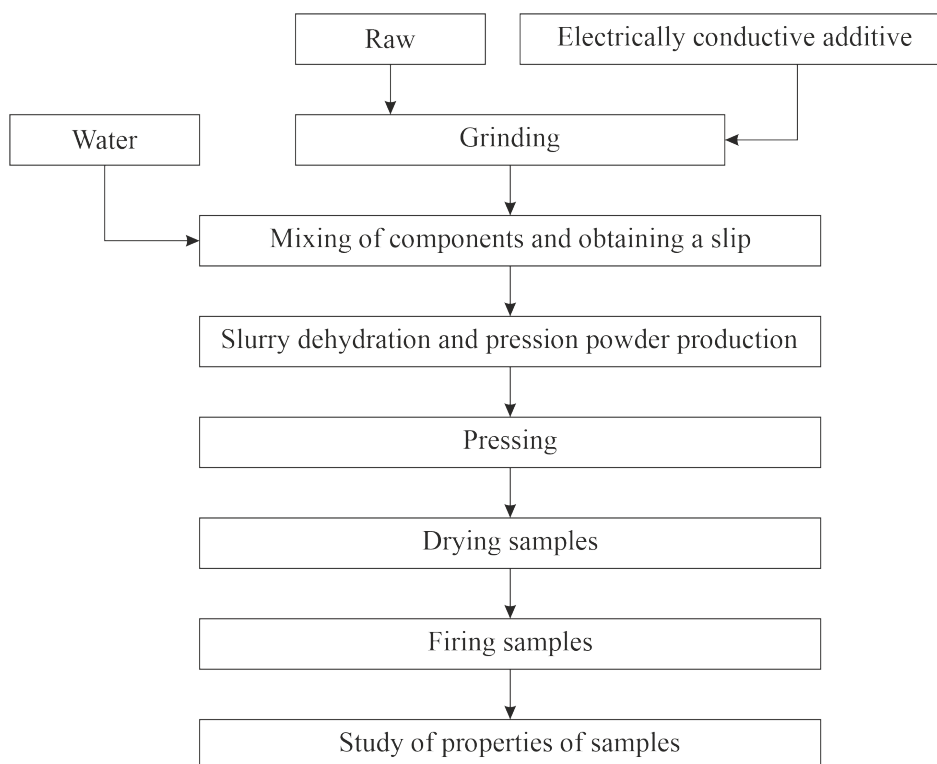


Fig. 1 Sample preparation scheme using slip method

A preliminary developed composition of electrical conductance ceramics [9], in which silicon carbide acted as an electrical conductance filler, was used in the study.

The technological parameters of the preparation of the samples under study were:

- grinding of the raw components – from 20 to 70 minutes with a step of 10 minutes;
- the moisture content in the press powder – 6.2%, the calcination temperature – 1060 °C;
- the calcination duration – 30 minutes.

Fig. 2 shows a graphic interpretation the results of the study of the grinding time effect.

As one can see from Fig. 2 the most optimal grinding time, from the point of view of obtaining the minimum value of specific volume resistivity, water absorption and maximum value of flexural strength, is 60 minutes.

As follows from the literature data [6], the moment of the highest homogeneity of the mixture coincides with the moment of volume resistivity growth, i.e. with an inflection in the dependence of volume resistivity on the duration of grinding.

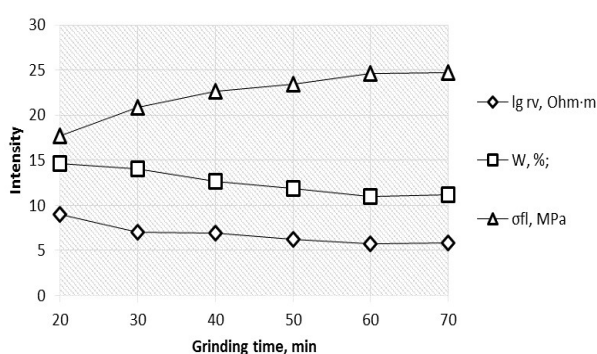


Fig. 2. A graphical interpretation the results of the study of the grinding time effect.

An increase in the duration of grinding over 60 min has practically no effect on the properties under study. Therefore, 60 minutes was chosen as the optimal grinding time. It can be stated that the values of other investigated properties such as water absorption and flexural strength are within the permissible limits of GOST 6141-91. The decrease in the volume resistivity and water absorption and the increase in the flexural strength with an increase in the grinding duration are explained by a more uniform distribution of silicon carbide over the volume of the ceramic mass.

In particular, during minimum grinding time, silicon carbide particles form small conglomerates of uneven grain size, and with a maximum grinding time, silicon carbide particles form a contact structure, due to which there is a decrease in the volume resistivity and improvement of physical and mechanical properties.

The pressing pressure, as well as the mass concentration of silicon carbide, determines the volume resistivity and the physic-mechanical characteristics of the compositions [6, 7, 10]. The pressing process of electrical conductance ceramic composite materials is one of the most important technological stages. Currently, tiles for interior wall cladding are made in a semi-dry way from press powder with a moisture content of 6 – 8 % at a specific pressure of 10 – 20 MPa.

The study of the pressing pressure influence on the volume resistivity, water absorption and flexural strength was carried out in the range of 5 – 35 MPa.

The preparation of the samples was carried out according to the scheme given above, the calcination temperature of the samples under study was 1060 °C, and the duration was 30 minutes.

The dependence of the volume resistivity and physical and mechanical properties of composite ceramics on the pressing pressure is shown in Fig. 3.

It is known [6, 10] that during dynamic or static pressing of electrical conductance mixtures, particles of dispersed electrical conductance filler (in our case, silicon carbide) approach each other. This improves the contacting conditions and reduces the transition resistance between them, which explains the decrease in the volume resistivity of the studied ceramics with increasing pressing pressure.

This makes it possible to obtain a composition with a minimum content of an electrical conductance additive characterized by a stable electrical conductivity with.

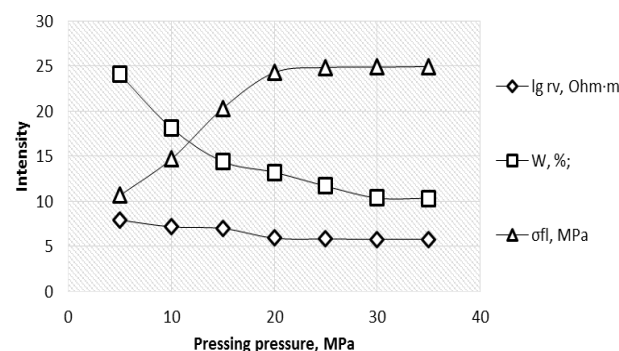


Fig. 3. Dependence of volume resistivity, water absorption and flexural strength of composite ceramics on pressing pressure

As one can see from Fig. 3, with an increase in the pressing pressure, there is a decrease both in the volume resistivity and in water absorption with a simultaneous increase in the flexural strength of the composition. A decrease in the volume resistivity is due to a decrease in the contact resistance between the particles of the electrical conductance additive as well as an increase in the contact area of the silicon carbide particles.

At pressing pressure above 25 MPa, the change in volume resistivity, flexural strength and water absorption of the composition occurs insignificantly, therefore, the pressing pressure equal to 25 MPa should be considered optimal.

Ceramic tiles for interior wall cladding are produced using the double-calcination technology. It is known [11–14] that silicon carbide, when exposed to high temperatures, undergoes oxidation producing quartz, as a result an increase in the volume resistivity of the composition occurs, and, therefore, the protective properties decreasing.

Therefore, further studies were carried out, revealing the effect of the second calcination on the volume resistivity and physical and mechanical properties of composite ceramics.

For the study, samples were taken after the first calcination, and the second calcination was carried out according to the speed mode at a temperature of 1060 °C during 30 minutes.

The properties of the specimens after the first and second calcination are shown in Table 1.

Table 1 – Properties of specimens after the first and second calcination

	Volume resistivity, Ohm·m		Water absorption, %	Flexural strength, MPa
	ρ_v	$\lg \rho_v$		
First	$5.77 \cdot 10^5$	5.76	11	25
Second	$8.84 \cdot 10^5$	5.95		

Table 2 – Technological parameters for the production of electrically conductive ceramics

Parameter	Value
Method of preparation	Slip
Mixing duration, min	60
Press powder moisture, %	6,2
Pressing pressure, MPa	25
First calcination temperature, °C	1060
Second calcination temperature, °C	
First calcination time, min	30
Second calcination time, min	

Based on the complex studies carried out, the technological parameters of the electrical conductance ceramics production were established, the values of which are given in Table 2.

Conclusions and perspectives of future investigations in this direction

Human life takes place in conditions of high concentration of electromagnetic radiation and can cause certain functional disorders in the human body. Therefore, the development of materials that effectively protect biological and technical objects from the effects of electromagnetic radiation is an urgent task.

The technological parameters of the electrical conductance ceramics production were established: duration of grinding – 60 min; moisture content of the press powder – 6.2 %; pressing pressure – 25 MPa; temperature of the first calcination – 1060 °C; temperature of the second calcination – 1060 °C.

The developed technology can be used at enterprises producing ceramic tiles according to the high-speed calcination mode. Such ceramics can be used to protect biological and technical objects from the action of electromagnetic radiation.

Further research is aimed at selecting a glaze coating for the developed ceramics.

Список літератури

- Лисачук Г.В., Кривобок Р.В., Лисачук Л.Н., Щукина Л.П., Федоренко Е.Ю., Емаева О.А. Влияние магнитных и немагнитных добавок на свойства облицовочной керамики // Вісник НТУ «ХП». – Х.: 2005. – № 51. – С. 168–173.
- Lisachuk G., Krivobok R., Zakharov A., Prospects for creations of radio-absorbing ceramic materials, Conference for young scientist in ceramics SM–2013, 2013, 64–65.
- Lisachuk G.V., Krivobok R.V., Pltak Ya.M., Perspektivi stvorenniya radiopoglinayuchih materialiv v Ukraini Conference Informatssyns tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya, 2013, Ch. II, 257.
- Lisachuk G., Krivobok R., Zakharov A., Optimization of the compositions area of radiotransparent ceramic in the SrO-Al₂O₃-SiO₂ system Przegląd Elektrotechniczny, 93 (2017), nr 3, 79–82.
- Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения. – М.: Наука, 1982. – 165 с.
- Автономов И.В., Горелов В.П., Пугачев Г.А. Шлакощелочной резистивный материал. – Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1989. – 110 с.
- Горелов В.П., Пугачев Г.А. Резистивные композиционные материалы и мощные резисторы на их основе. – Новосибирск: Наука, 1987. – 216 с.
- Тимохова М.И. Прессуемость керамических пресс-порошков в зависимости от способа их приготовления // Стекло и керамика. 2004. – №4. – С. 18–20.
- Патент 18322 Україна, МПК С 04 В 33/00. Напівпровідна керамічна маса: Г.В. Лисачук, Р.В. Кривобок, Ю.Д. Трусова, Л.О. Белостоцька, Л.В. Павлова, Л.П. Щукіна; НТУ «ХП». – № 200603365; Заявл. 28.03.06; Опубл. 15.11.06, Бюл. № 11. 4 с.
- Андреева Н.А., Орданьян С.С. Роль дисперсности компонентов и давления прессования при реализации свойств электротехнического фарфора // Огнеупоры и техническая керамика. 2003. – №6. – С. 17–21.
- Гнесин Г.Г. Карбидокремниевые материалы. – М.: Металлургия, 1977. – 216 с.
- Карбид кремния / С.А. Добролеж, С.М. Зубкова, В.А. Кравец и др. – К.: Гос-ное из-во техн. лит-ры УССР, 1963. – 316 с.
- Францевич И.Н. Карбид кремния. – К.: Наукова думка, 1966. – 360 с.
- Конструкционные карбидокремниевые материалы / В.В. Карлин, Г.С. Олейник, В.И. Островерхов; Под ред. А.П. Гаршина. – Л.: Машиностр., 1975. – 152 с.

References (transliterated)

- Lisachuk G.V., Krivobok R.V., Lisachuk L.N., Shukina L.P., Fedorenko E.Ju., Emaeva O.A. Vliyanie magnitnyh i nemagnitnyh dobavok na svojstva oblicovочноj keramiki // Visnik NTU «KhPI». – Kh., 2005. – № 51, – pp. 168–173.
- Lisachuk G., Krivobok R., Zakharov A., Prospects for creations of radio-absorbing ceramic materials, Conference for young scientist in ceramics SM–2013, 2013, 64–65.

3. Lisachuk G.V., Krivobok R.V., Pliak Ya.M., Perspektivi stvorenniya radiopoglinayuchih materialiv v Ukraini Conference Informatssyns tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya, 2013, Ch. II, 257.
4. Lisachuk G., Krivobok R., Zakharov A., Optimization of the compositions area of radiotransparent ceramic in the SrO-Al₂O₃-SiO₂ system Przegląd Elektrotechniczny, 93 (2017). – Bjul. 3, pp. 79–82.
5. Kovneristyj Ju.K., Lazareva I.Ju., Ravaev A.A. Materialy, pogloshhajushhie SVCh-izluchenija. – M.: Nauka, 1982. – 165 p.
6. Avtonomov I.V., Gorelov V.P., Pugachev G.A. Shlakoshhelochnoj rezistivnyj material. – Novosibirsk: Ins. teplofiziki, 1989. 110 p.
7. Gorelov V.P., Pugachev G.A. Rezistivnye kompozicionnye materialy i moshhnye rezistory na ih osnove. – Novosibirsk: Nauka, 1987. – 216 p.
8. Timohova M.I. Pressuemost' keramicheskikh press-poroshkov v zavisimosti ot sposoba ih prigotovlenija // Steklo i keramika. 2004. – Bjul. 4, – pp. 18–20.
9. Patent 18322 Ukraina, MPK S 04 V 33/00. Napivprovidna keramichna masa: G.V. Lisachuk, R.V. Krivobok, Ju.D. Trusova, L.O. Belostoc'ka, L.V. Pavlova, L.P. Shhukina; NTU «KhPI». № 200603365; Zajavl. 28.03.06; Opubl. 15.11.06, Bjul. № 11. – 4 p.
10. Andreeva N.A., Ordan'jan S.S. Rol' dispersnosti komponentov i davlenija pressovanija pri realizacii svojstv jelektrotehnicheskogo farfora // Ogneupory i tehničeskaja keramika. 2003. – Bjul. 6, – pp. 17–21.
11. Gnesin G.G. Karbidokremnievyje materialy. – M.: Metallurgija, 1977. – 216 p.
12. Karbid kremnija / S.A. Dobrolezh, S.M. Zubkova, V.A. Kravec i dr. – K.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo tehničeskoy literatury USSR, 1963. – 316 p.
13. Francevich I.N. Karbid kremnija. K.: Naukova dumka, 1966. – 360p.
14. Konstrukcionnye karbidokremnievyje materialy / V.V. Karlin, G.S. Olejnik, V.I. Ostroverhov; Pod red. A.P. Garshina. – L.: Mashinost., 1975. – 152 p.

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лисачук Георгій Вікторович (Лисачук Георгий Викторович, Lisachuk George Viktorovych) – професор кафедри Технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7157-9115>

e-mail: lisachuk@kpi.kharkov.ua

Ведь Марина Віталіївна (Ведь Марина Витальевна, Ved Maryna Vitaliivna) – професор кафедри кафедри загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5719-6284>

e-mail: vmv@kpi.kharkov.ua

Кривобок Руслан Вікторович (Кривобок Руслан Викторович, Kryvobok Ruslan Viktorovych) – старший науковий співробітник Науково-дослідної частини, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2334-4434>

e-mail: krivobok491@gmail.com

Захаров Артем Вячеславович (Захаров Артем Вячеславович, Zakharov Artem Viacheslavovych) – старший науковий співробітник Науково-дослідної частини, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0120-8263>

e-mail: zakharovartem106@gmail.com

Волощук Валентина Василівна (Волощук Валентина Васильевна, Voloshchuk Valentyna Vasyliivna) – аспірант кафедри Технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2120-3088>

e-mail: valenty93vol@gmail.com

Майсат Микита Сергійович (Майсат Никита Сергеевич, Maistat Mykyta Serhiiovych) – аспірант кафедри Технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1875-3946>

e-mail: aichemict777@gmail.com

*Л. М. СОЛОДОВНИКОВА, В. О. ТАРАСОВ, В. М. ЗУБЕР, Ю. М. СОРОКА, Н. Д. СІЗОВА***МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ І ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ РАДОНЕБЕЗПЕКИ СХОВИЩ РАВ**

В роботі розглянуто методичні аспекти оцінки і зниження рівня радонебезпеки сховищ радіоактивних відходів (РАВ) закритого та відкритого типів. Запропоновано алгоритм оцінки рівня радонебезпеки сховищ РАВ, який, окрім безпосередньо вимірювань і оцінки радонебезпеки, включає етап калібрування приладів з використанням еталонних джерел радону-222 і розробку протирадонових засобів для сховищ РАВ. На прикладі дослідження радонебезпеки закритого сховища твердих РАВ Харківського ДМСК УкрДО «Радон» і II секції відкритого Сухачівське хвостосховища колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» показано застосування алгоритму оцінки рівня радонебезпеки сховищ. Визначена об'ємна активність радону-222 для закритого сховища РАВ і густина потоку радону для відкритого сховища РАВ. Запропоновано ефективні протирадонові заходи для досліджених сховищ РАВ.

Ключові слова: радонебезпека, еталонне джерело радону-222, об'ємна активність радону-222, густина потоку радону-222, сховища РАВ.

*L. M. SOLODOVNIKOVA, V. A. TARASOV, V. M. ZUBER, Yu. N. SOROKA, N. D. SIZOVA***METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSMENT AND REDUCTION RADON DANGER STORAGE RADIOACTIVE WASTE**

The paper proposes methodological support for determining the level of radon hazard of radioactive waste repositories of closed and open types, which consists of an algorithm for estimating the level of radon hazard of repositories. The algorithm includes: determination of the type of storage (closed or open), analysis of the composition of radioactive waste for the content of uranium-238 and radium-226, selection of radon-222 flux density measurement parameters in open and volume activity of radon in closed radioactive waste storage, calibration of radon-222 measuring instruments with the help of a standard radon-222 sources, determination of the level of radon hazard of storages, which was investigated. The use of the proposed algorithm for radon hazard assessment of closed and open storage facilities contributes to the development of effective anti-radon measures for the storage facilities under study.

Key words: radon hazard, standard radon-222 sources, radon-222 volumetric activity, radon flux density-222, tailing dump of radioactive waste.

*Л. Н. СОЛОДОВНИКОВА, В. А. ТАРАСОВ, В. М. ЗУБЕР, Ю. Н. СОРОКА, Н. Д. СИЗОВА***МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ И СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РАДОНЕБЕЗОПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

В работе рассмотрены методические аспекты оценки и снижения уровня радон безопасности хранилищ радиоактивных отходов (РАО) закрытого и открытого типов. Предложен алгоритм оценки уровня радон безопасности хранилищ РАО, который, кроме непосредственно измерений и оценки радон безопасности, включая этап калибровки приборов с использованием эталонных источников радона-222 и разработку противорадоновых средств для хранилищ РАО. На примере исследования радон безопасности закрытого хранилища твердых РАО Харьковского ГМСК УкрГО «Радон» и II секции открытого Сухачевского хвостохранилища бывшего ПО «Приднепровский химический завод» показано применение алгоритма оценки уровня радон безопасности хранилищ. Определена объемная активность радона-222 для закрытого хранилища РАО и плотность потока радона для открытого хранилища РАО. Предложены эффективные противорадоновые меры для исследованных хранилищ РАО.

Ключевые слова: радон безопасность, эталонный источник радона-222, объемная активность радона-222, плотность потока радона-222, хранилища РАО.

Вступ. Значна частина території України розташована на кристалічному щиті з великим вмістом U-238 та Th-232. Це є причиною інтенсивних еманцій радіоактивних газів Rn-222 та Rn-220. Найбільший внесок в формування індивідуальної ефективної еквівалентної дози опромінення населення від земних джерел радіації вносить Rn-222 разом зі своїми дочірніми продуктами розпаду (близько 74%) [1]. Наявність в Україні урановидобувної і переробної промисловості, робота АЕС, використання радіоактивних ізотопів в наукових та медичних центрах, сільському господарстві, а також накопичення продуктів цих видів діяльності у сховищах РАВ, підвищують

ризики опромінення людей. РАВ розміщуються в зоні відчуження Чорнобильської АЕС, в Державних спеціалізованих комбінатах УкрДО «Радон» та на відкритій місцевості урановидобувних підприємств. Вони мають відпрацьовані джерела U-238 та Ra-226, які виділяють в атмосферне повітря радіоактивний газ Rn-222. Розташування відкритих сховищ РАВ поблизу населених пунктів може підвищувати дозове навантаження на населення. В закритих сховищах РАВ додаткове дозове навантаження від Rn-222 поширюється на виробничий персонал [2].

© Солодовнікова Л.М., Тарасов В.О., Зубер В.М., Сорока Ю.М., Сізова Н.Д., 2020

Для достовірної оцінки радонебезпеки в обох випадках необхідна певна послідовність дій.

Показником радонебезпеки є об'ємна активність радону у повітрі. Цей показник безпосередньо вказує на ступень небезпеки потрапляння радону до організму і його внутрішнього опромінення. Коректні оцінки об'ємної активності радону у повітрі можливі в першу чергу у закритих приміщеннях. На відкритому повітрі такі оцінки значно ускладнені і часто неможливі через дію різних метеорологічних факторів, навіть при використанні математичних моделей, які прогнозують зміни об'ємної активності радону при варіації факторів. Однак у цьому випадку також можлива кількісна оцінка радонебезпеки різних ділянок території шляхом визначення густини потоку радону-222 з поверхні цих ділянок.

В цілому підходи для визначення рівня радонебезпеки сховищ РАВ закритого та відкритого типів характеризуються певною спільністю, але вони відрізняються на деяких етапах проведення досліджень. Можна скласти наступну послідовність етапів дослідження радонебезпеки сховищ РАВ закритого і відкритого типу [3]:

- аналіз інформації відносно типу сховища РАВ (закрите або відкрите), складу РАВ і можливості вмісту урану-238 та радію-226;
- вибір засобів та методики вимірювання радону-222 залежно від типу сховища РАВ;
- калібрування засобів вимірювання радону-222 за допомогою еталонного джерела;
- безпосереднє вимірювання об'ємної активності радону в повітрі закритих сховищ або густини потоку радону з поверхні відкритих сховищ РАВ;
- визначення рівня радонебезпеки дослідженого сховища РАВ.

Наведений алгоритм визначення радонебезпеки сховищ РАВ природно доповнюється етапом розробки протирадонових засобів, які повинні зменшити негативний вплив радону.

В даній статті на прикладі досліджень сховищ РАВ двох типів (відкритого і закритого) показані спільності і відмінності підходів для оцінки і зниження радонебезпеки цих об'єктів. Нижче наведено результати досліджень на кожному етапі вказаного алгоритму.

Характеристика об'єктів дослідження

В роботі досліджувалося закрите сховище твердих РАВ Харківського ДМСК Українського державного об'єднання (УкрДО «Радон»). УкрДО «Радон» виконує роботи зі збирання, транспортування, переробки та захоронення РАВ в межах України. В сховищі твердих РАВ Харківського ДМСК УкрДО «Радон» накопичено близько 5000 м³ РАВ, які в своєму складі містять відпрацьовані джерела U-238 та Ra-226, в тому числі

низько та середньоактивні РАВ об'ємом 1608,1 м³ в підземних секціях сховища [4]

Дослідження рівня радонебезпеки в цьому сховищі стало необхідним у зв'язку з постійною його експлуатацією. Радон-222 при проведенні робіт у підземних секціях сховища твердих РАВ створює небезпеку для виробничого персоналу сховища.

В роботі також досліджувалася II секція відкритого Сухачівське хвостосховища колишнього ВО «Підніпровський хімічний завод». Це одне з сховищ заводу, розташованого біля м. Кам'янське (м. Дніпродзержинськ). За час роботи заводу з 1949 по 1991 рік утворилися відкриті сховища РАВ: «Західне», «Центральний Яр», «Південно-східне», «Дніпровське», «Сухачівське»: I - секція, II - секція, «База С», «Лантанова фракція», «Доменна піч №6» [3]. В них РАВ накопичувалися після видобутку і переробки уранової руди у вигляді відвалів супутніх і збалансованих руд, а також технологічних пульп у хвостосховищах.

В II секції Сухачівського хвостосховища за період її експлуатації накопичилося приблизно 19 млн. тон РАВ, які в своєму складі містять U-238 та Ra-226. За попередніми оцінками річне надходження радону-222 в приземний шар атмосфери з II секції Сухачівського хвостосховища складає $2,16 \cdot 10^6$ Бк/м³.

Визначення рівня радонебезпеки II секції хвостосховища «Сухачівське» пов'язано з реконструкцією і перепрофілюванням для подальшого використання вільного обсягу чаші [5]. Необхідність зниження рівня радонебезпеки хвостосховищ РАВ з переробки уранових руд базується на рекомендаційних звітах [6, 7] та на використанні нормативних документів [8, 9].

Ця інформація щодо сховищ отримана в результаті першого етапу досліджень згідно наведеного вище алгоритму визначення радонебезпеки сховищ РАВ.

Засоби вимірювань радону

У даній роботі радонебезпека досліджуваних об'єктів оцінювалася за значеннями об'ємної активності радону в повітрі сховища закритого типу і по густині потоку радону з поверхні хвостосховища відкритого типу.

Для сховищ закритого типу можливі прямі вимірювання об'ємної активності радону-222 з допомогою радонетрів. Кількість радону в приземному шарі атмосфери відкритого хвостосховища визначається за значенням густини потоку радону-222 з його поверхні, яке вимірюється радіометрами.

Вимірювання об'ємної активності радону-222 в сховищі твердих РАВ Харківського ДМСК Укр ДО «Радон» і густини потоку радону з поверхні II секції Сухачівського хвостосховища колишнього ВО «Підніпровський хімічний завод» проводились за допомогою камери, яка накопичує радон-222 та

радонометру Alpha GUARD PQ 2000 і радіометром РГА-09, в якому діапазон виміру еквівалентної об'ємної активності радону-222 може складати від 50 до $1 \cdot 10^4$ Бк/м³.

Еталонне джерело радону і калібрування засобів вимірювання

Важливим етапом виконання цього алгоритму є калібрування засобів вимірювання Rn-222, що забезпечує надійність результатів вимірювань. Реалізація цього етапу стала можливою завдяки створенню еталонного джерела радону-222 [10].

При створенні еталонного джерела радону-222 було проведено аналіз існуючих джерел радону-222, що входять до складу національних еталонів США, Англії, Німеччини та інших країн світу. Існуючі еталонні джерела виготовлені з розчинів солей радію, порошку радію, евтектичних сумішей солей-носіїв радію. Недоліки цих джерел такі: висока вартість, складність в експлуатації, радіоекологічна небезпечність. Тому, вимогами до створюваного еталонного джерела радону-222 стали: екологічна безпечність, економічність і доступність матеріалу, що генерує радон-222, ефективність технічного застосування та простота в експлуатації.

Так, в якості матеріалу, що генерує радон-222 було використано стандартні зразки малоактивної уранової руди, яка видобувається в Україні. В процесі створення еталонного джерела були проведені дослідження стандартних зразків уранової руди на вміст ^{238}U та ^{226}Ra . Для створення еталонного

джерела було обрано стандартний зразок уранової руди УР-768С, тому що він мав найбільш оптимальну кількість ^{238}U та ^{226}Ra для відтворення еталонним джерелом необхідної активності радону.

При створенні еталонного джерела було досліджено питому еманацию E стандартного зразка УР-768С відносно радону-222, яка визначалася на альфа-, бета-спектрометричній системі «Quantulus 1220» в процесі встановлення радіоактивної рівноваги між Ra-226 та Rn-222. Рівновага між Ra-226 та Rn-222 настає на 30 добу і рівноважне значення питомої еманации E становить $5,56 \pm 0,057$ Бк/г (рис. 1). Визначення питомої еманации E є необхідним для розрахунку маси стандартного зразка УР-768С, яка потрібна для виготовлення еталонного джерела.

Підтримка оптимального температурного режиму еманування є необхідною умовою для відтворення еталонним джерелом стабільного значення активності радону-222. Для цього методом R- функцій були проведені теоретичні дослідження розподілу температур у стандартному зразку УР-768С під час нагрівання в різних капсулах: з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, титану ВТ-4, ВТ-6 та вольфраму. Найбільш рівномірний нагрів стандартного зразка спостерігався в капсулі, виготовленої з нержавіючої сталі марки 12Х18Н10Т (рис. 2). Її було обрано для підтримки оптимального температурного режиму еманування радону-222 в еталонному джерелі.

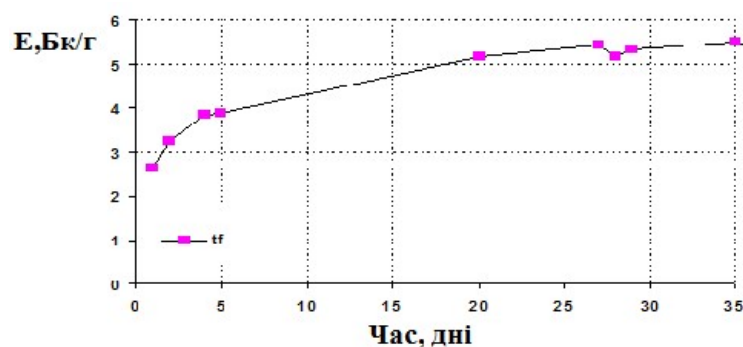


Рис. 1 – Залежність питомої активності E стандартного зразка УР-768С відносно радону-222 від часу

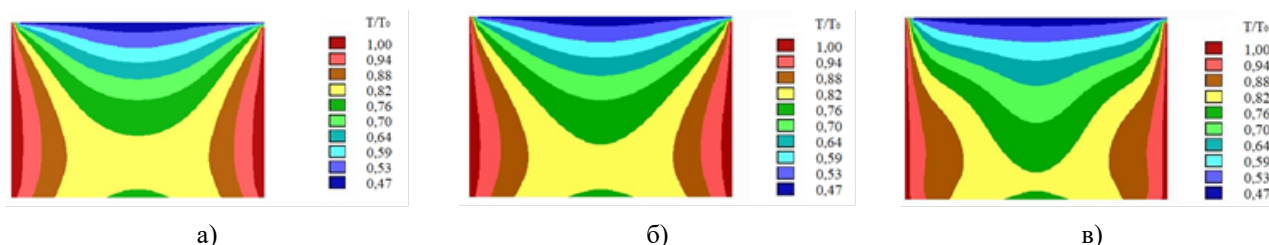


Рис. 2 – Лінії рівня температурного поля для матеріалів стінки капсули з нержавіючої сталі (а), титану (б) і вольфраму (в).

Було створено три еталонних джерела радону-222, активності яких становлять:

$$A_1 = 9,59 \times 10^3 \text{ Бк},$$

$$A_2 = 9,56 \times 10^3 \text{ Бк},$$

$$A_3 = 9,48 \times 10^3 \text{ Бк відповідно.}$$

Еталонні джерела радону-222 за спеціальною програмою і методикою атестації, що задовольняє вимоги ГОСТу 16327-88 і ДСТУ 3215-95, були

досліджені на герметичність та відповідність вимогам радіаційного захисту. Були підтверджені: екологічна безпека, економічна вигідність і простоту в експлуатації створеного еталонного джерела радону-222 на базі стандартного зразка уранової руди УР-768С.

Еталонні джерела увійшли до складу Державного первинного еталона об'ємної активності

радону-222 (ДЕТУ 12-01-11), який відтворює, зберігає і передає одиницю об'ємної активності радону-222 в діапазоні від 30 до $3 \cdot 10^4$ Бк/м³ [10].

Схема калібрування засобів вимірювання радону-222 за допомогою еталонних джерел, які використовуються при дослідженні рівнів радонебезпеки в сховищах РАВ закритого та відкритого типів, показана на рис. 3.

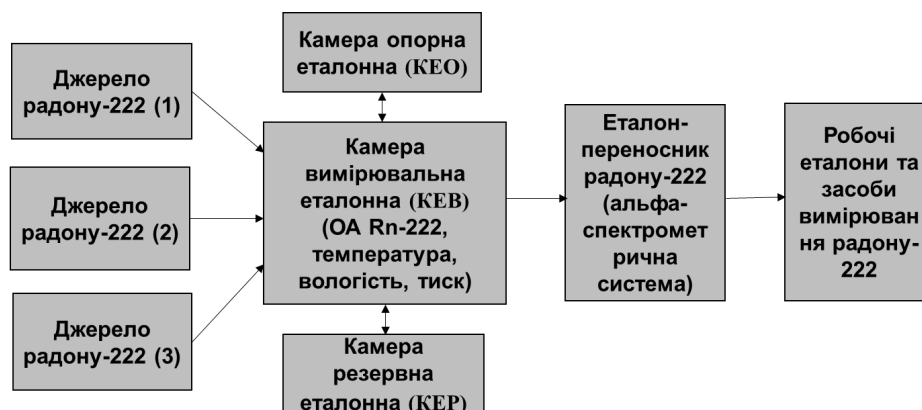


Рис. 3 – Схема калібрування засобів вимірювання радону-222 за допомогою еталонних джерел.

За цією схемою були відкалібровані засоби вимірювання радону для визначення рівня радонебезпеки сховищ РАВ закритого та відкритого типів.

Вимірювання радону і оцінка радонебезпеки в досліджених сховищах РАВ

Експериментальні визначення об'ємної активності радону-222 в повітрі сховища твердих РАВ Харківського спецкомбінату УкрДО «Радон» проводилося при відкритому стані підземних секцій.

Заміри радону-222 здійснювалися радон-монітором Alpha GUARD PQ 2000.

Визначення значень об'ємної активності радону в секції з твердими радіоактивними відходами було виконано на дні чарунки Z глибиною 4,0 м в таких точках: А (0,5; 2,0; -4,0); В (0,5; 6,0; -4,0); С (0,5; 10,0; -4,0); D (2,5; 2,0; -4,0); Е (2,5; 6,0; -4,0); F (2,5; 10,0; -4,0); та на глибині чарунки Z – 2,0 м в таких точках: А' (0,5; 2,0; -2,0); В' (0,5; 6,0; -2,0); С' (0,5; 10,0; -2,0); D' (2,5; 2,0; -2,0); Е' (2,5; 6,0; -2,0); F' (2,5; 10,0; -2,0). Результати досліджень представлені в таблиці 1 [11].

Таблиця 1 – Результати вимірювань об'ємної активності радону-222 в секції сховища ТРВ

Точки вимірювання при z = 2м	Об'ємна активність радону-222 Бк·м ⁻³	Точки вимірювання при z = 4м	Об'ємна активність радону-222 Бк·м ⁻³
А'	1000	А	1250
В'	960	В	1200
С'	1000	С	1250
Д'	993	Д	1243
Е'	955	Е	1200
Ф'	994	Ф	1247

Вихід радону з секції створює підвищений рівень радонебезпеки в повітрі сховища ТРВ Харківського ДМСК.

Визначення показників радонебезпеки відкритого сховища РАВ II секції Сухачівського хвостосховища колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод», а саме, густини потоку радону з поверхні хвостосховища за допомогою радон-монітора AlphaGuard PQ-2000 та і камери, яка накопичує радон з поверхні певного розміру.

Вимірювання еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону в атмосферному

повітрі хвостосховища проводилося та радіометра РГА-09М. Вимірювання ЕРОА радону-222 в атмосферному повітрі санітарно-захисної зони (СЗЗ) II секції Сухачівського хвостосховища проводились радіометром РГА-09М.

Значення ЕРОА радону коливалися в широкому діапазоні під впливом змінних метеорологічних факторів, що не дало можливості оцінити рівень радонебезпеки хвостосховища.

В той же час результати вимірювань густини потоку радону-222 з поверхні ґрунту показали, що в межах СЗЗ хвостосховища (радіус 1 км) є окремі ділянки зі значеннями густини потоку радону-222 від

162±8 до 373±14 мБк/м²·с (табл. 2), що підтверджує хвостосховища [12].
радононебезпеку цих ділянок II секції Сухачівського

Таблиця 2 – Результати вимірювань густини потоку та ЕРОА радону-222 в межах СЗ3 хвостосховища (небезпечні ділянки)

Номер точки вимірювання	Точки вимірювання	ЕРОА радону-222 в повітрі, Бк/м ³	Густина потоку радону-222 з поверхні, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹	Координати точки вимірювання		
				N48 ⁰	E034 ⁰	H, см
3	S47		373±14	25,448	43,057	132
9	S82A	5,23	162±8	25,307	43,171	122
10	S85	4,83	257±9	25,363	43,137	117
11	S99	4,8	181±7	25,433	43,073	128
16	S170	13,28	317±12	25,239	43,338	120

Протирадонові заходи у досліджених сховищах РАВ

Для зменшення рівня радононебезпеки сховища ТРВ Харківського ДМСК і відповідно зниження дозового навантаження на персонал категорії А було розраховано необхідну кратність повітрообміну приміщення будівлі сховища ТРВ, що досягається за допомогою використання примусової системи вентиляції [13].

Кратність повітрообміну в приміщенні сховища n розраховується за формулою:

$$n = \frac{A_0 \cdot v \cdot S - C_b \cdot \lambda \cdot V}{C_b \cdot V} = 0,5 \text{ разів/год,}$$

де C_b – активність радону в приміщенні сховища ТРВ, 250 Бк·м⁻³;

λ – стала розпаду радону (0,00756 1/год);

n – кратність повітрообміну в приміщенні, год⁻¹;

V – внутрішній обсяг досліджуваного приміщення, 718 м³;

v – швидкість перенесення радону з чарунки в приміщення сховища, 3,6 м/год;

S – площа чарунки, 36м²;

A_0 – об'ємна активність радону-222, яка виділяється при висоті чарунки

$h = 0 \text{ м, } 735 \text{ Бк/м}^3$.

Проведені оцінки показують, що для досягнення в приміщенні сховища ТРВ ХДМСК об'ємної активності радону 250 Бк/м³, за швидкості надходження радону-222 в приміщення сховища 3,6 м/год, необхідно за допомогою примусової вентиляції кожні дві години забезпечувати одноразовий обмін повітря.

Таку систему протирадонового захисту можна застосувати і на інших спецкомбінатах об'єднання УкрДО «Радон» [13].

Для II секції Сухачівського хвостосховища були використані критерії оцінки радононебезпеки територій, призначених під забудову. Можливість такого підходу пов'язана з реконструкцією та перефільюванням хвостосховища, що складаються з передбачуваного будівництва промислових споруд, та подальшим раціональним використанням вільного об'єму чаші хвостосховища, що негативно впливає на екологічну безпеку територій, прилеглих до хвостосховища та населення.

Зменшити потік радону-222 з поверхні відходів уранової сировини можна, використовуючи ізоляційні покриття. В роботі була розв'язана задача екранування радононебезпечних ділянок II секції Сухачівського хвостосховища ізоляційними покриттями (протирадоновими покриттями) з щільних глин, мулистих пісків та суглинків.

Товщина захисного шару h_e , що забезпечує повне екранування радону-222 з поверхні хвостосховища, розраховується за формулою:

$$h_e = \ln \left[\frac{q_0}{q} + \sqrt{\left(\frac{q_0}{q} \right)^2 - 1} \right] / \sqrt{\frac{\lambda}{D_e}}$$

Розраховані товщини захисного протирадонового шару для конкретних ізоляційних матеріалів отримані з використанням відповідних коефіцієнтів дифузії D_e радону-222 в матеріалах покриттів. Результати розрахунків мінімальних товщин протирадонових покриттів з щільних глин, мулистих пісків та суглинків для радононебезпечних ділянок II секції Сухачівського хвостосховища наведено в таблиці 3.

Також в роботі розраховано тришарове протирадонове покриття для радононебезпечних ділянок II секції Сухачівського хвостосховища, виконане з щільних глин, мулистих пісків та суглинків, товщиною 0,4м (x_{c1}), 0,4м (x_{c2}), 0,6м (x_{c3}) відповідно (рис. 4).



Рис. 4 Структура тришарового протирадонового покриття радононебезпечних ділянок II секції Сухачівського хвостосховища

Густина потоку радону на поверхні тришарового протирадонового покриття q_{ci} розраховується згідно з формулою [6]:

$$q_{ci} = q_0 \cdot \exp\left(-\sum_{j=1}^{j=i} \sqrt{\lambda / D_{ci}} \cdot x_{ci}\right),$$

де q_0 – густина потоку радону без протирадонового покриття, $0,373 \text{ Бк/м}^2 \cdot \text{с}$;

λ – стала розпаду радону-222, $2,06 \cdot 10^{-6} \text{ 1/с}$;

D_{ci} – сумарний коефіцієнт дифузії радону-222 в тришаровому протирадоновому покритті з щільних глин, мулистих пісків та суглинків (табл. 3);

x_{ci} – сумарна товщина в тришаровому протирадоновому покритті зі щільних глин, мулистих пісків та суглинків, $1,4 \text{ м}$.

Отримане значення густини потоку радону: $q_{ci} = 0,05 \text{ Бк/м}^2 \cdot \text{с}$.

Таблиця 3 – Мінімальні товщини протирадонових покриттів для радонебезпечних ділянок II секції Сухачівського хвостосховища

Матеріал покриття	Коефіцієнт дифузії радону в матеріалі покриття, D , $\text{м}^2/\text{с}$	Розрахована товщина покриття, h_e , м	Густина потоку радону без покриття, q_0 , $\text{Бк/м}^2 \cdot \text{с}$	Густина потоку радону з покриттям, q , $\text{Бк/м}^2 \cdot \text{с}$	Показник зменшення потоку радону, разів
Щільні глини	$2,5 \cdot 10^{-6}$	3,6	0,373	0,028	13,3
Мулисті піски	$4 \cdot 10^{-7}$	1,5	0,373	0,024	15,5
Суглинки	$1,5 \cdot 10^{-6}$	2,7	0,373	0,031	12,0

Таким чином, використовуючи тришарове покриття з щільних глин, мулистих пісків та суглинків для радонебезпечних ділянок II секції Сухачівського хвостосховища, можна також значно знизити значення густини потоку радону-222 з поверхні хвостосховища [13].

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Методичні підходи достовірної оцінки радонебезпеки сховищ РАВ відкритого і закритого типу пов'язані з калібруванням вимірювальних приладів за допомогою еталонного джерела радону-222, створеного на основі стандартного зразка уранової руди УР-768С, яка видобувається в Україні.

Для сховищ закритого типу критерієм радонебезпеки є величина об'ємної активності радону-222 в повітрі сховища РАВ, а для сховищ РАВ відкритого типу об'єктивним критерієм радонебезпеки є величина густини потоку радону з його поверхні.

Аналіз значень об'ємної активності радону-222 в повітрі сховища твердих РАВ Харківського ДМСК показав його радонебезпеку для персоналу. Результати вимірювань густини потоку радону-222 з поверхні території СЗЗ (радіус 1 км) II секції Сухачівського хвостосховища показали значну радонебезпеку його окремих ділянок.

Зниження радонебезпеки закритого сховища РАВ для персоналу досягається за допомогою примусової вентиляції приміщення будівлі сховища з певною кратністю обміну повітря. Таку систему протирадонового захисту можна застосувати і на інших спецкомбінатах об'єднання УкрДО «Радон».

Для зниження радонебезпеки II секції Сухачівського хвостосховища знайдено необхідну товщину варіантів протирадонових захисних покриттів: для тришарового покриття зі щільних глин, мулистих пісків та суглинків і для

одношарових покриттів зі щільних глин або з мулистих пісків, або з суглинків.

Список літератури

1. UNSCEAR 2006 Report: Annex E. Source-to-effects assessment for radon in homes and workplaces / United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York: United Nations, 2009. – 138 p.
2. Molchanov O., Y. Soroka, M. Buzinny Dispersion of Radon in the atmosphere around old Uranium mill tailing. *Radon in environment 2009: book abstr. Intern. conf. (Zakopane, May 10–14, 2009)*. The Henryk Niewodniczanski institute of nuclear physics. 2009. – P. 22.
3. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А., Шабатин В.Н. Снижение радоноопасности хранилищ радиоактивных отходов. Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер. Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, 2018. № 40 (1316). С. 60 – 66
4. Обращение с отработанными источниками ионизирующего излучения в Украине / Кретинин А.А. и др. Киев: Издво «Куприянова», 2006. 320 с.
5. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А. Эколого-химические проблемы и радоноопасность отходов при переработке уранового сырья в Украине. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2/11 (62). 2013. – с. 24–27.
6. Measurement and calculation of radon releases from uranium mill tailings. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1992. No. 333.
7. Measurement and calculation of radon releases from NORM residues. – Vienna: international atomic energy agency, 2013. No. 474.
8. U.S. Nuclear regulatory commission regulatory guide 3.64 (Task WM 503-4) Calculation of radon flux attenuation by earthen uranium mill tailings covers. 1989. – 45 p.
9. Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд (СП ЛКП-91), 1991. – 27 с.
10. Солодовникова Л.М., Тарасов В.О., Сизова Н.Д. Стандартне джерело радіоактивного радону-222 для системи високоточного моніторингу

- радононебезпечних об'єктів в Україні. *Functional Materials*. 2018. Vol. 25. No. 1, с. 193–199.
11. Кравченко Н.И., Солодовникова Л.Н., Шаров В.Е. Високоточный мониторинг радона и его дочерних продуктов распада в ГМСК УкрГО «Радон». Метрологія та вимірювальна техніка: Наук. пр. V міжнар. наук.-техн. конф. (10-12 жовтня 2006р. Харків) Т. 2., Надруковано в ХФ ДП «УкрНДНЦ», Харків, 2006, с. 341–343.
 12. Солодовникова Л.Н., Тарасов В.А. Особенности оценки радоноопасности Сухачёвского хвостохранилища радиоактивных отходов. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Сер. Інноваційні дослідження у науко-вих роботах студентів. 2017. № 41 (1263), с. 81–86.
 13. Солодовникова Л.М. Протирадонні заходи в сховищах РАВ. Проблеми сучасної ядерної енергетики: тези доп. XV міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених та фахівців (Харків, 13–15 лист. 2019 р.). Х.: Фінарт, 2019. С. 53–54.
 5. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A. *Jekologo-himicheskie problemy i radonoopasnost' othodov pri pe-rerabotke uranovogo syr'ja v Ukraine. Vostochno-Evropskij zhurnal передових tehnologij*. 2/11 (62). 2013, – pp.24-27.
 6. Measurement and calculation of radon releases from uranium mill tailings. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1992. No. 333.
 7. Measurement and calculation of radon releases from NORM residues. — Vienna: international atomic energy agency, 2013. No. 474.
 8. U.S. Nuclear regulatory commission regulatory guide 3.64 (Task WM 503-4) Calculation of radon flux attenuation by earthen uranium mill tailings covers. 1989. – 45 p.
 9. Sanitarnye pravila likvidacii, konservacii i pereprofilirovaniya predpriyatij po dobyche i pere-rabotke radioaktivnyh rud (SP LKP-91), 1991. – 27 p.
 10. Solodovnikova L.M., Tarasov V.O., Sizova N.D. Standartne dzhерело radioaktivnogo radonu-222 dla sistemi visokotochnogo monitoringu radononebezpečnih ob'єktiv v Ukraїni. *Functional Materials*. 2018. Vol. 25. No. 1, pp. 193–199.

Bibliography (transliterated)

1. UNSCEAR 2006 Report: Annex E. Source-to-effects assessment for radon in homes and workplaces / United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York: United Nations, 2009. – 138 p.
2. Molchanov O., Y. Soroka, M. Buzinny Dispersion of Radon in the atmosphere around old Uranium mill talling. *Radon in environment 2009*: book abstr. Intern. conf. (Zakopane, May 10–14, 2009). The Henryk Niewodniczanski institute of nuclear physics. 2009, p. 22.
3. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A., Shabatin V.N. Snizhenie radonoopasnosti hranilishh radioaktivnyh othodov. *Visnik NTU «KhPI»*. Ser. Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv, 2018. № 40 (1316), pp. 60 – 66
4. Obrashhenie s otrabotannymi istochnikami ionizirujushhego izluchenija v Ukraine / Kretinin A.A. i dr. Kiev: Izdvo «Kuprijanova», 2006. – 320 p.
11. Kravchenko N.I., Solodovnikova L.N., Sharov V.E. Vysokotochnyj monitoring radona i ego dochernih produktov raspada v GMSK UkrGO «Радон». Метрологія та вимірювальна техніка: Наук. пр. V міжнар. наук.-техн. конф. (10-12 жовтня 2006р. Харків) Т. 2., Надруковано в ХФ ДП «УкрНДНЦ», Харків, 2006, pp. 341–343.
12. Solodovnikova L.N., Tarasov V.A. Osobennosti ocenki radonoopasnosti Suhachjovskogo hvostohrani-lissha radioaktivnyh othodov. *Visnik NTU KhPI»*. Ser. Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv. 2017. No. 41 (1263), pp. 81–86.
13. Solodovnikova L.M. Protiradonni zahodi v shovishhah RAV. Problemi suchasnoї jadernoj energetiki: tezi dop. XV міжнар. наук.-техн. конф. molodih vchenih ta fahivciv (Harkiv, 13–15 list. 2019 r.). Kharkiv : Finart, 2019, pp. 53–54.

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Солодовнікова Лідія Миколаївна (Солодовникова Лидия Николаевна, Solodovnikova Lidiya Nikolayevna) – завідувач відділу екології ДНУ «НТК «Інститут монокристалів» НАН України, м. Харків, Україна.

E-mail: lidy_@ukr.net

Тарасов Володимир Олексійович (Тарасов Владимир Алексеевич, Tarasov Vladimir Alekseevich) – д.ф.-м. наук, завідувач відділу сцинтиляційної радіометрії Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, м. Харків, Україна.

E-mail: tarasov@isk.kharkov.com

Зубер Валерій Михайлович (Зубер Валерий Михайлович, Zuber Valeriy Mihaylovich) – заступник завідувача відділу сцинтиляційної радіометрії Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, м. Харків, Україна.

E-mail: zuber@isma.kharkov.ua

Сорока Юрій Миколайович (Сорока Юрий Николаевич, Soroka Yuriy Nikolayevich) – к.т.н. доцент кафедри екології та охорони навколишнього природного середовища Дніпровського державного технічного університету. м. Кам'янське, Україна.

E-mail: yuriy_sor@ukr.net

Сізова Наталія Дмитрівна (Сизова Наталья Дмитриевна, Sizova Natalia Dmitriyevna) – д.ф.-м. наук, професор кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна.

E-mail: sizova@ukr.net

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0103-1939>

С. І. БУХКАЛО, В. О. ОЛЬХОВСЬКА**ЗАГАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

У цій статті-огляді розглядаються сучасні методи обробки томатів різних помологічних сортів та аналізуються гібриди. Привабливий хімічний склад томатів, складається з білків, ліпідів, вуглеводів, вітамінів, макро та мікроелементів. Найрозвиненішими з точки зору технології та техніки для томатів є виготовлення томатного соку, томатної пасти, різновидів соусів та кетчупів. Дослідження біохімічного складу сирого помідора демонструє взаємозв'язок між якістю продукту технології та сортами сировини. Важливою тенденцією складної переробки сировини є використання томатних вичавок, насіння та шкірки томатів. У статті показані приклади напрямків вдосконалення технології та обладнання для переробки томатів різними способами, проаналізовані методи інтенсифікації технологічних процесів виробництва томатної пасти, а також інновацій різновидів компаній зі складною обробкою томатів.

Ключові слова: помідори, сорти, хімічний склад, комплексні системи, ефективність томатна паста.

S. I. BUKHALO, V. O. OLKHOVSKA**GENERAL POSSIBILITIES OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF COMPLEX SYSTEMS**

In this article the modern methods for the processing of tomato different pomological varieties and hybrids are analyzed. The attractive chemical composition of tomatoes, which are grown in the regions of the country, is composed of proteins, lipids, carbohydrates, vitamins, macro and micronutrients. The most developed, in terms of technology and techniques, procedures for tomatoes are the manufacture of tomato juice, tomato paste and ketchup. The obtained information from the biochemical composition of raw tomato showcases the relation between the quality of the tomato byproduct and the varieties of the raw materials. An important trend in complex processing of raw materials is the use of tomato pomace, seeds and tomato skin. Technological solutions are of interest for applications collected from seeds and tomato skin in bakery products, meat, creamery, fish products, canned food, food concentrates and cosmetic products. The article shows the directions for the improvement of technology and equipment for tomato processing in a variety of ways, analyzes the methods for intensification of technological processes for the manufacture of tomato paste, and foreign canning companies with the complex processing of tomatoes.

Keywords: tomatoes, varieties, chemical composition, complex systems, efficiency, tomato paste.

С. І. БУХКАЛО, В. О. ОЛЬХОВСЬКА**ЗАГАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

В этой статье-обзоре представлены современные методы обработки томатов разных помологических сортов и гибриды. Привлекательный химический состав томатов, состоит из белков, липидов, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов. Наиболее развитыми по технологии и технологиям процедурами для томатов являются производство томатного сока, томатной пасты, разновидностей соусов и кетчупов. Полученная информация о биохимическом составе сырых томатов демонстрирует взаимосвязь между качеством побочного продукта томатов и сортами сырья. Важным направлением комплексной переработки сырья является использование томатных выжимок, семян и кожицы томатов. В статье показаны направления совершенствования технологии и оборудования для переработки томатов различными способами, проанализированы методы интенсификации технологических процессов комплексной переработкой томатов.

Ключевые слова: томаты, сорта, химический состав, комплексные системы, эффективность, томатная паста.

Вступ. Томати великотоннажний вид овочевої сировини харчової промисловості, попит на яку щорічно зростає: до їх складу входять білки, ліпіди, вуглеводи, вітаміни, макро- і мікроелементи – природні компоненти, які наприклад, в поєднанні з тваринною сировиною, входять також і до продуктів харчування для спортсменів.

Системи технології переробки томатів, в основному, сконцентровані на виробництві цільових продуктів: томатного соку, томатної пасти та порошку і різновидів соусів та кетчупів, а також важливих побічних: насіння, барвники, харчових волокон, томатного масла, білкової фракції; різновиди добавок, наприклад, для парфумерно-косметичних товарів або кормів для тварин. Суттєвим показником класифікації-ідентифікації виробництва є вибір показників сортових особливостей сировини. Слід відзначити, що важливим напрямком підвищення енергоефективності комплексної переробки томатної сировини є використання усіх різновидів відходів виробництва: вичавок, насіння і шкірки томатів.

Сукупність безлічі різнорідних процесів в машинах і апаратах лінії з переробки томатів по суті

є технологічна система у вигляді технологічного потоку, що має свою просторово-часову структуру. Системоутворюючим фактором такої системи є стабільність вхідних і вихідних параметрів процесів в машинах і апаратах. При вивченні харчових виробництв доцільно не тільки усвідомити порядок розміщення обладнання в лінії, а й умови ефективного функціонування відповідного технологічного потоку.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Харчова інженерія – це багатовекторна дисциплінарна область, яка об'єднує мікробіологію, фізичну і колоїдну хімію (наприклад, термодинаміка і кінетика), загальну технологію харчових виробництв та інженерію для харчової і суміжних галузей. Харчова інженерія включає, крім іншого, застосування принципів аграрної інженерії, обладнання і хімічної інженерії для харчової сировини та ін. Сучасні інженери-технологи з харчових технологій забезпечують передачу

© Бухкало С.І., Ольховська В.О., 2020

технологічних знань, необхідних для ефективного конкурентоспроможного виробництва і комерціалізації харчових продуктів і послуг.

Фізична і колоїдна хімія мають фундаментальне значення для розуміння і розробки інноваційних продуктів і операцій в харчовій промисловості. Фірми, які проектують і будують підприємства з переробки харчових продуктів, консалтингові фірми, державні установи, фармацевтичні компанії та медичні фірми, також наймають інженерів-технологів з виробництва харчових продуктів: лікарські/харчові продукти; проектування та встановлення виробничих процесів в харчовій/біологічній/фармацевтичній промисловості; проектування і експлуатація екологічно безпечних систем поводження з відходами та ін.

У гетерогенній системі технологічних виробництв харчової та хімічної інженерії з'єднуються безліч підсистем різної природи, які створюють інженери різних спеціальностей. Комплексна системна інженерія націлена на цілісне і узгоджене розуміння потреб зацікавлених сторін різновидів виробництва: дослідження процесів ідентифікації-класифікації та можливостей різновидів об'єктів; документування вимог у вигляді нормативно-технічної документації (НТД); синтез ієрархії отриманих можливостей, верифікацію – статистична практика перевірки процесів, валідацію – динамічний механізм перевірки і тестування продукту, розвиток рішень при розгляді завдання у всій повноті, від дослідження задуму системи до її ліквідації.

Комплексна системна інженерія (КСІ) – міждисциплінарний підхід, який визначає повний набір технічних і управлінських зусиль, що потрібні для перетворення сукупності потреб і очікувань замовника і наявних обмежень в ефективні рішення і підтримка цих рішень протягом їх життєвого циклу. КСІ допомагає розробникам різновидів технологічних систем у виділенні точок зору, які слід використовувати системному інженерові, коли він пропонує процеси та технології для здійснення цієї діяльності. У складі КСІ виділяють дві складових: спеціальне керівництво (Technical leadership) сконцентроване на протязі повного життєвого циклу (ЖЦ) системи на продуктивних технічних проектних рішеннях і технічної цілісності – діяльність, спрямована на отримання нових можливостей і систем на основі гармонійного поєднання технічних знань в певних областях, інженерного інстинкту, вміння вирішувати завдання, креативності і до обміну знаннями та думками. управління системними рішеннями (Systems management) зосереджене на вирішенні проблем, використання безлічі різних технологій, залучення декількох підприємств в комплексну технічну діяльність: це добре формалізована діяльність, спрямована на вироблення і систематизацію знань, необхідних для ефективного управління розвитком і функціонуванням складних систем. Але, наприклад, КСІ не завжди визначає як

знімати протиріччя взаємозв'язків окремих технологій без урахування особливостей всієї системи в цілому при вирішенні різновидів проблем за стадіями процесів, вибором інноваційного обладнання, контролем якості сировини, напівфабрикатів і продуктів, та ін.

У комплексних харчових технологіях можна виділити більшу кількість типових процесів обробки середовищ: з'єднання без збереження поверхні розділу (змішування середовищ); з'єднання зі збереженням поверхні розділу (утворення шару); поділ на фракції; подрібнення; складний процес перетворення (комплекс фізичних, хімічних і мікробіологічних процесів); дозування; формоутворення; орієнтування (зокрема, предметів); підтримка сталих теплових режимів (підтримання постійної температури); нагрівання; охолодження; зміна агрегатного стану; зберігання, а також це процеси переробки різновидів відходів усіх стадій технологічного процесу з метою підвищення ефективності ресурсо- та енергозбереження системи.

Об'єднання як мінімум двох технологічних операцій забезпечує утворення технологічної підсистеми, що відповідає певному комплексу технологічного обладнання (агрегату, установки) або набору обладнання в межах виробничої дільниці. Технологічна система об'єднавши кілька підсистем, що реалізують всі стадії переробки сировини, різновидів відходів систем виробництва, а також випуску готової продукції, можна сформулювати технологічну систему в цілому, яка відповідає всій сукупності обладнання, що входить до складу технологічної лінії. Лінії вторинної переробки сировини, як правило, універсальні і після відповідної переналадженості на них можна виготовляти широкий асортимент виробів, що розрізняються між собою за складом і формою. Продукція, що випускається на лініях вторинної переробки сировини, в основному має обладнання для виконання заключних операцій дозування і упаковки рідких, сипучих, пастоподібних або штучних продуктів; окремі виробництва різновидів кормів для худоби.

Комплекси системи переробки плодоовочевої сировини мають складові:

- 1) ієрархія процесів утворення проміжних напівфабрикатів з вихідної сировини;
- 2) ієрархія процесів утворення остаточного напівфабрикату з проміжних напівфабрикатів;
- 3) ієрархія процесів виготовлення готової продукції з остаточного напівфабрикату.

Таке групування ієрархія процесів лінії з відмінностями та особливостями функціональних завдань систем технології відповідає цілям і задачам для складу операцій відповідної групи. При функціонуванні частини комплексу з необхідними є нормативні значення споживчих властивостей готової продукції, яку отримують в результаті перетворення остаточного напівфабрикату, що має певні технологічні властивості. Відмітна особливість

остаточного напівфабрикату – його склад і будова відповідають тільки одному конкретному найменуванню готової продукції (табл. 1, 2). Тому кожному комплексу 3 у складі лінії повинен

передувати комплекс 2, що забезпечує отримання остаточного напівфабрикату з проміжних напівфабрикатів).

Таблиця 1. Деякі органолептичні властивості томатних продуктів

Показник	Характеристика показника для різновидів томат-продуктів без визначення категорії		
	Томатна паста	Томатне пюре	Томатний сік
Зовнішній вигляд і консистенція	Однорідний гомогенний продукт зі зваженими тонко здрібненими частинками плодової м'якоті, без темних включень, залишків шкірки, насіння і інших грубих частинок плодів.	Однорідна концентрована маса від напіврідкої до більш густої консистенції, без темних включень, грубих частинок плодів. Допускаються поодинокі включення насіння і частинок шкірки.	Однорідний гомогенний продукт зі зваженими тонко здрібненими частинками плодової м'якоті, без темних включень. Допускаються поодинокі включення дробленого насіння і шкірки.
Колір	Червоний, помаранчево-червоний або малиново-червоний, рівномірний у масі. Допускаються буруватий або коричнюватий відтінки.	Червоний різних відтінків, характерний для соку з зрілих томатів, яскраво виражений	Червоний різних відтінків, характерний для соку з зрілих томатів, яскраво виражений
Смак і запах	Властиві зрілим томатам, які пройшли термічну обробку, без гіркоти та інших сторонніх присмаків і запаху	Властиві зрілим томатам, які пройшли термічну обробку, менш виражені, без гіркоти та сторонніх присмаків і запаху	Властиві зрілим томатам, які пройшли термічну обробку, менш виражені, без гіркоти та сторонніх присмаків і запаху

Таблиця 2. Харчова та енергетична цінність 100 г концентрованих томатних продуктів

Продукт	Вуглеводи, г	Вітаміни, мг				Енергетична цінність, ккал
		β-каротин	В ₁	РР	С	
Томатне пюре, %	12	7,1	–	–	–	37
	15	8,9	–	–	–	46
	20	11,8	1,8	0,05	26	65
Томатна паста, %	25	15,8	–	–	–	79
	30	19,0	2,0	0,15	45	99
	35	22,2	–	–	–	111
	40	25,3	–	–	–	127
Томатна паста солена, %	27	17,1	–	–	–	88
	32	20,3	–	–	–	102
	37	23,4	–	–	–	117
Концентрований томатний сік	26,4	–	–	–	–	106

Комплекс 2 – найбільш відповідальна (центральна) підсистема будь-якої технологічної лінії. При всьому різноманітті властивостей проміжних напівфабрикатів за допомогою систем технології і обладнання комплексу 2 повинен утворитися остаточний напівфабрикат, будова і склад якого не підлягають в подальшому перегляду або коригуванню. Якщо показники властивостей остаточного напівфабрикату змінюються в межах більш допустимих, то отримують або дефектну продукцію, або продукцію іншого найменування. В обох випадках мета функціонування лінії не буде досягнута. Комплекс 1 призначений для підготовки вихідної сировини до переробки, а також для такого перетворення споживчих властивостей сировини, щоб забезпечити ефективне вилучення корисних речовин і оптимальні умови для отримання необхідного складу і будови проміжних напівфабрикатів. Важливе завдання функціонування лінії первинної переробки сировини – раціональне використання всіх корисних речовин, що містяться в ній, а не тільки тих з них, які передбачені рецептурою на основну продукцію. Системи технології та устаткування лінії повинні бути такими, щоб можна було здійснювати безвідхідну

технологію, при якій відходи виробництва, що містять корисні речовини, піддавалися додатковій обробці з метою збереження їх корисних властивостей, забезпечення можливості транспортування і використання.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Дослідники з різних країн світу займаються вивченням хімічного складу плодів і овочів і їх корисних властивостей. Наприклад, встановлено, що виникнення і розвиток запальних захворювань супроводжуються активацією створення вільних радикалів і реакцій перекисного окислення ліпідів, денатурації білків і нуклеїнових кислот. Вільні радикали, як відомо [1] – це молекули або частинки, що володіють неспареними електронами. Утворені в клітинах людини такі радикали можуть ініціювати вторинні вільно-радикальні реакції, вступаючи у взаємодію з різними клітинними компонентами: білками, нуклеїновими кислотами і ліпідами. В результаті цих реакцій відбувається деградація молекул-мішеней з утворенням більш-менш стабільних продуктів реакцій, спостерігається інактивація системи антиоксидантного захисту.

Найбільш важливими і поширеними джерелами натуральних або, так званих, природних

антиоксидантів є овочі, фрукти і ягоди. Серед овочів найбільш важливе місце займають томати як за своїми значним обсягам споживання, так і в зв'язку з їх багатим вмістом корисних для здоров'я людини речовин. За думкою авторів визначено, що основним біологічно активним компонентом, відповідальним за цей ефект, є жиророзчинний каротиноїд лікопен, що володіє вираженими антиоксидантними властивостями [2].

Авторами встановлено, що антиоксидантні і потенційно антиканцерогенні властивості томат-продуктів безпосередньо не корелюють з вмістом лікопену і для адекватної профілактики онкологічної

патології слід споживати якомога ширший асортимент томат-продуктів, до складу яких входять різні типи антиоксидантів [3]. В процесі досліджень виявлено різницю в хімічному складі і антиоксидантної активності томатів різних сортів які зростають в різній місцевості: хімічний склад сировини та її технологічні властивості значно різняться в залежності від сорту, умов і місцевості зростання (табл. 3): порівняльний аналіз зміни фізико-хімічних показників овочів, зокрема томатів (таблиця 3, сорти помідорів за №: 1 – Ричанській; 2 – Старроуз F1; 3 – Сяюча куля; 4 – Чорний принц).

Таблиця 3. Антиоксидантні показники деяких сортів томатів, [4]

№	Загальний вміст флавоноїдів, мг катехіну/100 г сировини	Вміст β -каротину, мг/100 г сировини	Антирадикальна активність, метод DPPH, E_{CSO} , мг/мл	АО, % інгібування окиснення лінолевої кислоти
1	$12 \pm 0,25$	$0,17 \pm 0,01$	$660 \pm 4,6$	$4,17 \pm 0,2$
2	$12 \pm 0,25$	$0,11 \pm 0,01$	$950 \pm 6,6$	$6,25 \pm 0,3$
3	$12 \pm 0,25$	$0,12 \pm 0,01$	$75 \pm 0,5$	$26,4 \pm 1,3$
4	$13 \pm 0,27$	$0,15 \pm 0,01$	$105 \pm 0,7$	$15,3 \pm 0,7$

У роботах [5] показано вплив ступеня дозрівання на властивості томатів: синім кольором виділена антирадикальна активність, зеленим – антиоксидантна активність і червоним – вміст каротиноїдів (рис. 1: ступінь визрівання 1 – молочна, 2 – жовта, 3 – перезрілий, 4 – дозрілий у приміщенні).

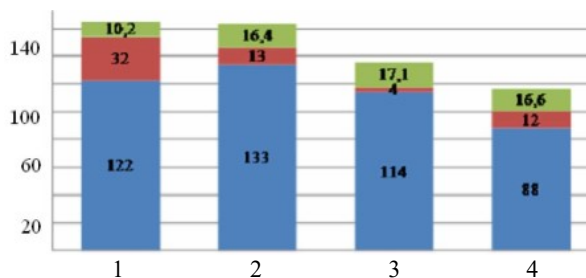


Рис. 1 – Вплив стадії визрівання томатів на їх властивості

Важливим взаємозв'язаним фактором поряд з термінами дозрівання, антиоксидантними та антирадикальними властивостями сировини для комплексної технології на стадії стерилізації консервованої продукції, наприклад, томатної пасту є виявлення можливостей забезпечення якості продукції. Наприклад, необхідно виявити можливі режими її зберігання, тобто, визначення кінетичних закономірностей механізмів окислення отриманого продукту з урахуванням температуро-часових характеристик стерилізації, що і є метою комплексних досліджень представлених систем. Аналізуючи наведені дані, можна відзначити, що антирадикальна і антиоксидантна активності овочів прямим чином залежать як від вмісту фенольних речовин і флавоноїдів, так і від вмісту каротину.

Аналіз можливостей розробки ефективної системи виробництва. Число систем у складі лінії і конкретні завдання їх функціонування залежать від способу перетворення вихідної сировини і виду продукції, що випускається. Концентровані томатні

продукти – томатне пюре (12–20 %) і томатну пасту (30–40 % сухих речовин) отримують шляхом уварювання протертої томатної маси за функціональною схемою (рис. 2).

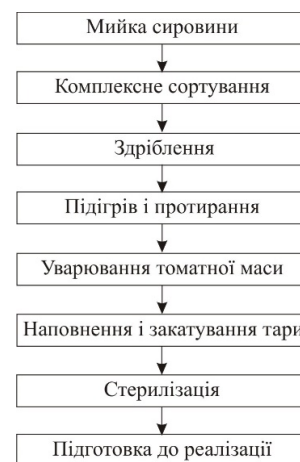


Рис. 2 – Функціональна схема виробництва томатних напівфабрикатів

До складу потужного консервного виробництва входять цехи основного, допоміжного та підсобного виробництва. Кожна технологічна лінія має технологічні відділення: підготовка сировини до перероблення; теплова обробка отриманого продукту; розфасування у тару і її наступна стерилізація; пакування і зберігання до реалізації. При уварюванні томатна маса з концентрацією сухих речовин близько 5 % у сировині, концентрується при отриманні томатної пасту у шість разів.

А) Системи технології виробництва різновидів томат-продуктів можна визначити за спрощеною функціональною схемою різновидів продукції:

1. Загальна класифікація-ідентифікація виробництва, асортимент галузі та продукції.

1.1. Особливості властивостей сировини виробництва – агротехнічні системи, наукове обґрунтування вибору критеріїв насіннєвої ієрархії різновидів томатів.

1.2. Особливості властивостей продукції виробництва з урахуванням виробничих потужностей.

1.3. Оцінювання можливостей виробництва відповідно НТД – контроль властивостей основної та допоміжної сировини, напівфабрикатів на усіх стадіях, різновидів продукції.

1.4. Класифікація-ідентифікація та загальні показники різновидів сировини та основної продукції.

2. Ієрархія технологічних операцій виробництва.

2.1. Порівняльна характеристика функціональної схеми виробництва різновидів продукції.

2.2. Основні показники підготовки сировини до виробництва.

2.3. Ієрархія технології підготовчих операцій

2.3.1. Аналіз особливостей та цілі підготовки сировини: ієрархія мийних систем інженерії.

2.3.2. Аналіз особливостей логістичних систем: ієрархія систем інженерії транспортування.

2.3.3. Аналіз особливостей здрібнення сировини: ієрархія систем інспектування та здрібнення.

2.3.4. Аналіз особливостей протирання сировини: ієрархія систем інженерії.

2.4. Системи класифікації-ідентифікації технології основних операцій.

2.4.1. Аналіз особливостей та ієрархія процесів випаровування томатної маси.

2.4.2. Розрахунки та аналіз особливостей випарного процесу у сучасних випарних апаратах.

2.4.3. Аналіз особливостей ієрархії асептичного консервування пастоподібних продуктів.

2.4.4. Аналіз особливостей вибору оптимальних режимів стерилізації з урахуванням можливостей протікання хімічних змін у процесі – ієрархія кінетичних процесів.

2.4.5. Постадійний технохімічний і бактеріологічний контроль процесів переробки сировини у продукт відповідно до НТД.

2.5. Системи технології заключних операцій.

2.5.1. Фасування продукції у споживчій тарі – ієрархія процесів стерилізації.

2.5.2. Контроль пригнічення та знищення дії мікроорганізмів – виявлення бомбажних банок.

2.5.3. Контроль режимів та процесів зберігання – контроль і етикетування банок з продукцією.

3. Можливості підвищення ефективності процесів ресурсо- та енергозбереження.

3.1. Технологічні операції виготовлення цільових продуктів – ієрархія-класифікація;

3.2. Технологічні особливості виготовлення цільових продуктів – ієрархія-класифікація.

4. Ідентифікація-класифікація обладнання для виробництва різновидів продукції за потребою.

4.1. Особливості технологічних операцій виготовлення цільових продуктів.

4.2. Різновиди технологічних операцій: характеристика технологічних процесів та їх можливостей за якістю продукції.

5. Промислові способи виробництва різновидів продукції – переваги і недоліки.

5.1. Ієрархія систем визначення технологічних параметрів процесів.

5.2. Аналіз особливостей технологічних параметрів процесів.

6. Характеристика можливих дефектів продукції та причини їх виникнення.

6.1. Аналіз дефектів продукції та способи удосконалення технології продукції.

Б) Приклади виконання деяких пунктів функціональної схеми.

1.1.1. Агротехнічні системи можна представити як: виявлення кращих сортів і гібридів сільськогосподарських видів за технологією виробництва, продуктивністю та якістю сировини, стійкістю проти шкідливих організмів і стресових явищ у різних ґрунтово-кліматичних зонах вирощування та рекомендації щодо впровадження їх у виробництво. Якість сировини – різновидів плодів томатів визначається вмістом в них сухих речовини, сахарів, вітамінів і мінеральних солей, що безпосередньо залежить від інтенсивності і тривалості сонячного освітлення під час вегетації, а оптимальну температуру для росту і розвитку рослин – 22–25 °С. При цьому вони досить вимогливі до вологісного режиму. Системи вирощування та агротехніки з технології томатів у якості приклада сільськогосподарської культури, необхідно розглядати з метою організації комплексного підприємства з виробництва плодовоовочевих різновидів продукції. Вибір сільськогосподарських культур повинен враховувати види та генотипи, здатні забезпечити конкретні типології продукції, беручи до уваги ринкові та економічні умови, особливості та вимоги сільськогосподарських культур, сумісність між урожаєм та мікрокліматом, а також особливості ґрунту та ґрунтові хвороби. Для виробництва згущеної томатної пасти, важливими при підготовці сировинної бази є такі показники якості томатів, наприклад:

1.1.1.1. Високий вміст сухих речовин, що означає більш низький вміст води в плодах і, відповідно, менші витрати на видалення води в процесі концентрації;

1.1.1.2. Високий вміст сахарів у сировині та напівфабрикатах;

1.1.1.3. Зберігання кольору соку до і після процесу концентрації;

1.1.1.4. Високий вміст лікопіну;

1.1.1.5. В'язкість (залежить від вмісту нерозчинних сухих речовин, що становить близько

50% від загальних сухих речовин);

1.1.6. Показник кислотності (рН);

1.1.7. Відсутність ознак мікробіологічного зараження плодів.

Залежно від технологічних властивостей, структури тканини, хімічного складу застосовуються різні технологічні схеми виробництва томат-продуктів. Для виготовлення томатного соку використовували свіжі зрілі плоди з додаванням кухонної солі або без неї. Основною цінністю томатного соку вважається наявність в ньому вітаміну С і каротиноїдів. Кращим способом підвищити вміст каротиноїдів в томатному соку є отримання його не пресуванням, а екстракцією. Якісний томатний сік містить не менше 4,5% сухих речовин.

1.2. Концентровані томатні продукти представлені у вигляді: томатне пюре; томатна паста; томатний сік. Залежно від показників якості концентровані томатні продукти виготовляють категорії «Екстра» (зі свіжої сировини) або без позначення категорії. Залежно від в'язкості кінцевого продукту томатну пасту зі свіжих томатів виготовляють за такими технологіями: «Hot Break» – процес виробництва, при якому проводять підігрів подрібненої томатної маси перед протиранням при температурі від 85 до 100 °С або «Cold Break» – процес виготовлення томатної пасту, при якому проводять підігрів здрібненої томатної маси перед протиранням при температурі від 55 до 84 °С.

Доставлені на завод свіжі томати розвантажують в прийомні бункери, виготовлені з відповідного за вимогами НТД матеріалу. У бункери постійно надходить вода, її кількість в 3-5 разів перевищує кількість томатів, що надходять. Наприклад, якщо за годину приймається 10 т продукції, то витрата води буде як мінімум 30 м³ за годину. Поток води томати перемішуються до роликового елеватора, а звідти вони переходять на сортувальні столи. Як правило, класичним поєднанням сировини і виробленої томат-пасту є співвідношення 5,8 до 1, тобто з 5,8 т помідорів на виході отримують 1 т продукції.

1.3. З метою транспортування сировини без псування, розвантаження відбувається поступово, і коли вантажівка з томатами підноситься над бункерами, оператор спеціальним шлангом з великою кількістю води полегшує їх розвантаження і вони проходять під напором через отвір розміром 50x50 см. Перед тим, як відправиться на сортувальний стіл, томати промиваються чистою питною водою, видаляють зіпсовані і зелені плоди на конвеєр для зіпсованих продукції. Схема прийому і сортування томатів машинного збирання має складний комплекс технологічних операцій (рис. 3): 1 – приймальна площадка для розвантаження контейнерів з томатами; 2 – гідромонітор; 3 – гідрожолоба першого контуру; 4 – ємність для очищення води; 5 – гідрожолоба другого контуру; 6 – елеватори; 7 – відцентровий насос для води; 8 –

флотаційні гідрожолоба третього контуру; 9 – фотоелектронний сортувальник томатів; 10 – гідрожолоба четвертого контуру; 11, 12, 13 – конвеєри для досортування і інспекції червоних, зелених і бурих томатів; 14 – генератор двоокису хлору; 15, 16 – резервуари для води; 17 – шнековий транспортер для відходів [6, 7, 11].

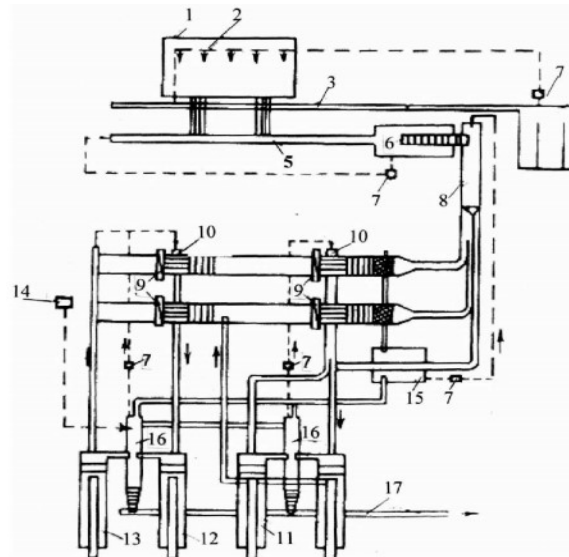


Рис. 3 – Схема прийому томатів машинного збирання

Особливість технології переробки томатів машинного збирання полягає в заміні традиційних мийних машин на гідрожолоба для мийки томатів з автоматичними фотоелектронними сортувальниками томатів за кольором.

1.4. Для виготовлення томатної пасту використовують крупні зрілі томати масою 70 – 100 г з невеликою кількістю шкірочки і насіння бажано шароподібної форми. До складу зрілих томатів входить яблучна і лимонна кислоти (0,4 %), вітаміни А, В₁, В₂, С і ін., рН томатів 3,7–4,5, сухих речовин 4–9 %, з них сахарів від 2 до 5 %, а також важлива сировина для різновидів галузей промисловості – лікопін. Отриманий природний лікопін може бути використаний у вигляді порошкоподібних концентратів для збагачення харчових продуктів як масового, так і профілактичного призначення: безалкогольних напоїв і коктейлів, молочних і кисломолочних продуктів, сирних мас, фруктових і овочевих консервів, хлібобулочних та кондитерських виробів. Вміст лікопіну в помідорах і різновидах продуктів їх переробки, [3, 5], наведено в таблиці 4:

Таблиця 4. Вміст лікопіну в сировині і продуктах

Томат-продукт	Вміст лікопіну, %
Свіжі томати	8,9±0,3
Томатний соус	17,0±0,2
Томатна паста	56,0±0,4
Томатний сік	9,3±0,5
Томатний порошок	10,8±0,2
Томатний жмих	19,9±0,1

Процес вилучення лікопіну з каротинутримуючої сировини можна інтенсифікувати шляхом ферментативної обробки гідролітичними ферментами, що дозволяють послабити зв'язку каротиноїдів з компонентами сировини. Підбір ферментних препаратів здійснюють, виходячи зі складу полісахаридного комплексу клітинних стінок сировини. Основні показники підготовки сировини до виробництва. З плодів томатів для аналізу відбирають пробу у кількості 10 – 15 кг для проведення аналізу сировини.

2.1. Порівняльна характеристика функціональної схеми виробництва різновидів продукції. Виготовлення томатної пасти вимагає набору певного обладнання, а також різних допоміжних пристроїв, наприклад: гомогенізатор вакуумного типу з паровим і електричним нагрівом; різновиди машин для подрібнення і термічної обробки сировини – в залежності її об'єму одночасно завантаження на обробку відповідно до продуктивності лінії переробки; вакуумно-випарна машина і ін. Функціональну схему лінії виробництва томатного соку за спрощеним варіантом можна розділити на наступні стадії: ієрархія процесів очищення, миття і сортування сировини; процеси дроблення (подрібнення) томатів; ієрархія процесів нагрівання і екстракція томатної маси; ієрархія процесів центрифугування і протирання томат-продуктів; ієрархія процесів фасування, стерилізація (пастеризація) соку. Процеси уварювання томатної маси – основної операції виробництва томатної пасти у виробництві томатного соку відсутні відповідно з вимогами НТД.

2.2. Основні показники підготовки сировини до виробництва. Як правило, плоди промивають і сортують, після чого вони проходять попередню обробку - їх подрібнюють, очищають і ріжуть на частини необхідного розміру. Залежно від подальших вимог, підготовлені плоди піддаються нагріванню та бланшуванню, рафінації, очищення, відновлення, випарювання, пастеризації і консервації. Сепарація є ключовим етапом в процесі відновлення. Видалення цвілі, відділення м'якоті і освітлення соку дозволяє виробнику контролювати колір, склад і в'язкість продукту. Все це - ключові параметри, що визначають якість і, в кінцевому підсумку, впливають на подальшу цінність продукту.

2.3. Ієрархія технології підготовчих операцій. Томати придатні для переробки, подрібнюються, наприклад, дробаркою молоткастого типу, за допомогою мононасоса, щоб отримати м'яку масу (волокна, шкірка насіння і сік) або у декантерній центрифугі. Саме ця маса обробляється за допомогою технології Cold Break або Hot Break. Температура контролюється на спеціальній головній панелі.

Переваги декантерної центрифуги Foodesc виробництва компанії Альфа Лаваль (рис. 4) для переробки томатів: зростання продуктивності на 25% без додаткових витрат; високі гігієнічні стандарти, що означає більш високу цінність кінцевого продукту; більш низьке споживання енергії, що

означає зниження виробничих витрат; значно кращий контроль над в'язкістю м'якоті.



Рис. 4 – Декантерні центрифуги Foodesc

Підігріта томатна маса наносом подається в сокової екстрактор, що складається з двох машин: протиральна машина; машина для рафінування (два різних за розміром сита). У першому випадку маса протирається до отримання частинок розміром до 1 мм, а рафінування розбиває їх на більш дрібні шматочки. В результаті виходить рафінований сік для подальшої концентрації. Відходи видаляються: описані способи переробки насіння томатів і томатних вичавок для отримання масляних екстрактів і білкового збагачувача. На середнє значення виробництва соків впливають такі чинники: температура маси (чим вище температура, тим ефективніше результат); сорт томатів; швидкість обертів; форма ротора.

2.4. Системи класифікації-ідентифікації деяких можливостей технології основних операцій. Контроль в'язкості є надзвичайно важливим фактором при виробництві томатної пасти. Цей показник має прямий вплив на якість одержуваного продукту. М'якоть повинна мати певний рівень в'язкості для запобігання розшарування при розфасовці кінцевого продукту. Томатна маса, що пройшла обробку містить 38-45% м'якоті. Завдання полягає в тому, щоб виробляти пасту з максимально високим рівнем м'якоті при збереженні можливості ефективного її перекачування в випарювач – тобто можливо знизити витрати на випарювання.

Чистий сік, який надходить з декантерної центрифуги, може використовуватися для регулювання кольору і в'язкості пасти до тих пір, поки вона не придбає бажані характеристики. Він також може використовуватися в інших подібних виробничих процесах – при виготовленні очищених і різаних томатів. Таким чином, ви завжди впевнені в тому, що кількість виробничих відходів зведено до мінімуму і є можливість розширити продуктову лінійку – кожна партія томатів має свої унікальні характеристики.

2.5. Можливості підвищення ефективності процесів ресурсо- та енергозбереження. Процеси перетворення різновидів сировини тваринного і рослинного походження в продукти харчування складні і багатостадійні, вони вимагають знань, заснованих на законах фізики і хімії, механіки та

теплофізики, мікробіології та біохімії з метою формування у студентів комплексних уявлень про теоретичні та загальні основи технологічних процесів виробництва (рис. 5: 1, 2 – свіжі томати на мийку; 3 – сортування; 4 – здрібнення; 5 – нагрівання; 6 – рафінація; 7 – очистка; 8 – контроль вмісту плісняви у відходах та екстракція соку; 9 – декантерна центрифуга (згущення); 10 – густий сок; 10 – випарювання; 11 – чистий сік з нульовим вмістом плісняви; 12 – подальша переробка з очищеними підготовленими томатами; 13 – груба м'якоть; 14 – турбопрес; 15 – декантерна центрифуга (очистка); 16 – сухий кек; 17 – випарювання; 18 – пастеризація і асептичне охолодження; 19 – розлив в асептичну тару або ємності).

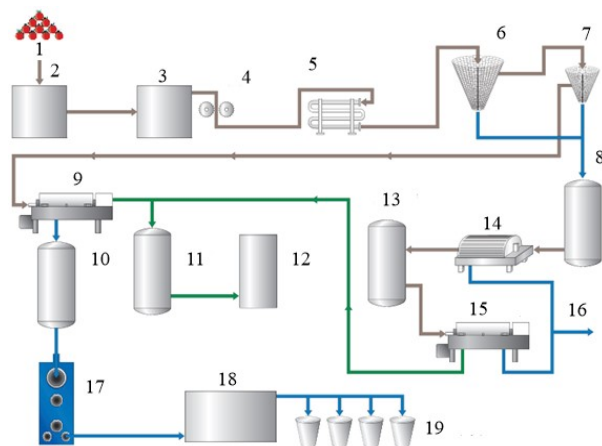


Рис. 5 – Приклад ресурсо- та енергозберігаючої схеми

Ці характеристики можуть бути представлені за спрощеною класифікацією-ідентифікацією процесів та технологій:

1) визначення основних складових сировини, напівфабрикатів та продуктів, різновиди їх властивостей, призначення в технологічному процесі і харчуванні;

2) ієрархія складових та теоретичні основи ідентифікації-класифікації різновидів сировини з урахуванням її біологічної цінності та умов виробництва;

3) фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні процеси, що протікають в харчових продуктах при їх зберіганні та обробці на різних стадіях технологічних процесів.

3. Здрібнену томатну масу за допомогою насоса направляють до теплообмінника де підігрівають до температури 75 °C для полегшення відділення м'якоті і зниження втрат при протиранні. Під дією температури щільна рослинна тканина з укріпленою клітинною структурою протопектином, набуває підвищеної клітинної проникності, втрачається її тургор і тканина розм'якшуються. При цьому також проходить гідроліз протопектину, він переходить у розчинну форму, міжклітинні речовини розчиняються, це сприяє більш повному відділення м'якоті від шкірочки і кількість відходів знижується до 4 %. Підігрів має і інші позитивні технологічні

переваги з метою підвищення ефективності комплексної системи у цілому:

- накопичення у здрібненій масі розчинного пектину сприяє утворенню однорідної консистенції, тобто запобігає розшаруванню на сік і м'якоть;
- видаляється повітря з томатної маси, що сприяє кращому зберіганню вітамінів;
- до випарних апаратів подається підігріта маса, що полегшує початок випарювання.

Протирання проводять на двох- або трьох послідовно встановлених протиральних машинах, діаметр отворів на ситах машин зменшується: 1 – 1,2 мм; 2 – 0,7 мм; 3 – 0,5 мм. Відходи від протирання можна використовувати у сільському господарстві для технічних і харчових цілей.

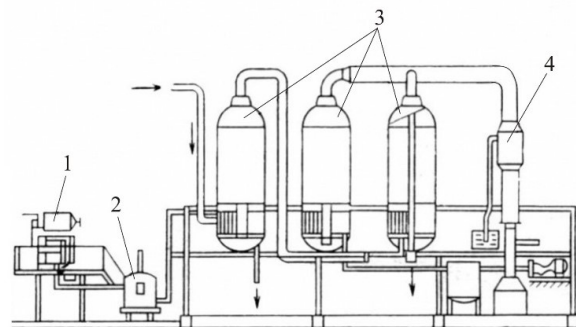


Рис. 6 – Технологічна схема виробництва томатних напівфабрикатів: 1 – протиральна машина; 2 – збірник; 3 – випарна станція; 4 – напівбарометричний конденсатор

Випарювання (уварювання) води з томатної маси – основний технологічний процес лінії виробництва томатної пасты (рис. 6), основним апаратом якої є вакуум-випарна установка. Уварювання томатної маси у 1 корпусі випарної установки проводять при температурі 75 – 80 °C, у 2 і 3 корпусах – при температурі 40 °C; остаточний тиск відповідно складає: 1 – 40 – 50 кПа, 2 і 3 – 8 – 10 кПа. При цьому з 95 % вологи томатів, близько 83 % випаровується: у 1 корпусі – близько 50 %, у 2 корпусі – 16 – 18 %, у корпусі 3 – 8 %.

4. Томатна маса для уварювання має у своєму складі клітковину і для інтенсифікації теплообміну з метою підвищення вмісту сухих речовин у продукті до 40 – 45 %, необхідні особливі заходи, наприклад застосування обертової поверхні підігріву. Розрахунок кількості вологи випарювання при цьому можна провести за формулою: $G = G_0(1 - a/b)$, де G – маса випареної вологи, кг; G_0 – маса напівфабрикату для уварювання; a – кількість сухих речовин напівфабрикату перед уварюванням; b – кількість сухих речовин напівфабрикату у кінці уварювання.

Умови проведення випарного процесу у вакуум-апаратах – зниження кількості повітря і температури кипіння – дозволяють отримувати продукт високої якості – зберігання вітамінів і інших цінних складових речовин сировини, а також барвників. Томатна паста має яскраво-червоний колір і високий вміст аскорбінової кислоти. При випарюванні

контролюють температуру процесу, тиск гріючої пари, залишковий тиск або розріджування, тривалість уварювання, дотримання вимогам рецептур, концентрацію сухих речовин і інші параметри.

5. В технології асептичного консервування пастоподібних продуктів є особливі відмінності в структуризації підприємства. Готову пасту підігрівають до температури 85–95 °С, фасують у підготовлену дрібну або крупну консервну тару, вакуумують, закатують і передають на стерилізацію при температурі 100 °С. Підготовка тари полягає в митті склотари на спеціальних банкомийних машинах, перевірці бляшаної тари на герметичність, видалення відбракованої тари і ін. Для розфасування застосовують різні автоматичні наповнювачі, наприклад, стерилізовані банки подають до продуктової станції шнеком зі змінним кроком і наповнюють томатною пастою дозувальними стаканами.

6. З метою вибору оптимальних режимів стерилізації і оцінки якості томатної пасту рядом авторів досліджувалися хімічні зміни у процесі за допомогою вивчення кінетичних параметрів. При виробництві томатної пасту можливе протікання реакції Майєра – взаємодія сахарів і амінокислот, що призводить до утворення різних продуктів, зокрема оксиметилфурфуролу, а також зміни кольору. Мінімальна кількість оксиметилфурфуролу утворюється при температурі стерилізації 90 °С і його концентрація суттєво не змінюється протягом 2,5 годин, а при температурі 145 °С – його концентрація різко зростає. Цей процес складний і його кінетика не може бути описана реакцією якого-небудь конкретного порядку, що є типовим випадком для хімічних реакцій, які протікають у харчових продуктах, особливо при невеликих ступенях перетворення. Реакція утворення оксиметилфурфуролу у томатній пасті при температурах 105–135 °С протікає у дві стадії, його накопичення описується лінійною залежністю для обох етапів, тобто реакція на першій і другій стадіях має нульовий порядок і протікає з постійною константою швидкості. Швидкість зміни кількості будь-якого j -го компонента W_j виражається співвідношенням $W_j = \nu_j r$, (1) де ν_j – стехіометричний коефіцієнт при j -ому компоненту (для реагентів записується зі знаком «–», а для продуктів – зі знаком «+»); r – швидкість реакції, обумовлена за законом діючих мас – швидкість хімічної реакції прямо пропорційна добутку константи швидкості на концентрації реагентів взятих у ступенях рівних їх стехіометричним коефіцієнтам: $r = kC_A^{\nu_A}$ (2), залежність константи швидкості реакції від температури визначається за рівнянням Ареніуса $k = k_0 \exp(-E/RT)$ (3). Залежно від значення суми показників ступеню у рівнянні 1 реакції поділяють на реакції нульового, першого

порядку, другого і більш високих порядків (рис. 7), порядок реакції записують для конкретного реагенту або як загальний порядок реакції [7 – 13].

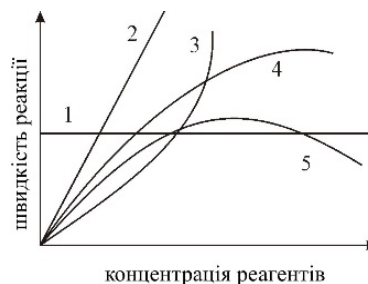


Рис. 7. Залежність швидкості реакції від концентрації реагентів для реакцій порядку: 1 – нульового; 2 – першого; 3 – другого; 4 – дрібногочисельного; 5 – змінного

Для реакцій нульового порядку швидкість реакції постійна і не залежить від концентрації або парціального тиску реагенту, для реакцій першого порядку ця залежність прямолінійна, а для реакцій більш високого порядку – це експоненціальна крива. Константа швидкості реакції k у вираженні (3) при постійній температурі дорівнює швидкості реакції r при одиничних концентраціях реагентів.

Приклад кінетичної моделі реакції утворення оксиметилфурфуролу $A \xrightarrow[r; k; E]{} R$ (4) можна визначити наступними рівняннями: $W_A = -r$ (5); $W_R = r$ (6); $r = kC_A$ (7); $k = k_0 e^{-E/RT}$ (8). Зіставивши вищевказані рівняння (5–8), одержимо кінетичне рівняння, що описує зміну концентрації реагенту A в ході реакції $dC_A / dt = -kC_A$ (9). Вирішуючи рівняння (9) поділом змінних і інтегруванням, в результаті одержимо концентрації реагенту A : $C_A = C_{A_0} e^{-kt}$ (10). Концентрацію продукту легко знайти з рівняння матеріального балансу для даної реакції: $C_R = C_{A_0} - C_A$ (11); з обліком (10) одержимо рівняння для розрахунку $C_R = C_{A_0} (1 - e^{-kt})$. При цьому тривалість першої стадії τ_1 (хв.) і концентрацію оксиметилфурфуролу C_1 (мг/кг) для реакції, яка протікає у границях першої стадії, можна описати наступними рівняннями: $\tau_1 = (139 - t)2,37$ (12), $C_1 = K_1 \tau$, де τ – загальна тривалість нагрівання, хв., t – температура нагрівання томатної пасту, °С, K_1 – константа швидкості для першої стадії, яку можна обчислити згідно з рівнянням: $K_1 = 2,25 \cdot 10^9 \exp[(-18,3 \cdot 10^3) / RT]$.

Тривалість нагрівання для другої стадії реакції τ_2 (хв.) і концентрацію оксиметилфурфуролу C_2 (мг/кг) можна описати наступними рівняннями: $\tau_2 = \tau - \tau_1 = \tau - 2,37(139 - t)$, $C_2 = K_2 [\tau - 2,37(139 - t)]$, де K_2 – константа швидкості другої стадії і її можна обчислити: $K_2 = 2,43 \cdot 10^{12} \exp[(-22,3 \cdot 10^3) / RT]$. Таким чином, концентрацію оксиметилфурфуролу у

томатній пасті у широкому діапазоні температур можна обчислити за приблизним рівнянням: $C = K_1\tau + K_2[\tau - 2,37(139 - t)]$, при цьому, якщо $\tau \leq 2,37(139 - t)$, другий член у правій частині рівняння вилучають, а якщо $\tau > 2,37(139 - t)$, то τ для першого члену рівняння у правій частині рівняння обчислюють за формулою (1). Для температури, яку звичайно використовують при стерилізації, концентрація оксиметилфурфурола мала, τ обчислюють з рівняння першого порядку: $\lg C = K' / 2,303\tau$, де $K' = 2,20 \cdot 10^9 \exp[(-91,1 \cdot 10^3) / RT]$.

Стерилізацію банок здійснюють у стерилізаторах безперервної і періодичної дії (автоклавах) з метою пригнічення та знищення мікроорганізмів, забезпечення стабільності консервів при зберіганні і ін. На складі готової продукції контролюють режими зберігання – температуру і відносну вологість повітря, якість підготовки консервів до відгрузки – наявність етикетування і відповідного пакування [18–21], відсутність деформованих та заржавлених банок і їх санітарний стан. Основною умовою виробництва високоякісних консервів є постадійний контроль технохімічний і бактеріологічний переробки сировини у продукт.

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Відповідно з проведеними дослідженнями можна відзначити, що комплексна переробка плодоовочевої сировини і цільове науково-обґрунтоване використання побічних продуктів є складним технологічним процесом для галузі виробництва. Більшість існуючих технологічних схем виробництва має напрямки підвищення

ефективності їх роботи за рахунок використання сучасного обладнання. При цьому студенти повинні мати навички використання методів обробки сировини виробництва з метою отримання цільових і побічних продуктів та вміти визначити та обрати раціональні умови для проведення за потребою фізико-хімічних, біохімічних та мікробіологічних процеси, що перетворюють сировину в типові харчові продукти. Такі умови дозволяють набувати студентам навичок компетентних спеціалістів в питаннях виробництва харчових продуктів із сировини рослинного походження.

На підставі виконаного дослідження та аналізу з метою визначення можливостей підвищення енергоефективності комплексних систем виробництва плодоовочевої сировини можна визначити проблеми комплексної переробки томатної сировини пов'язані з необхідністю отримання конкурентоспроможних продуктів на основі інноваційних технологій їх виробництва, заснованих на використанні фізичних, механічних, фізико-хімічних, біологічних і технологічних прийомів, наприклад, технології комплексної переробки томатів для отримання сухих і в'ялених томатів, сухих томатних порошоків. Системи центрифугування-випарювання у виробництві томат-продуктів надають можливість отримання висококонцентрованих соків, при цьому менш енергоємним стає отримання порошкоподібної консистенції, що досягається за рахунок використання висококонцентрованого фугату.

Представлені матеріали мають статус інтелектуальної власності для навчання студентів, це складові комплексних інноваційних проєктів [13–21].

Список літератури

1. Sun, T. Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors / T. Sun, P.W. Simon, S.A. Tanumihardjo // J. Agr. and Food Chem. 2009. 57, № 10, – pp. 4142–4147.
2. Djuric, Z. Antioxidant capacity of lycopene-containing foods / Z. Djuric, P.C. LaKesha // Int. J. Food Sci. and Nutr. 2001. – 52, № 26 – pp. 143–149.
3. Leonardi, C. Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes J. Agr. and Food Chem. 2000. – 48, № 10, – pp. 4723–4727.
4. Борисова А.В., Макарова Н.В. Экспериментальное определение физико-химических и антиоксидантных показателей четырех видов овощей. Техника и технология пищевых производств. 2012. № 2, с. 1–6.
5. Патент РФ № 2130049. МПК С 11 В 1/10. Способ переработки семян томатов и томатных выжимок. Калманович С.А., Мартовщук В.И., Вершинина О.Л. и др. Заявка № 97108301/13, 20.05.1997.
6. Hartal D. Lycopene: a bioactive carotenoid and its use in foods // The Intern. Review of food Science and Technology. 2006. – pp. 75–78.
7. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладі та тести) [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2018, 108 с.
8. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладі та тести з технології крохмалю) [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
9. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (комплексні системи – монографія) [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2020, 108 с.
10. Лакіза О.В., Сухий К.М., Бухкало С.І., Іщенко М.В., Іщенко К.Ю., Демченко В.Г. Композиція для виготовлення булочних виробів з гарбузовим шротом. Патент України № 142181. 25.05.2020. – №10.
11. Бухкало С.І. Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів. Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП», 2019. – № 21(1346). – С. 84–93.
12. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
13. Бухкало С.І. Спосіб концентрування спиртової барди. Патент на корисну модель 40625, Україна. 2009.
14. Говоров П.П., Бухкало С.І., Кіндінова А.К., Говорова К.В. Енергоефективна система знезараження води на основі світлодіодних джерел світла. Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП», 2020. – № 5(1359). С. 19–25.
15. Бухкало С.І. Ігліні С.П., Ольховська В.О. Аналіз реологічних властивостей різновидів майонезу. Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП», 2020. № 5(1359). С. 63–70.

16. Бухкало С.І. Визначення прикладів технологій дослідження у наукових роботах студентів. III міжн. конф. студентів та аспірантів «Сучасні технології харчових виробництв», 14–15 2020, Дніпро, Д.,: Ліра, ДНУ ім. Олеса Гончара, с. 42–46.
17. Бухкало С.І. Агейчева А.О., Агейчева О.О., Бабаш Л.В., Пшичкіна Н.Г. Методичні аспекти реформування дистанційного навчання в системі вищої освіти. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ», 2020. № 5(1359). С. 3–10.
18. Kapustenko P., Klemes J.J., Arsenyeva O., Bukhkalov S., Fedorenko O., Kusakov S. The Utilisation of Waste Heat from Exhaust Gases after Drying Process in Plate Heat Exchanger. Chemical Engineering Transactions, 81, 589–594.
19. Bilous O., Sytnik N., Bukhkalov S., Glukhykh V., Sabadosh G., Natarov V., Yarmysh N., Zakharkiv S., Kravchenko T., & Mazaeva V. Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, (2019), 6(11(102)), 66–73.
20. Бухкало С.І. Синергетичні моделі для екологічнобезпечних процесів ідентифікації-класифікації вторинних полімерів. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – № 18(1294). – С. 36–44.
21. Bukhkalov S.I., Klemes J.J., Tovazhnyanskyy, L.L., Kapustenko, P.O., Arsenyeva, O.P., & Perevertaylenko, O.Yu. 2018. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical engineering transactions, 70, 2018, 2047–2052.
8. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii kromalju) [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoї literatury»: 2019, 108 p.
9. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (kompleksni sistemi – monografija) [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoї literatury»: 2020, 108 p.
10. Lakiza O.V., Suhij K.M., Bukhkalov S.I., Ishhenko M.V., Ishhenko K.Ju., Demchenko V.G. Kompozicija dlja vigotovlennja bulochnih virobiv z garbuzovim shrotom. Patent Ukraini № 142181. 25.05.2020. – №10.
11. Bukhkalov S.I. Mozhlivosti rozvitku tehnologij modifikovanih kromaliv. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346), – pp. 84–93.
12. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
13. Bukhkalov S.I. Sposib koncentruvannja spirtovoї bardi. Patent na korisnu model' 40625, Ukraina. 2009.
14. Govorov P.P., Bukhkalov S.I., Kindinova A.K., Govorova K.V. Energoefektivna sistema znezrazhennja vodi na osnovi svitlodiodnih dzherel svitla. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – № 5(1359), – pp. 19–25.
15. Bukhkalov S.I. Iglin S.P., Ol'hov'ska V.O. Analiz reologichnih vlastivostej riznovidiv majonezu. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2020. № 5(1359), – pp. 63–70.
16. Bukhkalov S.I. Viznachennja prikladiv tehnologij doslidzhennja u naukovih robotah studentiv. III mizhn. konf. studentiv ta aspirantiv «Suchasni tehnologii harchovih virobnihtv», 14–15 2020, Dnipro, D.,: Lira, DNU im. Olesja Gonchara, – pp. 42–46.
17. Bukhkalov S.I. Agejcheva A.O., Agejcheva O.O., Babash L.V., Pshichkina N.G. Metodichni aspekti reformuvannja distancijnogo navchannja v sistemi vishhoї osviti. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2020. № 5, – pp. 3–10.
18. Kapustenko P., Klemes J.J., Arsenyeva O., Bukhkalov S., Fedorenko O., Kusakov S. The Utilisation of Waste Heat from Exhaust Gases after Drying Process in Plate Heat Exchanger. Chemical Engineering Transactions, 81, 589–594.
19. Bilous O., Sytnik N., Bukhkalov S., Glukhykh V., Sabadosh G., Natarov V., Yarmysh N., Zakharkiv S., Kravchenko T., & Mazaeva V. Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, (2019), 6(11(102)), 66–73.
20. Bukhkalov S.I. Sinergetichni modeli dlja ekologichnobezpechnih procesiv identifikacij-klasifikacij vtorinnih polimeriv. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2018. – № 18(1294), – pp. 36–44.
21. Bukhkalov S.I., Klemes J.J., Tovazhnyanskyy, L.L., Kapustenko, P.O., Arsenyeva, O.P., & Perevertaylenko, O.Yu. 2018. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical engineering transactions, 70, 2018, 2047–2052.

Bibliography (transliterated)

1. Sun, T. Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors / T. Sun, P.W. Simon, S.A. Tanumihardjo // J. Agr. and Food Chem. 2009. 57, № 10, – pp. 4142–4147.
2. Djuric, Z. Antioxidant capacity of lycopene-containing foods / Z. Djuric, P.C. LaKesha // Int. J. Food Sci. and Nutr. 2001. – 52, № 26 – pp. 143–149.
3. Leonardi, C. Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes J. Agr. and Food Chem. 2000. – 48, № 10, – pp. 4723–4727.
4. Borisova A.V., Makarova N.V. Jeksperimental'noe opredelenie fiziko-himicheskikh i antioksidantnyh pokazatelej chetyreh vidov ovoshhej. Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv. 2012. № 2, c. 1–6.
5. Patent RF № 2130049. MPK C 11 B 1/10. Sposob pererabotki semjan tomatov i tomatnyh vyzhimok. Kalmanovich S.A., Martovshhuk V.I., Vershinina O.L. i dr. Zajavka № 97108301/13, 20.05.1997.
6. Hartal D. Lycopene: a bioactive carotenoid and its use in foods // The Intern. Review of food Science and Technology. 2006. – pp. 75–78.
7. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi) [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoї literatury»: 2018, 108 p.
8. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii kromalju) [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoї literatury»: 2019, 108 p.
9. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (kompleksni sistemi – monografija) [tekst] pidruchnik z grifom MON. Kiiv «Centr uchbovoї literatury»: 2020, 108 p.
10. Lakiza O.V., Suhij K.M., Bukhkalov S.I., Ishhenko M.V., Ishhenko K.Ju., Demchenko V.G. Kompozicija dlja vigotovlennja bulochnih virobiv z garbuzovim shrotom. Patent Ukraini № 142181. 25.05.2020. – №10.
11. Bukhkalov S.I. Mozhlivosti rozvitku tehnologij modifikovanih kromaliv. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 21(1346), – pp. 84–93.
12. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
13. Bukhkalov S.I. Sposib koncentruvannja spirtovoї bardi. Patent na korisnu model' 40625, Ukraina. 2009.
14. Govorov P.P., Bukhkalov S.I., Kindinova A.K., Govorova K.V. Energoefektivna sistema znezrazhennja vodi na osnovi svitlodiodnih dzherel svitla. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – № 5(1359), – pp. 19–25.
15. Bukhkalov S.I. Iglin S.P., Ol'hov'ska V.O. Analiz reologichnih vlastivostej riznovidiv majonezu. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2020. № 5(1359), – pp. 63–70.
16. Bukhkalov S.I. Viznachennja prikladiv tehnologij doslidzhennja u naukovih robotah studentiv. III mizhn. konf. studentiv ta aspirantiv «Suchasni tehnologii harchovih virobnihtv», 14–15 2020, Dnipro, D.,: Lira, DNU im. Olesja Gonchara, – pp. 42–46.
17. Bukhkalov S.I. Agejcheva A.O., Agejcheva O.O., Babash L.V., Pshichkina N.G. Metodichni aspekti reformuvannja distancijnogo navchannja v sistemi vishhoї osviti. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2020. № 5, – pp. 3–10.
18. Kapustenko P., Klemes J.J., Arsenyeva O., Bukhkalov S., Fedorenko O., Kusakov S. The Utilisation of Waste Heat from Exhaust Gases after Drying Process in Plate Heat Exchanger. Chemical Engineering Transactions, 81, 589–594.
19. Bilous O., Sytnik N., Bukhkalov S., Glukhykh V., Sabadosh G., Natarov V., Yarmysh N., Zakharkiv S., Kravchenko T., & Mazaeva V. Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, (2019), 6(11(102)), 66–73.
20. Bukhkalov S.I. Sinergetichni modeli dlja ekologichnobezpechnih procesiv identifikacij-klasifikacij vtorinnih polimeriv. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2018. – № 18(1294), – pp. 36–44.
21. Bukhkalov S.I., Klemes J.J., Tovazhnyanskyy, L.L., Kapustenko, P.O., Arsenyeva, O.P., & Perevertaylenko, O.Yu. 2018. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical engineering transactions, 70, 2018, 2047–2052.

Надійшла (received) 19.09.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhkalov 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

Ольховська Вікторія Олегівна (Ольховская Виктория Олеговна, Olkhovska Victoria Olegovna) – студентка 2 курсу ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

Н. М. НИМЕЦЬ, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, Н. С. ЦАПКО**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ДЕЯКИХ МОДЕЛЕЙ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СУПУТНЬО-ПЛАСТОВИХ ВОД НАФТОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ**

У матеріалах статті розглянуті можливості визначення моделей екологічно-безпечних процесів дослідження супутньо-пластових вод нафтоконденсатних родовищ. Розробки проведені з метою вибору сучасних високоефективних науково-обґрунтованих комплексних технологій галузі: 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 створення екологічно-безпечних технологій розглядається у вигляді складних комплексних процесів, їх досліджень, аналізу енерго- і ресурсозберігаючих складових. Проаналізовано умови застосування властивостей моделей та їх параметри, сформовано рекомендації для вибору моделі конкретного середовища.

Ключові слова: екологічно-безпечні моделі; комплексні технології галузі; специфічні особливості виробництва.

Н. Н. НЕМЕЦЬ, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, Н. С. ЦАПКО**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СОПУТСТВУЮЩИХ ПЛАСТОВЫХ ВОД НАФТОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

В материалах статьи рассмотрены возможности определения моделей экологически безопасных процессов исследования сопутствующих пластовых вод нефтеконденсатных месторождений. Разработки проведены с целью выбора современных высокoeffективных научно обоснованных комплексных технологий отрасли: 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, основанных на экспериментальных данных разработки механизмов процессов и их научного обоснования в виде объектов технологии. Проблемы создания экологически безопасных технологий рассматриваются в виде сложных комплексных процессов, их исследований, анализа энерго- и ресурсосберегающих составляющих. Проанализированы условия применения свойств моделей и их параметры, сформированы рекомендации для выбора модели для конкретной среды нефтеконденсатных месторождений.

Ключевые слова: экологически безопасные модели; комплексные технологии отрасли; специфические особенности производства.

N. NIMETS, T. V. BRUSENTSEVA, N. TSAPKO**COMPREHENSIVE ANALYSIS SOME MODELS ENVIRONMENTAL SAFETY OF RELATED FOUNDATION WATERS OIL-AND-GAS CONDENSATE FIELDS**

The materials presented of complex analysis innovative development is devoted to improving the environmental safety of the return of oilfield produced water to the bowels of oil-and-gas fields. 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. The subject of the study is the environmentally friendly return of oilfield produced water to the bowels with the release of iron hydroxide and the extraction of iodine.

Ключевые слова: models environmental safety; complex industry technologies; specific features of production.

Вступ. Підвищенню екологічної безпеки процесу повернення супутньо-пластових вод у надра нафтогазоконденсатних родовищ з видаленням сполук заліза й вилученням йоду озонуванням – актуальна задача визначення алгоритму взаємодії складових роботи газоконденсатних родовищ. Об'єктом дослідження є екологічно небезпечний процес повернення супутньо-пластових вод в надра. Предмет дослідження полягає у встановленні комплексних закономірностей процесу повернення супутньо-пластових вод у надра та підвищення його

екологічної безпеки [1–5, 10–12].

З метою встановлення комплексних закономірностей процесу повернення супутньо-пластових вод у надра автором проведено експериментальний аналіз компонентного хімічного складу супутньо-пластових вод ряду вітчизняних родовищ. Дослідження, перш за все, були направлені на вибір складових наукового обґрунтування за показниками зменшення часу осадження завислих речовин за рахунок утворення при озонуванні

© Німець Н.М., Брусенцева Т.В., Цапко Н.С., 2020

гідроксиду заліза (III), їх сумісності з пластовими водами поглинаючого пласта, що далі було оцінено за критеріями підвищення екологічної безпеки при поверненні у надра.

Попередні дослідження були направлені на експериментальне визначення концентрацій йодид-іонів у супутньо-пластовій воді (СПВ) різних вітчизняних нафтогазоконденсатних родовищ. Загальним критерієм визначення у водах обраних родовищ визначена концентрація йодид-іонів більше 20 мг/дм³, яка є достатньою, для промислового виробництва йоду. Автором встановлені приклади вітчизняних родовищ, які можуть бути сировинною базою для отримання йоду. Вміст йодид-іонів деяких родовищ, зокрема Горобцівського, Медведівського сягає концентрації 198 мг/дм³, що дає змогу оцінити кількість отримання йоду на рівні ~ 48 т, тільки з одного Медведівського нафтогазоконденсатного родовища.

Загальна характеристика об'єктів моделей дослідження, обладнання і методи аналізу. З метою дослідження використано модельні суміші СПВ, до складу яких входять, мг/дм³: I^- – 10–150, Br^- – 400–800, $NaCl$ – 10000–323000, Fe^{2+} – 0–66. Для забезпечення необхідних концентрацій йодид-іонів використано KI марки х.ч., бромід-іонів – KBr марки х.ч., Fe^{2+} -іонів – $FeSO_4$ марки ч., $NaCl$ марки ч. Для розробки тестових методів було використано наступні реактиви: натрію нітрит, х.ч.; калію йодид, х.ч.; калію йодат, х.ч.; калію бромат, ч.д.а.; флуоресцеїн, ч.д.а.; сульфатна кислота концентрована ($\rho = 1,83$ г/см³), х.ч.; калію гіпохлорит, насичений розчин; натрію форміат, х.ч.; амонію молібдат, х.ч.; метиловий рудий ч.д.а.; крохмаль водорозчинний, х.ч.; кислота борна, насич.

розчин; натрію тиосульфат, $c = 0,1$ моль/дм³; папір фільтрувальний; пінополіуретан (листовий, білого кольору, товщина 1 см).

Для визначення характеристик моделей використано СПВ, які характеризуються за хімічними методами наступним складом:

- Машівського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 10,1$; $[Br^-] = 126$; $[Fe^{2+}] = 34$; мінералізація $M = 123100$; $pH = 5,9$;

- Меліхівського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 49,9$; $[Br^-] = 785$; $[Fe^{2+}] = 46$; $M = 202000$; $pH = 4,8$;

- Юліївського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 50$; $[Br^-] = 800$; $[Cl^-] = 148086$; $[SO_4^{2-}] = 215$; $[HCO_3^-] = 220$; $[Ca^{2+}] = 536$; $[Mg^{2+}] = 4256$; $[Fe^{2+}] = 42$; $[Fe^{3+}]$ – відс.; $M = 253000$;

- Медведівського ГКР складу, мг/дм³: $[I^-] = 150$; $[Br^-] = 1820$; $[Fe^{2+}] = 428$; $M = 320000$; $pH = 5,7$.

Вибір об'єктів моделей дослідження сучасного екологічного стану ґрунтується на засадах [1–12] (табл. 1):

1) підземні води мають різний хімічний склад – вони відносяться до поліінгредієнтних поліютантів, які проявляють високу геохімічну активність і токсичність;

2) до їх складу входять нафтові вуглеводні, солі різних металів і механічні домішки, які під час поглинання ґрунтами, надходячи в ґрунтові води, різко змінюють їх хімічні і фізико-хімічні властивості;

3) показниками вищевказаних властивостей визначено: сольовий склад, лужність, реакцію ґрунтових суспензій, ґрунто-поглинаючий комплекс;

4) показниками їх впливу – порушення водно-повітряного режиму і вуглець-азотного балансу, зміна структуру ґрунту [10–12].

Таблиця 1. Вихідні дані моделей оцінювання сучасного екологічного стану використання супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ

Об'єкти дослідження	Характеристика супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ - Загальна характеристика і хімічний склад супутньо-пластових вод.
Комплексний аналіз об'єктів дослідження	Розповсюдження йоду в водах нафтогазоконденсатних родовищ та оцінювання впливу супутньо-пластових вод на навколишнє середовище, наприклад, іони хлору, кальцію, магнію, натрію, стронцію та ін.
Аналіз технології повернення СПВ у надра	За відомою технологією повернення СПВ у надра відбувається після тривалого відстоювання, що при зростаючому обсязі надходження СПВ зростають ризики забруднення навколишнього середовища рядом небезпечних речовин.
Критерії аналізу екологічної безпеки	Екологічна безпека технології поводження з супутньо-пластовими водами – повернення супутньо-пластових вод в надра
Критерії вибору СПВ-переробки	Екологічна безпека технології отримання йоду з супутньо-пластових вод, виробництво якого в Україні відсутнє.
Різновиди особливостей СПВ-переробки	З бурових вод в інших країнах вилучають йод з використанням екологічно небезпечних хлороводневої і сульфатної кислот, сірки діоксиду з утворенням осадів, які можуть блокувати повернення СПВ у надра і створювати аварійні ситуації.
Особливості СПВ-переробки	Вивчення сумісності СПВ і пластових вод для видалення сполук заліза та вилученні йоду шляхом озонування СПВ.

Розробка тестових методів для експрес-контролю компонентів СПВ.

Як відомо, тестові методи – це прості, портативні, дешеві експресні методики для

встановлення присутності і аналізу речовин без складних підготовки зразків, лабораторного обладнання, обробки результатів та підготовленого спеціально персоналу [10–12].

Як відомо, основна мета тест-методів – це швидка оцінка присутності, напівкількісне та кількісне визначення контрольованих компонентів з використанням відомих хімічних реакцій і селективних, часто фіксованих іммобілізованих, реагентів в умовах та формі, що забезпечують легко візуальний ефект, наприклад забарвлення [12].

Похибка при візуальних оцінках, не зважаючи на суб'єктивність, не більша похибки інструментального визначення, наприклад мініфотометром. Метод колориметрії дозволяє створити рівно контрастну колориметричну шкалу, яку розрізняє око людини. Для цього готують ряд стандартів у геометричній прогресії з кроком 2 чи 3. Якщо не відома концентрація C_x знаходиться між n і $n+1$ членами ряду стандартів, то згідно правил використання колірної шкали: $C_x = (C_n + C_{n+1})/2$, а $\Delta C = (C_n - C_{n+1})/2$. В цьому випадку максимальну відносну похибку оцінюють згідно формули:

$$S_r = \frac{\Delta c}{c_x} = \frac{(c_{n+1} - c_n)}{(c_{n+1} + c_n)}, \quad (1)$$

При постійному зниженні концентрації компонента досягається область, в межах якої може бути як позитивний, так і негативний результат. Цей діапазон концентрацій називають інтервалом ненадійності, довжина якого характеризує аналітичні можливості метода [64]. Нижче цього інтервалу знаходяться концентрації, достовірність реакції для яких близька до 0, вище – концентрації, які визначаються з вірогідністю близькою до 1.

Для порівняння тест-систем використовують не абсолютні величини інтервалу ненадійності, а відносні [10–12]. За відносну ширину інтервалу приймають відношення різниці верхньої і нижньої меж до величини нижньої межі інтервалу ненадійності. Підходи до оцінки нижньої межі C_n з похибкою 33 % висвітлено в [10–12] та зводяться до експериментального визначення стандартного відхилення візуального визначення компонента поблизу нормованої концентрації з заданою довірчою вірогідністю [10–12].

Результати визначення вмісту йодид-іонів в водах тестовим методом і методом окислювально-відновлювального титрування.

Для перевірки правильності тест-методу було проведено аналіз модельних розчинів, що містять йод. Отримані результати були співставлені з даними окислювально-відновлювального титрування. Результати визначення йодид-іонів в модельних розчинах наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати визначення вмісту I^- в модельних розчинах

Зразок	Титрування ($n = 3$)	Тест-метод ($n = 12$)
	$c(I^-)$, мг/дм ³	$c(I^-)$, мг/дм ³
№1	10,02±0,06	10±3
№2	5,04±0,09	5±2

Ці результати добре сходяться між собою, що дозволяє зробити висновок о правильності визначення йодидів за допомогою розробленого тест-методу. Для аналізу були надані зразки СПВ Юліївського НГКР, які були підготовлені згідно методики.

Результати визначення йодид-іонів в зразках СПВ наведено у таблиці 3, свідчить про те, що результати сходяться.

Таблиця 3. Результати визначення вмісту I^- в зразках СПВ

Зразок	Титрування ($n = 3$)	Тест-метод ($n = 12$)
	$c(I^-)$, мг/дм ³	$c(I^-)$, мг/дм ³
№1	16,0±0,08	13±3
№2	7,19±0,09	6±1
№3	7,04±0,15	5±1

Таким чином, розроблено тест-метод для аналітичного контролю йодид-іонів, що значно скорочує час проведення досліджень у порівнянні з гіпохлоритним методом визначення йоду при одночасній присутності бром. Тест-система ефективна при великих надлишках бром. Зазначений метод придатний для визначення йодид-іонів в СПВ і контролю залишкового вмісту йодид-іонів після озонування.

Використання СПВ разом з збільшенням глибини переробки вуглеводнів може знизити капітальні і експлуатаційні витрати на 40 % і 60 %, відповідно, та покращити екологічну безпеку. Ці води підпадають під корисні копалини, використання яких регламентується державними документами: «Класифікація експлуатаційних запасів і прогнозних ресурсів підземних вод», «Інструкція по застосуванню класифікації запасів підземних вод стосовно родовищ промислових вод», «Тимчасові вимоги до вивчення і підрахунку запасів супутніх вод газових, газонафтових родовищ, як джерела мінеральної сировини», затверджених Головною комісією запасів України у 1983р., 1984 р., 1992 р., відповідно.

Найбільш перспективним, на даний час, за вмістом йодид іонів до 198 мг/дм³, за розташуванням на території Харківської області, значним можливим дебітом СПВ (12 м³/доб.) є тільки з св. 63 є Медведівське ГКР. Далі розглянуто та досліджено використання саме СВП цього родовища.

За рахунок представлених досліджень екологічна безпека підвищується як на стадії підготовки при поверненні СПВ у надра за рахунок пришвидшеного озонуванням утворення осаду гідроксиду заліза (III) і впровадження експресних тестових методів, визначення осадоутворюючих компонентів та вдосконалення визначення умов їх сумісності з пластовими водами, так і на стадії одержання йоду за рахунок заміни ряду шкідливих екологічно небезпечних реагентів на озоноповітряну суміш.

Повернення СПВ у надра вважається більш раціональним та екологічно безпечнішим, ніж їх очищення та знешкодження. Разом з тим реалізація переробки є більш привабливішою, але вона не повинна суперечити діючим нормативам, а навпаки має бути економічно вигідною для додаткових інвестицій, кредитів та податкових пільг, як це передбачено Законом України [11].

Повернення супутньо-пластових вод у надра є частиною технологічного процесу видобутку вуглеводнів і направлене на досягнення екологічної безпеки території і гідродинамічної рівноваги у пластах. Досвід повернення СПВ у нафтогазовидобувній галузі свідчить про те, що основні ускладнення при поверненні можуть викликати випадання в осад гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), карбонатів кальцію (CaCO_3) і магнезії (MgCO_3), гідроксиду заліза, що визначається, головним чином, кількісним співвідношенням зазначених компонентів, які містяться в СПВ і водах поглинаючих пластів. Слід зазначити, що випадання в осад карбонатів кальцію і магнезії відбувається у лужному середовищі. Приймальна здатність свердловин, що експлуатують карбонатний колектор, практично не знижується при наявності в СПВ кислій реакції середовища. Величини pH для пластових вод характеризують середовище як кислотне (значення $pH \approx 4,5-6,8$), у якому карбонати в осад не випадають, тому мінімальні показники pH СПВ не повинні бути меншими за характерні для пластових вод значень 4,5–6,8 [10–12].

Хімічний аналіз СПВ газових і нафтогазоконденсатних родовищ під час їх

експлуатації вказує на те, що в їхньому складі відсутній карбонат-іон. Він також відсутній і в пластовій воді поглинаючих пластів. Це значить, що при змішуванні СПВ із пластовими водами поглинаючого пласта, в процесі повернення карбонати кальцію і магнезії не будуть утворюватися. Тому основними утворювачами осадів можуть бути сульфати кальцію, магнезії та гідроксиди заліза. Дослідження сумісності вод необхідно для того, щоб запобігти передчасній колюматції привибійної зони поглинаючого пласта в нагнітальній свердловині та забезпечити її тривалу роботу без помітного зниження приймальності і без нанесення шкоди навколишньому середовищу. Одним із компонентів, який знаходиться у складі пластових вод усіх родовищ України є вільна вуглекислота, концентрація якої коливається від 50 до 700 мг/дм³, і яка обумовлює вказані вище величини pH СПВ нафтогазоконденсатних родовищ України.

Фізико-хімічні властивості СПВ в цілому відповідають властивостям пластових вод продуктивних горизонтів. У процесі видобутку газу або нафти ця вода додатково забруднюється інгібіторами гідратуутворення та корозії, поверхнево-активними речовинами, продуктами корозії обладнання, нафтопродуктами та іншими домішками.

Для оцінки сумісності визначають хімічний склад вод родовища і хімічний склад СПВ.

Хімічний склад супутньо-пластових вод, розглянемо на прикладі СПВ Медведівського газоконденсатного родовища свердловини №63 (таблиця 4).

Таблиця 4. Фізико-хімічний склад супутньо-пластових вод св.63 Медведівського родовища

Аніон	Концентрація			Катіон	Концентрація		
	мг/дм ³	мг-екв/дм ³	% екв.		мг/дм ³	мг-екв/дм ³	% екв.
HCO_3^-	817,4	13,4	0,12	Ca^{2+}	44488,8	2220,0	20,64
CO_3^{2-}	відс.	-	-	Mg^{2+}	4920,0	410,0	3,82
Cl^-	189925,0	5350,0	49,76	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	63153,4	2745,8	25,54
SO_4^{2-}	595,2	12,4	0,12	Сума	112562,2	5375,8	50,0
Сума	191337,6	5375,8	50,0				
I^-	173,3			Fe^{2+}	396		
Br^-	1482,6			Fe^{3+}	63,5		
H_2S	відс.			CO_2	118		

Таблиця 5. Фізико-хімічний склад пластових вод поглинаючого горизонту на глибині 1181-1179 м

Густина, г/см ³	pH	Хімічний склад, мг/дм ³							
		Мінералізація, мг/дм ³	аніони				катіони		
			Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1,047	6,3	166434,4	101805,6	59,7	305,00	відс.	59276,5	3406,8	1580,8

*Сірководень (H_2S) – відсутній

Загальна мінералізація цієї води складає 303899,0 мг/дм³, густина 1,226 г/см³, величина pH 5,5, зважені речовини 315 мг/дм³.

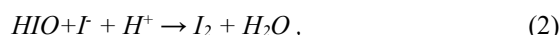
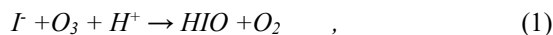
Для порівняння хімічний склад пластових вод поглинаючого горизонту приведено на прикладі тріасового горизонту Кобзівського родовища, де

обладнано пункт повернення СПВ в тому числі і тих, що надходять з Медведівського газоконденсатного родовища свердловини №63 (таблиця 5). Відповідно до хімічних аналізів мінералізація вод (табл. 4 і 5), дозволяє віднести їх до мінералізованих вод. Водневий показник pH характерний для

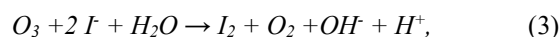
мінералізованих вод слабкокислої реакції середовища. Вірогідність активних хімічних процесів у такому водному середовищі зведені до мінімуму.

Для того, щоб вияснити можливі екологічні наслідки від вилучення йоду з СПВ озонуванням необхідно знати ті комплексні умови технологічного процесу, за яких йодид-іони перетворюються у йод та яка кількість озону, як екологічно небезпечної речовини, може поступати в навколишнє середовище (табл. 6).

При взаємодії озону з йодид-іонами у кислотному середовищі протікають реакції [102]:



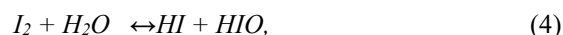
Крім того, якщо врахувати присутність води, то реакцію озонування йодид-іонів можна записати у вигляді:



При цьому змінюється величина pH , що зумовлено тим що, під час перебігу реакції появляється гідроксильний іон і середовище повинно залужуватись.

Це підтверджується залежністю ступеня утворення йоду від величини pH (рис. 1), з якої видно, що при зростанні величини pH ступінь утворення досягає максимуму, а потім знижується при наближенні до нейтрального середовища.

У нейтральному і лужному середовищі в результаті гідролізу йоду може відбуватися перетворення йоду у йодид-іон з паралельним утворенням йодної і йодноватистої кислоти:



Тому за існуючими способами [30] вилучення йоду з використанням хлороводневої чи сульфатної кислот, хлору чи натрію гіпохлориту підтримують сильно кисле середовище – $pH \approx 12$ та не допускають утворення нейтральних чи лужних середовищ.

Таблиця 6. Вихідні дані моделей одержання йоду з супутньо-пластових вод методом озонування

Показник	Комплексна характеристика аналізу процесів вилучення йоду при обробці СПВ озоном
Об'єкти дослідження	Супутньо-пластові води нафтогазоконденсатних родовищ за попереднім аналізом на відповідність нормативно-технічній документації.
Комплексний хімічний аналіз вилучення йоду при обробці озоном	Визначення мольно-іонного співвідношення між реагентами процесу; концентрації йодид-іонів, бромід-іонів, іонів заліза у СПВ; ступеню мінералізації, та ін.
Комплексний технологічний аналіз процесів вилучення йоду при обробці СПВ озоном	Визначення часу обробки СПВ озоном; відповідність за кислотністю середовища; екологічна безпека технології поводження з супутньо-пластовими водами
Комплексний кінетичний аналіз процесів вилучення йоду при обробці СПВ озоном	Визначення поверхні контакту між гетерогенними фазами; швидкість реакції та ін.
Критерії вибору СПВ-переробки	Екологічна безпека технології отримання йоду з супутньо-пластових вод, виробництво якого в Україні відсутнє.

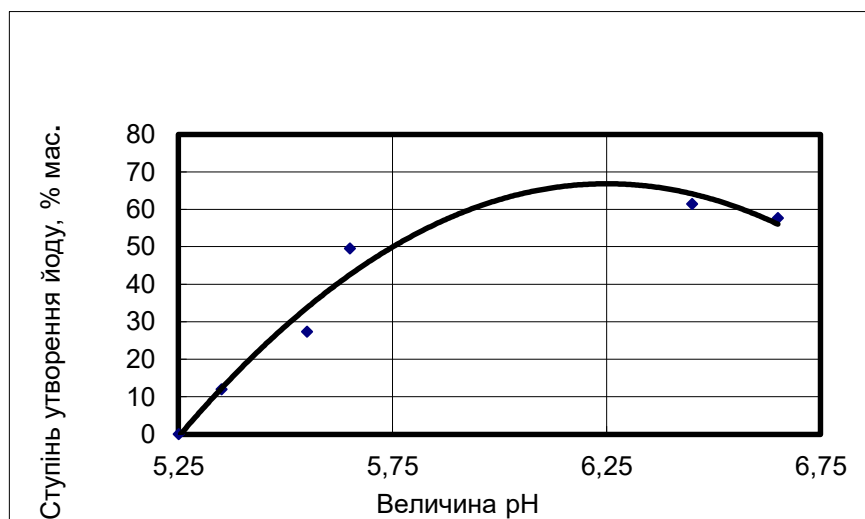


Рис. 1. Залежність між змінами величини pH і ступенем утворення йоду при озонуванні мінералізованої води: $[I^-] = 50 \text{ мг/дм}^3$, $M = 200 \text{ г/дм}^3$

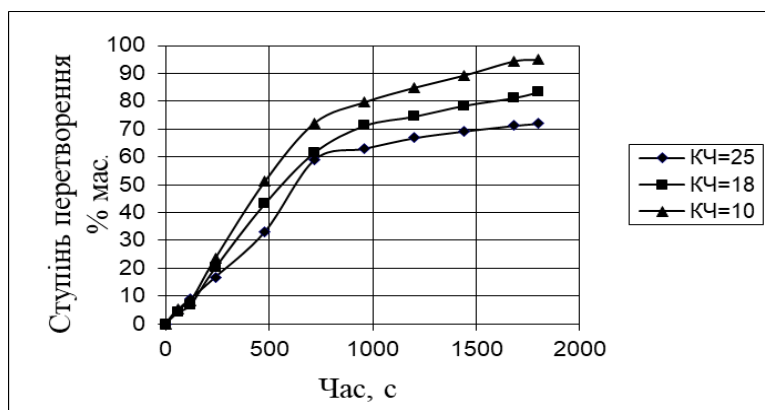


Рис. 2. Зміни ступеня перетворення йодид-іонів від часу і кислотності при співвідношенні озон: I^- 1:1.

Одержані експериментальні результати (рис. 2) свідчать про те, що з збільшенням часу обробки води озонופовітряною сумішшю і змінах кислотності середовища у бік до нейтрального, ступінь перетворення йодид-іонів збільшується. При цьому збільшення часу обробки впливає на ступінь перетворення йоду більше, ніж зміни кислотності (рис. 2). Дослідженнями встановлено, що у більшості залежності змін ступеня утворення йоду характеризується екстремумами, які змінюються при змінах часу озонування, кислотності, мінералізації, концентрації іонів. Встановлено, що ступінь утворення йоду збільшується зі збільшенням мінералізації та поверхні контакту між гетерогенними фазами.

Теоретично передбачено і експериментально визначено, що величина константи швидкості реакцію озонування I^- більше $7 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1}$, а тому її можна віднести до миттєвих реакцій, а технологічний процес не залежить від температури і часу перебігу реакції та визначається дифузійною озоном. Доведено, що під час озонування частина утвореного йоду видаляється з зони реакції газоповітряним потоком.

Встановлено, що ступінь утворення йоду з води Медведівського ГКР за рахунок високої мінералізації лінійно залежить від мольно-іонного відношення реагентів і досягає максимального 100 % значення при МІВ 1,4. При проведенні досліджень встановлено, що процес одержання йоду з супутньо-пластових вод за запропонованою технологією надає можливість підвищення порівняно з відомими технологіями екологічної безпеки за рахунок заміни низькоконцентрованою озонופовітряною сумішшю таких небезпечних речовин, як хлороводнева, сульфатна кислоти, хлор, сірки діоксид, гіпохлорит і натрію гідроксид.

Технологічний процес отримання продукту у вигляді кристалічного йоду, наприклад, можна вдосконалити за рахунок заміни сульфатної кислоти підігрітої вище 100°C на вуглеводні і застосування способу низькотемпературної кристалізації.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Треба відзначити, що шляхом дослідження сумісності супутньо-пластових

вод і вод поглинаючого пласта при різних співвідношеннях і концентраціях встановлено, що у ряді вибраних родовищ повернення цих вод у надра не спричинятиме випадіння осадів сульфатів і карбонатів, що забезпечує безпечні умови повернення, знижує ризик виникнення аварійних ситуацій, потрапляння супутньо-пластових вод у навколишнє середовище і таким чином сприяє підвищенню екологічної безпеки.

Для оперативного визначення сумісності запропоновано використовувати залежності між концентраціями іонів і співвідношенням супутньо-пластові води та води поглинаючого пласта. Розроблено тест-методи оцінки концентрацій йодид-іонів та іонів заліза з використанням іммобілізованого пінополіуретану та тест-метод визначення концентрації сульфат-іонів в порівнянні з нормованими концентраціями, що забезпечують більш швидкий контроль якості вод і підвищують екологічну безпеку при поверненні озонованих супутньо-пластових вод у надра, за рахунок зниження ризику виникнення аварійних ситуацій.

Виконано аналіз технології повернення СПВ, зіставлено експериментальні і розрахункові величини ступеня утворення йоду, експериментально доведено, що реакція озонування йодид-іону належить до миттєвих, оцінено вплив іонів бромиду на вилучення йоду. Одержані результати щодо утворення йоду озонуванням СПВ, що містять йодид-іони, науково обґрунтовують можливість створення ефективної більш екологічно безпечної технології отримання йоду в порівнянні з відомими. Ці фактори стимулюють розвинення досліджень з метою розробки сучасної великотоннажної технології й впровадження її на Україні [13–16].

Список літератури

1. Воронов А.Н., Тудвачев А.В. Извлечение промышленных компонентов из попутных нефтяных вод. // arkad@av3011.spb.edu, tudvachev@dhs.spb.ru. 2014.
2. Басков Е.А., Суриков С.Н. / Гидротермы Земли. –Л.: Недра, 1989. 245 с.
3. Ксензенко В.И., Стасиневич Д.С. // Химия и технология брома, йода и их соединений. М.: Химия, 1995, 300 с.

4. Кiekлаев М.А. Способ извлечения йода / М.А. Кiekлаев, П.А. Пономарева, Э.В. Строева // Авт. свид. 1161459, С 01 В 7/14, оп. 15.06.85, БИ 22. yandex.ua/images.
5. Власов Г.А. Способ извлечения йода из буровых вод / Г.А.Власов, Н.Д. Бушина, Г.И.Буравцева, Л.В. Мухаметшина // RU 2186721. C01B7/14. публ.2002.freepatent.ru>patents/2186721.
6. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. / Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1990, с. 262–269.
7. J. Beltran-Heredia, J. Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
8. Pillar E.A., Guzman M.J., Rodriguez J.M. Conversion of iodide to hypoiodous acid and iodine in aqueous microdroplets exposed to ozone // J. environmental sci. and techn. 2013. V.47, pp. 10971–10979.
9. Худошин А.Г. Реакции озона с модельными соединениями лигнина в восходящем двухфазном потоке // А.Г. Худошин, А.Н. Митрофанова, В.В. Лунин. МГУ им. М.В. Ломоносова / khudoshin.files.mordpress.com>2014/12.
10. Немец Н.Н. О превращении йодид-ионов попутно-пластовых вод газоконденсатных месторождений в йод под воздействием озона. Вісник НТУ «ХПІ». Харків, 2016. №16 (1191), с. 14–18.
11. Німець Н.М., Мельник А.П., Подустов М.О. Екологічна безпека супутньо-пластових вод і одержання йоду. Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – Х., 2016. Вип.45, с. 159–168.
12. Німець Н.Н., Брусенцева Т.В., Німець О.Д. Підвищення екологічної безпеки видобування вуглеводнів шляхом вивчення сумісності супутньо-пластових вод при поверненні в надра. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ», 2019. №15 (1340), с. 42–50.
13. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах: Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
14. Товажнянский 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.
15. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.
16. Товажнянский Л.Л., Кошелева М.К., Бухкало С.І. Общая химическая технология в примерах, задачах, лабораторных работах и тестах (учебное пособие) / Москва ИНФРА-М, 2015. С. 447.
2. Baskov E.A., Surikov S.N. / Gidrotermy Zemli. – L.: Nedra, 1989. 245 p.
3. Ksenzenko V.I., Stasinevich D.S. // Himija i tehnologija broma, joda i ih soedinenij. M.: Himija, 1995, 300 c.
4. Kieklaev M. A. Sposob izvlechenija joda / M.A. Kieklaev, P.A. Ponomareva, Je.V. Stroeve // Avt. svid. 1161459, C 01 B 7/14, op. 15.06.85, BI 22. yandex.ua/images.
5. Vlasov G.A. Sposob izvlechenija joda iz burovih vod / G.A.Vlasov, N.D. Bushina, G.I.Buravceva, L.V. Muhametshina // RU 2186721. C01B7/14. публ.2002.freepatent.ru>patents/2186721.
6. Reznikov A.A., Mulikovskaja E.P., Sokolov I.Ju. / Metody analiza prirodnih vod. M.: Nedra, 1990, c. 262–269.
7. J.Beltran-Heredia, J.Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
8. Pillar E.A., Guzman M.J., Rodriguez J.M. Conversion of iodide to hypoiodous acid and iodine in aqueous microdroplets exposed to ozone//J. environmental sci. and techn. 2013. V.47, pp. 10971–10979.
9. Hudoshin A.G. Reakcii ozona s model'nymi soedinenijami lignina v voshodjashhem dvufaznom potoke // A.G. Hudoshin, A.N. Mitrofanova, V.V. Lunin. MGU im. M.V. Lomonosova / khudoshin.files.mordpress.com>2014/12.
10. Nemec N.N. O prevrashhenii jodid-ionov poputno-plastovyh vod gazokondensatnyh mestorozhdenij v jod pod vozdejstviem ozona. Visnik NTU «HPI». Harkiv, 2016. №16 (1191), pp. 14–18.
11. Nimec' N. M., Mel'nik A.P., Podustov M.O. Ekologichna bezpeka suputn'o-plastovyh vod i oderzhannja jodu. Visnik HNU im. V.N. Karazina. Serija «Geologija. Geografija. Ekologija». – Harkiv, 2016. Vip.45, c. 159–168.
12. Nimec' N.N., Brusenceva T.V., Nimec' O.D. Pidvishennja ekologichnoї bezpeki vidobuvannja vuglevodniv shljahom vivchennja sumisnosti suputn'o-plastovyh vod pri povernenni v nadra. Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI», 2019. №15 (1340), pp. 42–50.
13. Tovazhnyanskij L.L., Bukhkalov S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. 832 p.
14. Tovazhnyanskij L.L., Bukhkalov S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. 352 p.
15. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 456 p.
16. Tovazhnyanskij L.L., Kosheleva M.K., Bukhkalov S.I. [Obschaya khimicheskaya tehnologija v primerah, Zadachah, Laboratornih rabotah i tekstah (uchebnoe posobie)] General Chemical Engineering in the examples, problems, laboratory work and testing (manual). Moskov INFRA-M, 2015. 447 p.

References (transliterated)

1. Voronov A.N., Tudvachev A.V. Izvlechenie promyshlennyh komponentov iz poputnyh nefjanyh vod. // arkad@av3011.spb.edu, tudvachev@dhspp.ru. 2014.

Надійшла (received) 19.10.20

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Німець Наталія Миколаївна (Немец Наталья Николаевна, Nimets Natalia) – кандидат технічних наук, начальник відділу, філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна; e-mail: ecolog.2601@gmail.com

Брусенцева Тетяна Володимирівна (Брусенцева Татьяна Владимировна, Brusentseva Tatiana Volodumirovna) – начальник сектору, філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна; e-mail: tattjana@ukr.net

Цапко Наталія Сергіївна (Цапко Наталья Сергеевна, Tsapko Nataliia) – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків, Україна; e-mail: tsapko@niiep.kharkov.ua

*О. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР***ВИКОРИСТАННЯ ТЕНЗОРІВ ПРИ АНАЛІЗІ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДИХ ТІЛ**

У статті наводяться основні відомості про тензори, розглядаються властивості тензорів другого рангу, приклади тензорних фізичних величин, а також приклад розв'язання задачі по тензорній тематикі. В останні десятиліття методи векторного і тензорного аналізу активно використовуються при викладанні курсу фізики твердого тіла, при аналізі особливостей фізичних властивостей твердих тіл, а також при описі анізотропії їх фізичних властивостей. Відомо, що фізичні властивості твердих тіл описуються скалярними, векторними або тензорними величинами. У кристалі, наприклад, вектори впливу і явища в загальному випадку не збігаються за напрямком, а зв'язок між цими векторами тісно пов'язана з симетрією кристала і анізотропією фізичного властивості. Зв'язок між явищем (ефектом), впливом і фізичним властивістю визначається символічною формулою: явище = фізична властивість $\times$ вплив. При кількісному описі фізичного властивості важливу роль відіграє вибір орієнтації осей системи координат. Перехід від однієї системи координат до іншої призводить до змін кількісних характеристик кристала, і ці зміни описуються за допомогою тензорів.

Ключові слова: фізика твердого тіла, тензор, векторний аналіз, тензорний аналіз, симетрія кристала, система координат, анізотропне середовище, електропровідність, електричне поле, система рівнянь.

*О. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕНЗОРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

В статье приводятся основные сведения о тензорах, рассматриваются свойства тензоров второго ранга, примеры тензорных физических величин, а также пример решения задачи по тензорной тематике. В последние десятилетия методы векторного и тензорного анализа активно используются при изложении курса физики твердого тела, при анализе особенностей физических свойств твердых тел, а также при описании анизотропии их физических свойств. Известно, что физические свойства твердых тел описываются скалярными, векторными или тензорными величинами. В кристалле, например, векторы воздействия и явления в общем случае не совпадают по направлению, а связь между этими векторами тесно связана с симметрией кристалла и анизотропией физического свойства. Связь между явлением (эффектом), воздействием и физическим свойством определяется символической формулой: явление = физическое свойство $\times$ воздействие. При количественном описании физического свойства важную роль играет выбор ориентации осей системы координат. Переход от одной системы координат к другой приводит к изменениям количественных характеристик кристалла, и эти изменения описываются с помощью тензоров.

Ключевые слова: физика твердого тела, тензор, векторный анализ, тензорный анализ, симметрия кристалла, система координат, анизотропная среда, электропроводность, электрическое поле, система уравнений.

*О. П. PRISHCHENKO, T. T. CHERNOGOR***THE USE TENSORS IN THE ANALYSIS FEATURES OF THE PHYSICAL PROPERTIES SOLIDS**

The article provides basic information about tensors, considers the properties of tensors of the second rank, examples of tensor physical quantities, and also an example of solving a problem on tensor topics. In recent decades, the methods of vector and tensor analysis have been actively used in the presentation of a course in solid state physics, in the analysis of the features of the physical properties of solids, and also in the description of the anisotropy of their physical properties. It is known that the physical properties of solids are described by scalar, vector, or tensor quantities. In a crystal, for example, the vectors of action and phenomena in the general case do not coincide in direction, and the connection between these vectors is closely related to the symmetry of the crystal and the anisotropy of the physical property. The connection between a phenomenon (effect), impact and physical property is determined by the symbolic formula: phenomenon = physical property $\times$ impact. In the quantitative description of a physical property, the choice of the orientation of the axes of the coordinate system plays an important role. The transition from one coordinate system to another leads to changes in the quantitative characteristics of the crystal, and these changes are described using tensors.

Keywords: solid state physics, tensor, vector analysis, tensor analysis, crystal symmetry, coordinate system, anisotropic medium, electrical conductivity, electric field, system of equations.

Вступ. В останні десятиліття роль фізики у розвитку сучасної техніки незмірно зросла. Особливе значення придбала така область цієї науки, як фізика твердого тіла, що займається дослідженням матеріалів, які завдяки своїм унікальним властивостям – напівпровідниковим, лазерним, оптичним, п'єзоелектричним, піроелектричним і т. д. – широко використовуються в напівпровідниковій техніці, квантовій електроніці та т. п.

Сучасне приладобудування немислимо без самого широкого використання природних і синтетичних матеріалів, зокрема кристалів. Бурхливо розширюються області використання і застосування фізичних властивостей кристалів сприяють перетворенню сучасної фізики кристалів –

кристалофізики – в самостійну швидко розвивається наукову дисципліну.

Наприклад, кристали корунду і алмазу завдяки виключно високій твердості використовуються в буровій техніці як абразиви; висока теплопровідність алмазу дозволяє використовувати його при виготовленні тепловідводів; графіт завдяки малій твердості застосовують як мастильний матеріал, а також для виготовлення олівців; чудові п'єзоелектричні властивості кварцу і турмаліну знаходять широке застосування в електротехніці і радіотехніці; гранати використовуються в якості елементів швидкодіючих ЕОМ; кристали кальциту і флюориту через особливих оптичних властивостей.

© Prishchenko O.P., T.T. Chernogor T.T., 2020

застосовуються при конструюванні оптичних приладів; слюда мусковіт в минулому заміняла шибки, а в даний час використовується як прекрасний ізоляційний матеріал. Таких прикладів можна навести безліч.

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

Основним завданням фізики твердого тіла є вивчення структури і фізичних властивостей твердих тіл, встановлення залежності цих властивостей від атомної структури речовини, розробка методів отримання та дослідження нових кристалічних матеріалів, що володіють заданими характеристиками. І дуже часто саме кристалографія виявляється тією азбукою, без якої неможливо приступити до вивчення твердого тіла і його властивостей. Особливо важливі знання (хоча б в найзагальніших рисах) найголовніших фізичних властивостей кристалів для геологів, бо багато фізичних властивостей лежить в основі діагностики – розпізнавання мінералів.

Фізичні властивості кристалів визначаються в першу чергу природою хімічних елементів, що входять до їх складу (велику роль відіграє тип хімічного зв'язку).

Крім того, прояв тих чи інших фізичних властивостей пов'язано з геометричним характером структури, тобто, взаємним розташуванням атомів в кристалічній структурі мінералів, а також з недоскональностями структур реальних кристалів, що відображають умови їх утворення.

Залежно від коливань хімічного складу фізичні властивості однієї і той же речовини можуть варіювати в більш-менш широких межах.

Найхарактернішою рисою фізичних властивостей кристалів є їх *анізотропія* (здатність кристалів проявляти різні властивості в різних напрямках) і *симетрія*.

Симетрія всіх фізичних об'єктів, явищ і властивостей може бути проілюстрована геометричними образами, кожен з яких має свою власну симетрію [1–13]. Для їх опису використовуються скалярні, векторні і тензорні величини. Звідси і властивості відповідно поділяються на *скалярні*, *векторні* і *тензорні*.

Скалярними називаються фізичні властивості, величина яких не залежить від напрямку в якому вони визначаються. Далеко не всі фізичні властивості кристалів є скалярними (маса, щільність, питома теплоємність, внутрішня енергія та ін.). При фазовому переході речовини з аморфного стану в кристалічний, величина кожної з цих властивостей змінюється стрибком. За числовим значенням цих величин можна характеризувати речовини, відрізнити їх один від одного, судити про порушення структури. Аналітично скалярні величини задаються одним числом. Скалярна властивість ізотропна, отже, однакова, у всіх точках кристала, незалежно від напрямку і вибору системи координат, а значить, має

максимальну симетрію, геометричним образом, який ілюструє симетрію цієї властивості, буде сфера.

Векторними є найпростіші спрямовані величини, такі як сила і напруженість електричного поля і ін. Векторні властивості виникають в кристалі як анізотропному середовищі при скалярному – ізотропному – впливі на нього, тобто впливі, що не залежить від напрямку.

Наприклад, вектор $\vec{a}$ певної довжини і напрямку, що описує деяку фізичну величину і залишається незмінним у будь-якій системі координат, може бути заданий його проєкціями – компонентами цього вектору a_1, a_2, a_3 – на координатні осі X, Y, Z . Інакше говорять про розкладанні вектору a по базису XYZ . Величина $|\vec{a}| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2}$.

Симетрія векторної властивості відповідає симетрії нерухомого конуса.

Тензорні властивості – це такі за складністю (після векторних) спрямовані фізичні величини, що описуються в деякій системі координат. Якщо одна векторна величина $\vec{b}$ є функцією іншої $\vec{a}$, то в найпростішому випадку вони зв'язані лінійною залежністю: $\vec{b} = s \cdot \vec{a}$.

Тобто в загальному випадку в анізотропних середовищах, наприклад в кристалах, зв'язок між цими векторами ($\vec{a}$ і $\vec{b}$) залежить від їх напрямку.

При цьому кожна компонента вектору $\vec{b}(b_1, b_2, b_3)$ є лінійною функцією кожної компоненти вектору $\vec{a}(a_1, a_2, a_3)$ і може бути виражена системою лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} b_1 = A_{11}a_1 + A_{12}a_2 + A_{13}a_3, \\ b_2 = A_{21}a_1 + A_{22}a_2 + A_{23}a_3, \\ b_3 = A_{31}a_1 + A_{32}a_2 + A_{33}a_3. \end{cases}$$

Дев'ять коефіцієнтів A_{ik} , де $i, k = 1, 2, 3$, виписані для зручності у вигляді квадратної таблиці і укладені в круглі дужки, позначають тензор другого рангу:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix}.$$

А самі коефіцієнти – компоненти цього тензора – являють собою певні фізичні величини в заданій системі координат. Число підрядкових індексів у компонентах тензора відповідає його рангу.

Прикладами фізичних властивостей, описуваних тензором другого рангу (з $9 = 3^2$ компонентами), є питома електропровідність, теплопровідність, діелектрична проникність, магнітна сприйнятливості, термоелектрика та ін. Існують фізичні властивості, які описуються тензорами вищих рангів.

Наприклад, п'єзоелектричний ефект описується тензором третього рангу (з $27 = 3^3$ компонентами),

властивість пружності – тензором четвертого рангу (з $81 = 3^4$ компонентами). Як бачимо, в загальному випадку число компонент тензора, що має ранг n , дорівнює 3^n .

По суті, вектор $\vec{a}$, який визначається трьома значеннями його компонент вздовж координатних осей (a_1, a_2, a_3), являє собою не що інше, як тензор першого рангу, для якого $n=1$, а $3^1 = 3$. Скаляр ж, який визначається одним числом, не залежних від вибору координатних осей, – тензор нульового рангу – $3^0 = 1$.

Таким чином, розподіл фізичних властивостей на скалярні, векторні і тензорні умовно.

Відзначимо, що компоненти тензора можуть мати різні значення в різних системах координат. Однак у зв'язку з тим, що кожен раз ці компоненти в сукупності визначають одну і ту ж фізичну величину, закон перетворення компонент при зміні системи координат повинен бути тісно пов'язаний з природою даної фізичної величини.

Довільність вибору системи координат є експериментально встановленим фактом і відображає однорідність простору. Закони перетворення компонент тензорів рангу від нульового по четвертий включно при перетворенні осей прямокутної декартової системи координат $X_1 X_2 X_3 \rightarrow X'_1 X'_2 X'_3$ представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Перетворення компонент тензора n -го рангу ($n = 0; 1; 2; 3; 4$)

Тензор і його ранг n	Кількість компонентів тензора	Закон перетворення компонент тензора n -го рангу
Скаляр, $n = 0$	$3^0 = 1$	$\alpha' = \alpha$
Вектор, $n = 1$	$3^1 = 3$	$a'_j = \sum_{k=1}^3 l_{jk} a_k$ (T1)
Тензор другого рангу, $n = 2$	$3^2 = 9$	$b'_{ij} = \sum_{k=1}^3 \sum_{m=1}^3 l_{ik} l_{jm} b_{km}$ (T2)
Тензор третього рангу, $n = 3$	$3^3 = 27$	$c'_{ijk} = \sum_{m=1}^3 \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 l_{im} l_{jp} l_{kq} c_{mpq}$ (T3)
Тензор четвертого рангу, $n = 4$	$3^4 = 81$	$d'_{ijkl} = \sum_{p=1}^3 \sum_{q=1}^3 \sum_{r=1}^3 \sum_{s=1}^3 l_{ip} l_{jq} l_{kr} l_{ms} d_{pqrs}$ (T4)
Примітки: 1. $l_{is} = \cos(\angle OX'_i, \angle OX_s)$ – напрямні косинуси. Перший нижній індекс i відноситься до осі штрихованої (нової) системи координат. 2. Відповідно до правила Ейнштейна підсумовування від 1 до 3 проводиться по повторюваним індексам k ($n = 1; 2$), m ($n = 2; 3$), p, q ($n = 3; 4$), r і s ($n = 4$).		

Узагальнюючи вищевикладене, можна дати наступне визначення тензора n -го рангу. Тензор n -го рангу – це величина, яка визначається в декартовій системі координат сукупністю чисел або функцій $A_{ik\dots r}$ (число нижніх індексів дорівнює n), які при зміні системи координат $X_1 X_2 X_3 \rightarrow X'_1 X'_2 X'_3$ перетворюються за законом:

$$A'_{ik\dots r} = \sum_{s=1}^3 \sum_{t=1}^3 \dots \sum_{w=1}^3 l_{is} l_{kt} \dots l_{rw} A_{st\dots w},$$

де $l_{is} = \cos(\angle OX'_i, \angle OX_s)$ – косинус кута між i -й віссю системи координат $X'_1 X'_2 X'_3$ і s -й віссю системи координат $X_1 X_2 X_3$.

Симетрія властивостей, описуваних тензором другого і більш високих рангів, геометрично інтерпретується як більш складні геометричні фігури: еліпсоїд, параболоїд і т. д.

Властивості тензорів другого рангу. Тензори другого рангу – це величина, яка визначається в будь-якій системі координат дев'ятьма числами або

функціями, які при зміні системи координат перетворюються за формулою (T2). Тензор другого рангу A зручно представляти у вигляді матриці розміром 3×3 , тобто

$$A_{ik} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix}.$$

Властивості тензора A еквівалентні властивостям квадратної матриці A_{ik} , побудованої з компонент цього тензора, і ці властивості можна сформулювати наступним чином.

а) Тензор A є симетричним, якщо для будь-яких індексів i і k справедливо рівність $A_{ik} = A_{ki}$.

б) Тензор B є антисиметричним, якщо для будь-яких індексів i і k справедливо рівність $B_{ik} = -B_{ki}$.

в) Довільний тензор другого рангу C можна представити у вигляді суми симетричного A і антисиметричного B тензорів: $C_{ik} = A_{ik} + B_{ik}$, де

$$A_{ik} = \frac{C_{ik} + C_{ki}}{2}, \quad B_{ik} = \frac{C_{ik} - C_{ki}}{2}.$$

г) Якщо для тензора A існують вектори x , що задовольняють умові $Ax = \lambda x$, то напрямки, які визначаються цими векторами, називаються головними (власними) напрямками тензора A . Осі цих напрямків називаються головними осями тензора. Значення компонент тензора в системі координат головних осей називаються головними значеннями тензора. Отже, система рівнянь, з якої знаходяться головні напрямки і головні значення тензора A , в матричній формі має вигляд

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \lambda \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

Ця система лінійних однорідних рівнянь відносно координат x_i має нульове рішення, якщо $\det(A - \lambda \cdot I) = 0$, де I – одинична матриця розміру 3×3 . Таким чином, головні значення λ визначаються з характеристичного рівняння тензора A .

Таблиця 2. – Вплив симетрії кристала на фізичні властивості, описувані тензором другого рангу

Сингонія	Ненульові компоненти тензора	Характеристична поверхня
Кубічна	$b_{11} = b_{22} = b_{33}$	Сфера
Тетрагональна, гексагональна або тригональна	$b_{11} = b_{22}; b_{33} \neq b_{11}$	Еліпсоїд обертання (сфероїд) навколо головної осі симетрії
Ромбічна	$b_{11} \neq b_{22} \neq b_{33}$	Тривісний еліпсоїд з осями, паралельними кристалографічним осям
Моноклінна	$b_{11} \neq b_{22} \neq b_{33}; b_{13} = b_{31}$	Тривісний еліпсоїд, одна з осей якого паралельна головній кристалографічній осі
Триклінна	$b_{11} \neq b_{22} \neq b_{33};$ $b_{12} = b_{21}; b_{13} = b_{31};$ $b_{23} = b_{32}; b_{12} \neq b_{13} \neq b_{23}$	Тривісний еліпсоїд

Приклади характеристичних поверхонь властивостей, описуваних тензором другого рангу, в кристалах різної симетрії представлені в таблиці 2.

Для того щоб виміряти в кристалі ту чи іншу фізичну властивість, в загальному випадку необхідно зробити стільки незалежних вимірювань цих властивостей, скільки є незалежних компонент в тензорі, що описує цю властивість.

Наприклад, для характеристики скалярної властивості – тензорної властивості нульового рангу – досить одного виміру, для векторного – властивості першого рангу – трьох вимірів і т. д.

Для властивостей, описуваних тензорами вищих рангів, з великою кількістю компонент, число незалежних компонент скорочується, що пов'язане з симетрією досліджуваного кристала (що робить компоненти тензора вже не незалежними, а пов'язаними між собою певними співвідношеннями), тобто з симетрією самого тензора, а також з законами термодинаміки.

$$\begin{vmatrix} A_{11} - \lambda & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} - \lambda & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

що є кубічним рівнянням щодо λ .

В системі головних осей тензор A записується в матричному вигляді як

$$A_{ik} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix},$$

причому три головних осі OX_i цього тензора взаємно перпендикулярні.

Можна класифікувати-ідентифікувати наступні випадки аналізу системи.

1) Якщо $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$, тензор називається кульовим. Такий тензор пропорційний одиничному (тобто виконується умова $A = \lambda_i I$) і має однаковий вигляд у всіх системах координат.

2) Якщо два головних значення тензора однакові, а третє відмінно від них (наприклад, $\lambda_1 = \lambda_2 \neq \lambda_3$), то тензор називається симетричним.

3) Якщо всі три головних значення тензора різні, то тензор називається асиметричним.

Викладання основного матеріалу досліджень.

Розглянемо як приклад закон Ома. Якщо на середу діє електричне поле з напруженістю E , то з'являється струм, щільність якого j пропорційна питомій електропровідності середовища σ . Величини $E = (E_1, E_2, E_3)$ і $j = (j_1, j_2, j_3)$ характеризуються трьома компонентами, тобто є векторними. В ізотропному середовищі електропровідність σ не залежить від напрямку, і тому для будь-якого напрямку виконується співвідношення: $j = \sigma \cdot E$, при цьому вектор j (щільність струму) збігається за напрямком з вектором E (напруженістю електричного поля).

У анізотропному середовищі буде спостерігатися зовсім інша картина: електропровідність σ буде залежати від напрямку, і закон Ома не може бути описаний в простій формі.

Для простоти розглянемо двовимірний випадок (рис. 1), коли в обраній системі координат $(X_1; X_2)$

вектори E напруженості електричного поля і j щільності струму не збігаються. А це може бути лише в разі нерівності $\sigma_{11} \neq \sigma_{22}$, тобто електропровідність вздовж одного з координатних напрямків не збігається з електропровідністю вздовж іншого координатного напрямку.

Для осьових напрямків (e_1 , і e_2), кожне з яких в анізотропному середовищі характеризується певним значенням електропровідності (σ_{11} і σ_{22} відповідно), значення компонент щільності струму будуть наступними: $j_1 = \sigma_{11} \cdot E_1$, $j_2 = \sigma_{22} \cdot E_2$, $j_3 = 0$.

При нерівності значень електропровідності в цих напрямках (тобто $\sigma_{11} \neq \sigma_{22}$) вектор щільності струму j , який дорівнює сумі його компонент: $j = j_1 + j_2$ не співпадатиме у напрямку з вектором напруженості електричного поля $E = E_1 + E_2$ (рис. 1).

При переході до тривимірного випадку, тобто до трьох координатних векторів X_1, X_2, X_3 , кожна компонента вектору $j(j_1, j_2, j_3)$ буде залежати від усіх трьох компонент вектору $E(E_1, E_2, E_3)$. В результаті отримаємо систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} j_1 = \sigma_{11} \cdot E_1 + \sigma_{12} \cdot E_2 + \sigma_{13} \cdot E_3, \\ j_2 = \sigma_{21} \cdot E_1 + \sigma_{22} \cdot E_2 + \sigma_{23} \cdot E_3, \\ j_3 = \sigma_{31} \cdot E_1 + \sigma_{32} \cdot E_2 + \sigma_{33} \cdot E_3, \end{cases}$$

що дозволяє знайти щільність струму $j(j_1, j_2, j_3)$ в кристалі, на який діє поле напруженості E .

Легко усвідомити сенс (і спосіб визначення) коефіцієнтів σ_{ik} . Дійсно, для поля, спрямованого уздовж координатної осі X_1 , $E(E_1, 0, 0)$ – дві компоненти дорівнюють 0.

Підставивши значення E в систему рівнянь, отримаємо:

$$\begin{cases} j_1 = \sigma_{11} \cdot E_1, \\ j_2 = \sigma_{21} \cdot E_1, \\ j_3 = \sigma_{31} \cdot E_1. \end{cases}$$

$$\text{Звідси } \sigma_{11} = \frac{j_1}{E_1}, \sigma_{21} = \frac{j_2}{E_1}, \sigma_{31} = \frac{j_3}{E_1}.$$

Якщо поле має вигляд $E(0, E_2, 0)$, то

$$\begin{cases} j_1 = \sigma_{12} \cdot E_2, \\ j_2 = \sigma_{22} \cdot E_2, \\ j_3 = \sigma_{32} \cdot E_2, \end{cases}$$

$$\text{Звідки } \sigma_{12} = \frac{j_1}{E_2}, \sigma_{22} = \frac{j_2}{E_2}, \sigma_{32} = \frac{j_3}{E_2}.$$

І нарешті, поле виду $E(0, 0, E_3)$ дозволить визначити коефіцієнти:

$$\sigma_{13} = \frac{j_1}{E_3}, \sigma_{23} = \frac{j_2}{E_3}, \sigma_{33} = \frac{j_3}{E_3}.$$

Слід звернути увагу на те, що навіть в тому випадку, коли поле визначається тільки одним компонентом E , вектор щільності струму, тим не менш, буде мати всі три компоненти, відмінні від нуля.

Таким чином, в загальному випадку дев'ять коефіцієнтів – дев'ять значень електропровідності σ_{ik} , де $i, k = 1, 2, 3$, укладені в квадратні дужки, позначають тензор другого рангу. Самі ж коефіцієнти – не що інше, як певні фізичні величини – в даному випадку значення електропровідності.

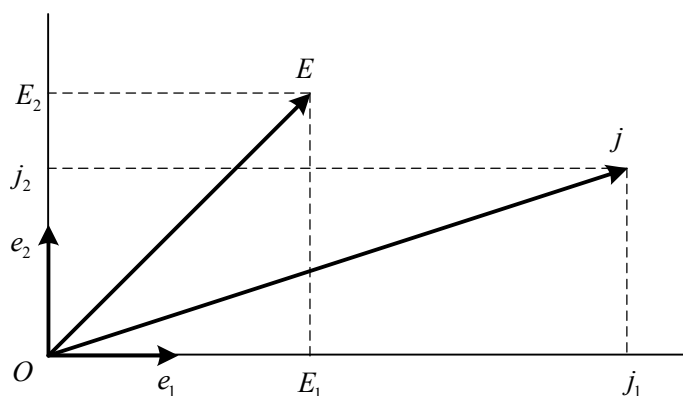


Рис. 1 – Ілюстрація закону Ома в анізотропному середовищі, для якого $\sigma_{11} = 3\sigma_{22}$ ($\vec{e}_1$ і $\vec{e}_2$ – орієнтування осей ортонормованої системи координат)

У компактному вигляді будь-яке з рівнянь системи може бути записано в наступному вигляді:

$$j_i = \sigma_{ik} \cdot E_k.$$

Задача. Знайти величину і напрямок вектору щільності струму j в системі координат $X_1X_2X_3$, що виникає в кристалічній пластинці площею S і товщиною d ($\sqrt{S} \gg d$) під дією зовнішнього поля $E = 150 \text{ В/см}$ в напрямку $(\sqrt{2}/2; \sqrt{2}/2; 0)$, якщо питома провідність кристала (в $10^{-7} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$) в цій системі координат $X_1X_2X_3$ описується тензором

$$\sigma_{ik} = \begin{pmatrix} 9 & -2 & 8 \\ -2 & 16 & 0 \\ 8 & 0 & 25 \end{pmatrix}$$

Компоненти вектору напруженості зовнішнього електричного поля $E(E_1, E_2, E_3)$ дорівнюють $E_1 = 150 \cdot \sqrt{2}/2 \text{ В/см}$; $E_2 = 150 \cdot \sqrt{2}/2 \text{ В/см}$; $E_3 = 0$. Відповідно до закону Ома в диференціальній формі, компоненти вектору щільності струму $j(j_1, j_2, j_3)$ в

кристалі визначаються за формулою $j_i = \sum_{k=1}^3 \sigma_{ik} E_k$:

$$\begin{cases} j_1 = \sigma_{11} \cdot E_1 + \sigma_{12} \cdot E_2 + \sigma_{13} \cdot E_3, \\ j_2 = \sigma_{21} \cdot E_1 + \sigma_{22} \cdot E_2 + \sigma_{23} \cdot E_3, \\ j_3 = \sigma_{31} \cdot E_1 + \sigma_{32} \cdot E_2 + \sigma_{33} \cdot E_3. \end{cases}$$

Чисельні значення:

$$\begin{aligned} j_1 &= 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ А/см}^2; \\ j_2 &= 14,7 \cdot 10^{-5} \text{ А/см}^2; \\ j_3 &= 8,46 \cdot 10^{-5} \text{ А/см}^2; \\ |j| &= 18,5 \cdot 10^{-5} \text{ А/см}^2. \end{aligned}$$

Напрямок вектору j визначається кутами $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ за допомогою формули $\cos \varphi_i = \frac{j_i}{|j|}$, де ($i = 1, 2, 3$). Ці кути дорівнюють $\varphi_1 = 66^\circ$, $\varphi_2 = 37^\circ$, $\varphi_3 = 63^\circ$.

Відповідь: $|j| = 18,5 \cdot 10^{-5} \text{ А/см}^2$, $\varphi_1 = 66^\circ$, $\varphi_2 = 37^\circ$, $\varphi_3 = 63^\circ$.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Застосування розглянутого в даній статті тензорного аналізу вимагає знання відповідних розділів лінійної алгебри, векторної алгебри та теорії поля. На практичних заняттях з вищої математики часто доводиться розв'язувати завдання загального характеру. Але для студентів технічних спеціальностей більший інтерес представляють завдання, які безпосередньо пов'язані з їх професійною підготовкою.

Таким чином, розглядаючи завдання, подібні наведеним в даній статті, ми підвищимо зацікавленість і мотивацію майбутніх фахівців до навчання [14–22].

Список літератури

- Борисенко А.И., Тарапов И.Е. Векторный анализ и начала тензорного исчисления : уч. пособие для вузов. – Х.: Вища шк.; Изд-во при Харьк. гос. ун-те, 1986. 216 с.
- 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.
- Вища математика в прикладах і задачах : у 2 т. Т. 2 : Диференціальне та інтегральне числення функцій багатьох змінних. Диференціальні рівняння та ряди: навч. пос. / Л.В. Курпа, Н.О. Кириллова, Г.Б. Лінник та ін.; за ред. Л.В. Курпи. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 432 с.
- 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.
- Диференціальні рівняння та їх застосування : н.-мет. посіб. / Прищенко О.П., Черногор Т.Т. – Х.: НТУ «ХП», 2017. – 88 с.
- Ерёмин В. В. Математика в химии. – 2-е изд., испр. / В.В. Ерёмин. – М.: МЦНМО, 2016. – 64 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Бухкало С.І. Деякі моделі процесів хімічного спінювання вторинного поліетилену // Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП». 2017. № 18 (1240). – С. 35–45.
- Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості: тестові завдання (підручник з грифом МОНУ), Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 412 с.
- Бухкало С.І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
- 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.

18. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Analysis of opportunities of analytical method of optimization in chemical technology // Вісник НТУ «ХПІ». – Х. : НТУ «ХПІ», 2020. – №5 (1359). – С. 71 – 77.
 19. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. Х. : НТУ «ХПІ». 205 с.
 20. Бухкало С.І., Ігліні С.П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. Інтегровані технології та енергозбереження. Х. : НТУ «ХПІ», 2016. № 3. – С. 52–57.
 21. Бухкало С.І., Білоус О.В., Демидов І.М. Розробка комплексного антиоксиданту із екстрактів листя горіху волоського та календули. Восточно-Европейський журнал передових технологій. 2015. № 1/6(73), – с. 22–26. – Х. : Технол. центр.
 22. Bukhhalo S.I., Klemes J.J., Tovazhnyanskyy 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. Borisenko A.I., Tarapov I. E. Vektornyj analiz i nachala tenzornogo ischisleniya : ucheb. posobie dlya vuzov. – Khar'kov: Vishcha shk.; Izd-vo pri Khar'k. gos. un-te, 1986. – 216 p.
 2. 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'kov : Pidruchnik NTU «KhPI», 2011. – 376 p.
 3. 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. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2009. – 432 p.
 4. 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'kov : Vid-vo «Pidruchnik NTU «KhPI», 2011. – 476 p.
 5. Diferencial'ni rivnjannja ta ih zastosuvannja : navch.-metod. posib. / Prishchenko O.P., Chernogor T.T. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. – 88 p.
 6. Erjomin V.V. Matematika v himii. – 2-e izd., ispr. / V.V. Erjomin. – M. : MCNMO, 2016. – 64 p.
 7. Zbirnik rozrahunkovo-grafichnih zavdan' z vishhoj matematiki : u 2 ch. Ch. 2 / N.O. Chikina, A.M. Gajdash, V.D. Krupka ta in. ; za red. N.O. Chikinoj. – Kharkiv : Vid-vo «Pidruchnik NTU «KhPI», 2013. – 216 p.
 8. Metodicheskie ukazaniya k resheniju raschetnyh zadaniy po teme «Diferencial'nye uravneniya i ih prilozheniya» po kursu vysshej matematiki dlja studentov himicheskikh special'nostej / sost. A.M. Manujlova, E.I. Orlova, T.T. Chernogor i dr. – Khar'kov : KhPI, 1989. – 76 p.
 9. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Analiz prikladiv zastosuvannia diferencialnikh rivnian v khimichnij ta kharchovij tekhnologii // Visnik NTU «KhPI». – Kharkiv : NTU «KhPI», 2018. – No. 40 (1316), – pp. 39 – 45.
 10. Prishchenko O.P., Chernogor T.T., Bukhhalo S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu Informacijni tekhnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII mizhnarodnoj naukovopraktichnoj konferencii MicroCAD-2019, 15-17 travnja 2019 : Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kh. : NTU «KhPI». – p.320.
 11. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Dejaki osoblivosti provedennja regresijnogo analizu Informacijni tekhnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII mizhnarodnoj naukovopraktichnoj konferencii MicroCAD-2019, 15-17 travnja 2019 : u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – p. 319.
 12. 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.
 13. Tevjashev A.D. Vishha matematika u prikladah ta zadachah : u 3 ch. Ch. 3 : Diferencial'ni rivnjannja. Rjadi. Funkcii kompleksnoj zmynnoj. Operacijne chislennja : navch. posib. / A.D. Tevjashev, O.G. Litvin. Kh. : HNUR, 2002. – 596 p.
 14. Bukhhalo S.I. Dejaki modeli procesiv himichnogo spinjuvannja vtorinnogo polietilenu // Visnik NTU «KhPI». Kh. : NTU «KhPI». 2017. No. 18 (1240), pp. 35–45.
 15. Bukhhalo S.I. Zagal'na tekhnologija harchovoi promislivosti: testovi zavdannja (pidruchnik z grifom MONU), Kii'v: Centr uchbovoi literaturi, 2014. – 412 p.
 16. Bukhhalo S.I. Modeli energetichnogo miksru dlja utilizacii polimernoi chastki TPV // Visnik NTU «KhPI». – H. : NTU «KhPI». 2016. – No. 19 (1191), – pp. 23–32.
 17. Prishchenko 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. No. 15, pp. 36 – 41.
 18. Prishchenko O.P., Chernogor T.T. Analysis of opportunities of analytical method of optimization in chemical technology // Visnik NTU «KhPI», 2020. No. 5, pp. 71–77.
 19. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tekhnologii: 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. Kh. : NTU «KhPI». – 205 p.
 20. Bukhhalo S.I., Iglin S.P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri ekspluatcii polimernih virobiv. Integrovani tekhnologii ta energozberezhennja. H. : NTU «KhPI», 2016. No. 3, – pp. 52–57.
 21. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo ta kalendulr. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tekhnologij. No.1/6(73), (2015), – pp. 22–26. Kharkiv : «Tehnolog. centr».
 22. Bukhhalo S.I., Klemes J.J., Tovazhnyanskyy 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.

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прищенко Ольга Петрівна (Прищенко Ольга Петровна, Prishchenko Olga Petrivna) – старший викладач 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 Tetyana 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: tatyachernogor54@gmail.com

О. В. ЄФІМОВ, Л. І. ТЮТЮНИК, В. Л. КАВЕРЦЕВ, Т. А. ГАРКУША, А. В. МОТОВІЛЬНИК, П. В. ЛІФШИЦЬ

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ І ПІДХОДІВ ДО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ УСТАТКУВАННІ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС І АЕС

У матеріалах статті розглянуті класифікація сучасних методів системного аналізу, основні положення теорії і засобів математичного моделювання технологічних процесів в енергетичному устаткуванні, що призначені для автоматизованого управління складними теплоенергетичними системами. Розглянуті методи і підходи до математичного моделювання та оптимізації параметрів технологічних процесів в енергоблоках теплових (ТЕС) та атомних електростанцій (АЕС).

Ключові слова: енергоблоки ТЕС та АЕС, математичне моделювання, оптимізація параметрів.

А. В. ЕФИМОВ, Л. И. ТЮТЮНИК, В. Л. КАВЕРЦЕВ, Т. А. ГАРКУША, А. В. МОТОВИЛЬНИК, П. В. ЛИФШИЦ

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ И ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС И АЭС

В материалах статьи рассмотрены классификация современных методов системного анализа, основные положения теории и способы математического моделирования технологических процессов в энергетическом оборудовании, предназначенные для автоматизированного управления сложными теплоэнергетическими системами. Рассмотрены методы и подходы к математическому моделированию и оптимизации параметров технологических процессов в энергоблоках тепловых (ТЭС) и атомных электростанций (АЭС).

Ключевые слова: энергоблоки ТЭС и АЭС, математическое моделирование, оптимизация параметров.

O.V. EFIMOV, L.I. TIUTIUNYK, V. L. KAVERTSEV, T. A. HARKUSHA, A. V. MOTOVILNIK, P. V. LIFSHITS

ANALYSIS MODERN METHODS AND APPROACHES TO SIMULATION MODELING OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS IN POWER EQUIPMENT THERMAL POWER PLANTS AND NUCLEAR POWER PLANTS

The materials of the article consider the classification of modern methods of system analysis, the main provisions of the theory and means of mathematical modeling of technological processes in power equipment, designed for automated control of complex thermal power systems. To consider methods and approaches to mathematical modeling and optimization of process parameters in TPP (thermal power plants) and NPP (nuclear power plants) power units. Modern steam turbine power units of thermal and nuclear power plants are complex technical, thermal power systems. Complex thermal power system is a set of interconnected and interacting elements and subsystems of different technological purposes, which form an inseparable whole, providing the system of some complex function in the form of electricity and heat production and which are described by a rather complex mathematical model. The theory of system analysis and mathematical modeling is widely used to select the structures and parameters of the technological processes of power units. Analysis of literature sources on the existing methods of mathematical modeling and selection criteria, schemes of technological processes and approaches to creating mathematical models of the functional state of steam turbine power units, showed the need to improve them to take into account operational reliability.

Keywords: TPP and NPP power units, mathematical modeling, and parameter optimization.

Вступ.

Сучасні паротурбінні енергоблоки теплових і атомних електростанцій є складними технічними (теплоенергетичними) системами. До характерних особливостей таких систем можна віднести:

- велику кількість взаємозв'язаних між собою елементів і підсистем;
- складність функцій, що виконуються системою і які направлені на досягнення мети її функціонування;
- багатовимірність системи, що обумовлена наявністю великого числа зв'язків між підсистемами;
- взаємодію системи із зовнішнім середовищем і функціонування в умовах дії випадкових чинників;
- наявність багатьох критеріїв оцінки якості функціонування системи і її окремих підсистем;
- різноманітність структури системи,

обумовлене як різноманітністю структур її підсистем, так і різноманітністю структур об'єднання підсистем в єдину систему;

- наявність управління, що часто має ієрархічну структуру, а також розгалуженність інформаційної мережі і інтенсивних інформаційних потоків;
- різноманітність різних фізико-хімічних процесів, що протікають в окремих підсистемах;
- велику розмірність і складність математичної моделі системи, що обумовлює необхідність застосування для її дослідження сучасних методів декомпозиції, макромодельовання, імітаційного моделювання і інших;

© Єфімов О.В., Тютюник Л.І., Каверцев В.Л.,
Гаркуша Т.А., Мотовільник А.В., Ліфшиць П.В., 2020

- існування інтеграційних ознак, які властиві системі в цілому, але не властиві кожному її елементу окремо (наприклад, резервована система надійна, а її елементи можуть бути ненадійними);

- відсутність у цілому ряді випадків можливості отримання достовірної інформації про властивості системи в цілому в результаті вивчення властивостей її окремих елементів.

Таким чином, складна теплоенергетична система представляє собою безліч взаємозв'язаних і взаємодіючих між собою елементів і підсистем різного технологічного призначення, які складають нероздільне ціле, що забезпечують виконання системою деякої складної функції у вигляді виробництва електричної і теплової енергії і які описуються достатньо складною математичною моделлю.

Огляд і класифікація сучасних методів системного аналізу, основних положень теорії і засобів математичного моделювання технологічних процесів в енергетичному устаткуванні, що призначені для автоматизованого управління складними теплоенергетичними системами.

Теплоенергетична система, як правило, має просторову або функціональну замкнутість. Це означає, що можна провести межу або в просторі компонент цієї системи, або в просторі її функцій, по одну сторону від якої опиниться система, а по іншу – зовнішнє середовище. Ці дві властивості системи не є взаємовиключними.

У більшості тих випадків, коли система задається по просторових ознаках, одночасно проводиться структуризація системи. Під структуризацією зазвичай розуміється виділення в системі двох типів об'єктів – багатьох елементів і багатьох зв'язків і встановлення співвідношень між ними. Найчастіше структура теплоенергетичної системи, тобто фіксована сукупність елементів і зв'язків між ними, відображається у формі технологічного графа, а зв'язки – дугами графа [1–2].

Розчленування системи на елементи є одним з перших кроків при побудові її формального опису, тобто математичної моделі. При цьому елемент виступає як об'єкт, який при даному розгляді складної системи не підлягає подальшому розбиттю на частини. Підсистема представляє собою сукупність елементів. Формально, будь-яку сукупність елементів теплоенергетичної системи з їх зв'язками можна розглядати як підсистему. Проте використання цього поняття найбільш поширене в тому випадку, якщо підсистема є достатньо самостійною частиною складної теплоенергетичної системи, а мета її функціонування підпорядкована загальній меті функціонування всієї системи.

Процес декомпозиції складних теплоенергетичних систем, тобто розбиття їх на окремі технологічні системи, зазвичай не є формалізованими і носить, як правило, евристичний характер. Тому, правильна

декомпозиція складної теплоенергетичної системи дозволяє спростити і полегшити її аналіз.

Теплоенергетичні системи, як і інші складні технічні системи, описуються шляхом визначення їх функцій і структур. Функції системи можуть описуватися з різним ступенем деталізації. Для їх опису, зазвичай, використовуються теорія множин, алгоритмів, випадкових процесів, інформації і інші методи.

Як вже наголошувалося, складні теплоенергетичні системи функціонують в умовах дії великої кількості випадкових чинників, які можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми, і які необхідно враховувати при математичному моделюванні в різних задачах досліджень.

Відомо, що найважливішими задачами дослідження складних технічних систем за допомогою математичного моделювання є задачі синтезу, які полягають в знаходженні структури і визначальних параметрів системи по заданих її властивостях, і задачі аналізу, при вирішенні яких по відомій структурі і відомим параметрам системи визначається її поведінка, тобто досліджуються властивості системи і її характеристики [3]. Задачі синтезу найчастіше вирішуються з використанням результатів вирішення задач аналізу.

Залежно від специфіки зв'язків характеристик стану теплоенергетичної системи з її параметрами розрізняють такі математичні моделі:

- детерміновані моделі, в яких в заданий момент часу характеристики стану однозначно визначаються через параметри, що задаються;

- імовірнісні (стохастичні) моделі, в яких за допомогою математичних співвідношень можна визначити розподіли характеристик стану системи по заданих імовірнісних характеристиках (розподілам) її параметрів.

За ознакою використання для різних цілей дослідження математичні моделі теплоенергетичних систем підрозділяються на аналітичні і імітаційні моделі [3].

Повна математична модель функціонування теплоенергетичної системи зазвичай є дуже складною, нелінійною і вимогливою до ресурсів обчислювальної техніки. Тому часто для вирішення конкретних задач досліджень застосовують такі методи спрощення або самої системи, або моделі:

- розчленування складної системи на ряд простіших підсистем (метод декомпозиції);

- виділення в системі найбільш істотних властивостей і дій на них в параметричній формі (метод макромодельовання);

- лінеаризацію нелінійних моделей в деякій області зміни змінних методом малих відхилень (метод лінеаризації);

- приведення систем з розподіленими параметрами до систем із зосередженими параметрами;

- зневага динамічними властивостями технологічних процесів в системі.

Удосконалення теорії імітаційного моделювання та оптимізації складних теплоенергетичних систем, розробка нових методів і підходів до імітаційного моделювання та оптимізації параметрів технологічних процесів в енергетичному устаткуванні різного призначення.

Теорія системного аналізу і математичного моделювання широко використовується для вибору структур і параметрів схем технологічних процесів енергоблоків електростанцій [3-4]. У цих роботах при оптимізації структур і параметрів схем як цільові функції, що оптимізуються, використовуються електрична потужність і теплова економічність енергоблоків. Проте показники надійності схем технологічних процесів не враховуються.

В роботі [5] описані основи методики оптимізації параметрів базових і маневрених теплових енергоблоків, включаючи методику розрахунку техніко-економічної ефективності. Встановлюється необхідність введення поняття потужності, що заміщається, по відпустці енергії при порівнянні варіантів схем технологічних процесів енергоблоків під час експлуатації. При оптимізації параметрів енергоблоків одноцільового призначення застосовують різні способи зіставлення варіантів і приведення їх до рівного енергетичного ефекту: при постійній електричній потужності енергоблоку, при незмінній витраті свіжої пари, при заданому пропуску пара в конденсатор та інші. У всіх цих випадках сумарна відпустка електроенергії споживачам розглядається незмінною.

Для варіантів, що відрізняються відпусткою електроенергії, критерієм термодинамічної ефективності служить витрата палива B_c^* у умовній системі, що складається з даного і того, що заміщується, енергоблоків (покриваючої небаланс відпустки електроенергії в енергосистемі):

$$B_c^* = B + (E_c^* - E) \cdot b_{зам} = B - E \cdot b_{зам} + \text{const},$$

де B – річна витрата палива на енергоблок;

E_c^* , E – річне споживання електроенергії відповідно в даній енергосистемі і що генерується енергоблоком, який оптимізується;

$b_{зам}$ – питома витрата палива на енергоблоці, що заміщається.

Оптимальні значення параметрів технологічних процесів за кожних умов експлуатації (при постійній потужності, при постійній витраті свіжої пари і тому подібне) виходять різними; вони часто істотно відрізняються один від одного і не враховують показників надійності.

Робота [2] присвячена застосуванню теорії систем і методів математичного моделювання до оцінки функціонального стану турбоустановок ТЕС і АЕС під час експлуатації. Структура турбоустановки представляється технологічним графом G_T , а її

математична модель в загальному випадку задається у вигляді:

$$\{\Omega(\chi) | \varphi_i(\chi) = 0, \chi \in M_s, i = \overline{1, s}\},$$

де Ω , φ_i – математичні співвідношення, що описують якість установки як системи і технологічні процеси, що відбуваються в ній, і що складаються з рівнянь, нерівнянь, логічних умов, таблиць;

i – номер відношення;

s – кількості відношень математичної моделі;

$\chi = X, Y, G, \lambda, W$ – інформаційна структура моделі, у якій: X – вектор незалежних змінних; Y – вектор залежних змінних; λ – вектор зовнішніх умов функціонування установки; W – вектор глибини (деталізації) моделювання;

M_s – область можливих станів елементів установок.

Технологічне устаткування турбоустановки відображається у вигляді вузлів графа. Орієнтація дуг графа збігається з напрямками руху робочих тіл теплоносіїв і передачі механічної, теплової і електричної енергії в технологічних зв'язках турбоустановки.

Розроблена та удосконалена в [3,4] імітаційна модель теплоенергетичної установки включає розвинену систему логіко-числових операторів: збереження кількості речовини; тиску; термодинамічних параметрів; збереження енергії; ККД турбоустановки; теплової ефективності. Ця модель, яка реалізована у вигляді програмно-математичного комплексу, дозволяє проводити чисельний експеримент для визначення функціонального стану турбоустановок різних типорозмірів в широких діапазонах зміни потужності, початкових і кінцевих параметрів пари, структури і технологічних умов роботи. З її допомогою вирішуються основні типи задач дослідження структури і параметрів теплоенергетичних установок: X_{var} , G_{const}^T , A_{const} , W_{const} – числова (параметрична) варіація; X_{const} , G_{var}^T , A_{const} , W_{const} – структурна варіація; X_{var} , G_{var}^T , A_{const} , W_{const} – структурно-параметрична варіація; X_{const} , G_{const}^T , A_{var} , W_{const} – варіація зовнішніх параметрів і зв'язків; X_{const} , G_{const}^T , A_{const} , W_{const} – зміна глибини (деталізації) моделювання.

На підставі вищеперелічених типів можуть бути вирішені наступні задачі досліджень по оптимізації структур і параметрів паротурбінних теплоенергетичних установок: аналізу, синтезу, ідентифікації, управління, розподілу, навантажень. Проте питання впливу показників надійності на оптимальні структури і параметри паротурбінних установок авторами не розглядаються.

У роботі [6] на основі методу системного аналізу розроблені схеми технологічних процесів енергоблоків, що забезпечують під час експлуатації раціональний розподіл електричних навантажень між декількома турбоагрегатами електростанцій з

урахуванням дроселювання пари в клапанах. При цьому, як указують автори, можливе отримання економії палива близько 0,2-0,3 % від сумарної витрати палива. Проте при цьому не враховуються властивості надійності турбоагрегатів і відповідно вірогідності аварій, які можуть привести до порушення нормативних вимог по забезпеченню безпеки.

У роботі [7] вирішується задача вибору експлуатаційних схем технологічних процесів енергоблоків, що дозволяють оптимально розподіляти теплові і електричні навантаження між турбінами могутніх опалювальних ТЕЦ, - по оптимальному плану навантаження з метою економії первинних джерел тепла. При цьому оптимум досягається за рахунок зміни технологічних параметрів, значення яких не пов'язано з обмеженнями, обумовленими показниками надійності.

Автори роботи [5, 7] указують, що оптимізація розподілу теплових і електричних навантажень між паралельно працюючими агрегатами електростанції є складною задачею структурно-параметричного аналізу, що важко вирішується. Ці труднощі обумовлені необхідністю визначення структур технологічних схем установок і їх показників заміщення відпустки теплової і електричної енергії при варіюванні тепловим і електричним навантаженням. При постійній відпустці енергії для оптимізації цільової функції автори пропонують використовувати функцію Лагранжа, в якій невизначені множники Лагранжа наділяються властивістю забезпечувати приведення порівнюваних варіантів до рівного енергетичного ефекту.

Окрім перерахованих, питанням вибору схем технологічних процесів, що забезпечують оптимальний розподіл навантажень між енергоблоками теплових і атомних електростанцій під час експлуатації, присвячені також роботи [8, 9, 10], в яких задачі підвищення теплової ефективності енергоблоків і станцій в цілому вирішуються без урахування надійності.

В той же час, у цілому ряді робіт, зокрема, в [11, 12, 13] і інших, розглянута необхідність обліку показників надійності при виборі схем технологічних процесів теплоенергетичних об'єктів, оскільки сучасні системи автоматизованого управління енергоблоками ТЕС і АЕС передбачають, що системи автоматизованого управління енергоблоками повинні забезпечувати їх високу теплову економічність на тривалому інтервалі експлуатації в нерозривному зв'язку з показниками надійності.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Таким чином, аналіз літературних джерел, присвячених існуючим методам математичного моделювання і критеріям вибору схем технологічних процесів і підходів до створення математичних моделей функціонального стану паротурбінних

енергоблоків, показав необхідність їх удосконалення у напрямі врахування показників надійності експлуатації.

Список літератури

1. Кристофидес Н. Теория графов / Н.Кристофидес. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
2. Палагин А.А. Моделирование функционального состояния и диагностика турбоустановок / А.А. Палагин, А.В. Ефимов, Е.Д. Меньшикова. – Киев: Наук. думка, 1991. – 192 с.
3. Єфімов О.В. Конструкції, матеріали, процеси і розрахунки реакторів і парогенераторів АЕС: навч. посібник / О.В. Єфімов, М.М. Пилипенко. – Харків: Видавництво «Підручник НТУ «ХП», 2010. – 268 с.
4. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, матеріали, конструкції, моделі / О.В. Єфімов, М.М. Пилипенко, Т.В. Потаніна та ін.: за ред. О.В. Єфімова. – Харків: ТОВ «В справі», 2017. – 420 с.
5. Аминов Р.З. Градиентный метод распределения нагрузок на ТЭЦ с использованием множителей Лагранжа / Р.З. Аминов, В.З. Аминов // Известия вузов СССР. Энергетика. 1979. – №2. – С. 106–109.
6. Бунин В.С. Исследование и оптимизация режимов работы теплофикационной установки АЭС / В.С. Бунин, М.К. Васильев, А.А. Кудрявцев // Теплоэнергетика. 1980. – №2. – С.10–14.
7. Гельтман А.Э. Эффективность теплоснабжения из нерегулируемых отборов конденсационных турбин насыщенного пара / А.Э. Гельтман, Н.И. Шапиро // Энергетика. 1982. – №1. – С. 38–44.
8. Совершенствование и оптимизация моделей, процессов, конструкций и режимов работы энергетического оборудования АЭС, ТЭС и отопительных котельных / под ред. А.В. Ефимова. – Х.: Изд-во «Підручник НТУ «ХП», 2013. – 376 с.
9. Gluch J. The analysis of performance of the turbine condenser with the prognosis of repair / J.Gluch, A. Gardzilewich // The 1998 international joint power generation conference. – Baltimore, Maryland (USA). 1998. – Aug. 23-26. – V. 2, – pp. 46–51.
10. Горелик А.Х. Развитие и модернизация автоматизированных систем управления энергоблоками ТЭС и АЭС / А.Х. Горелик, М.А. Дуэль, В.А. Орловский // Новини енергетики. 2000. – №11. – С. 30–36.
11. Артюх С.Ф. Автоматизированные системы управления энергогенерирующими установками электростанций / С.Ф. Артюх, М.О. Дуэль, И.Г. Шелепов. – Харьков: Знание, 2000. – 429 с.
12. Артюх С.Ф. Автоматизированные системы управления технологическими процессами в энергетике / С.Ф. Артюх, М.О. Дуэль, И.Г. Шелепов. – Харьков: Знание, 2001. – 483 с.
13. Артюх С.Ф. Электрические станции, сети и системы / С.Ф. Артюх, Т.А. Пантелеева. – Харьков: Знание, 2001. – 366 с.

References (transliterated)

1. Christofides N. Theory of graphs / N. Christofides. – M. : Mir, 1978. – 432 p.
2. Palagin A.A. Modeling the functional state and diagnostics of turbine installations / A.A. Palagin, A.V. Yefimov, E. D. Menshikova. – Kiev: Nauk. Dumka, 1991. – 192 p.
3. Yefimov O.V. Constructions, materials, processes and calculations of reactors and steam generators of NPPs: textbook. manual / O.V. Yefimov, M.M. Pilipenko. – Kharkiv: Publishing House "Textbook of NTU "KhPI", 2010. – 268 p.
4. Reactors and steam generators of NPP power units: schemes, processes, materials, structures, models / O.B. Yefimov, M.M. Pilipenko, T.V. Potanina et al. : ed. O.V. Yefimova. – Kharkiv: LLC "In the case", 2017. – 420 p.
5. Aminov R.Z. Gradient method of load distribution at CHP plants using Lagrange multipliers / R.Z. Aminov, V.Z. Aminov // Izvestiya vuzov USSR. Energy. - 1979. - No. 2, –pp. 106–109.
6. Bunin V.S. Investigation and optimization of operating modes of a cogeneration plant of a nuclear power plant / V.S. Bunin, M.K. Vasiliev, A.A. Kudryavtsev // Thermal Engineering. 1980. – No. 2, – pp.10–14.
7. Geltman A.E. Efficiency of heat supply from unregulated extraction of condensing turbines of saturated steam / A.E. Geltman, N.I. Shapiro // Energy. 1982. – No. 1, – pp. 38–44.
8. Improvement and optimization of the model, processes, designs and operating modes of the power equipment of nuclear power plants, thermal power plants and heating boilers / ed. O.V. Yefimov. – Kharkov: Publishing house «Textbook of NTU «KhPI», 2013. – 376 p.
9. Gluch J. The analysis of performance of the turbine condenser with the prognosis of repair / J.Gluch, A. Gardzilewicz // The 1998 international joint power generation conference. – Baltimore, Maryland (USA). 1998. – Aug. 23–26. – V. 2, – pp. 46–51.
10. Gorelik A.Kh. Development and modernization of automated control systems for power units of TPP and NPP / A.Kh. Gorelik, M.A. Duel, V.A. Orlovsky // News of Energy. 2000. – No. 11, pp. 30–36.
11. Artyukh S.F. Automated control systems for power generating plants of power plants / S.F. Artyukh, M.O. Duel, I.G. Shelepov. – Kh.: Knowledge, 2000. – 429 p.
12. Artyukh S.F. Automated control systems for technological processes in power engineering / S.F. Artyukh, M.O. Duel, I.G. Shelepov. – Kharkov: Knowledge, 2001. – 483 p.
13. Artyukh S.F. Electric stations, networks and systems / S.F. Artyukh, T.A. Panteleeva. – Kharkov: Knowledge, 2001. – 366 p.

Надійшло (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ефімов Олександр Вячеславович (Ефимов Александр Вячеславович, Efimov Olexander Vyacheslavovich) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3300-7447>;

e-mail: AVEfimov22@gmail.com

Тютюник Лариса Іванівна (Тютюник Лариса Ивановна, Tiutiunyk Larysa Ivanivna) – кандидат технічних наук, доцент кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3128-497X>;

e-mail: lara.tyutyunik@gmail.com

Каверцев Валерій Леонідович (Каверцев Валерий Леонидович, Kavertsev Valery Leonidovich) – кандидат технічних наук, доцент кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9472-1658>;

e-mail: kavertseff@gmail.com

Гаркуша Тетяна Анатоліївна (Гаркуша Татьяна Анатольевна, Harkusha Tetyana Anatoliivna) – науковий співробітник кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

e-mail: lara.tyutyunik@gmail.com

Мотовільник Анастасія Вадимівна (Мотовильник Анастасия Вадимовна, Motovilnik Anastasiia Vadimovna) – аспірантка, кафедра парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

e-mail: Nastya.motov@gmail.com

Ліфшиць Петро Володимирович (Лифшиц Петр Владимирович, Lifshits Petro Volodimirovich) – студент, кафедра парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

e-mail: lara.tyutyunik@gmail.com

Н. В. ЧЕРЕМСЬКА**ЗАСТОСУВАННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ТЕОРІЇ НЕОДНОРІДНИХ ВИПАДКОВИХ ПОЛІВ ДО ПОШИРЕННЯ ХВИЛЬ В СТАТИСТИЧНО НЕОДНОРІДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

У статті розглянута задача про знаходження поля, яке створюється системою флуктуючих джерел, що знаходяться на екрані. Нехай кореляційна функція джерел не припускається сепарабельною та розподіл поля на екрані є неоднорідним випадковим полем першого рангу або є сумою сепарабельного поля та статистично неоднорідного поля першого рангу. Для знаходження розв'язку в наближенні параболічного рівняння запропоновано метод занурення у відповідний гільбертів простір, який дозволяє швидко та ефективно відшукувати статистичні характеристики розв'язку. Як приклад розглянуто вплив статистичної неоднорідності на функцію інтенсивності екрану, який світиться та має форму круглого диска. Отримана кореляційна функція поза екраном, яка містить інформацію про розмір та характер неоднорідностей випромінюючих джерел на екрані, що світиться. Проведено чисельний аналіз зображення для кореляційної функції у випадку, коли статистична неоднорідність середовища породжується наявністю в спектрі лише одного комплексного числа.

Ключові слова: кореляційна функція, статистична неоднорідність, гільбертов простір, скалярний добуток, дискретний спектр оператора.

Н. В. ЧЕРЕМСКАЯ**ПРИЛОЖЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ТЕОРИИ НЕОДНОРОДНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ К РАСПРОСТРАНЕНИЮ ВОЛН В СТАТИСТИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ**

В статье рассмотрена задача о нахождении поля, создаваемого системой флуктуирующих источников, находящихся на экране. Пусть корреляционная функция источников не предполагается сепарабельной и распределение поля на экране является неоднородным случайным полем первого ранга или является суммой сепарабельного поля и статистически неоднородного поля первого ранга. Для нахождения решения в приближении параболического уравнения предложен метод погружения в соответствующее гильбертово пространство, который позволяет быстро и эффективно находить статистические характеристики решения. В качестве примера рассмотрено влияние статистической неоднородности на функцию интенсивности светящегося экрана, который имеет форму круглого диска. Получена корреляционная функция вне экрана, содержащая информацию о размере и характере неоднородностей излучающих источников на светящемся экране. Проведен численный анализ представления для корреляционной функции в случае, когда статистическая неоднородность среды порождается наличием в спектре лишь одного комплексного числа.

Ключевые слова: корреляционная функция, статистическая неоднородность, гильбертово пространство, скалярное произведение, дискретный спектр оператора.

N. V. CHEREMSKAYA**APPLICATION OF THE CORRELATION THEORY OF INHOMOGENEOUS RANDOM FIELDS TO WAVE PROPAGATION IN STATISTICALLY HETEROGENEOUS ENVIRONMEN**

The article deals with the problem of finding the field created by a system of fluctuating sources on the screen. Let the correlation function of the sources be not assumed to be separable and the field distribution on the screen is an inhomogeneous random field of the first rank or is the sum of a separable field and a statistically inhomogeneous field of the first rank. To find a solution in the approximation of a parabolic equation, a method of immersion in the corresponding Hilbert space is proposed, which allows one to quickly and efficiently find the statistical characteristics of the solution. As an example, the influence of statistical inhomogeneity on the intensity function of a luminous screen, which has the shape of a round disk, is considered. An off-screen correlation function is obtained, which contains information on the size and nature of inhomogeneities of emitting sources on a luminous screen. A numerical analysis of the representation for the correlation function is carried out in the case when the statistical heterogeneous of the environmen is generated by the presence of only one complex number in the spectrum.

Key words: correlation function, statistical inhomogeneity, Hilbert space, scalar product, discrete spectrum of an operator.

Вступ. У сучасній теорії розповсюдження електромагнітних та звукових хвиль в атмосфері в багатьох випадках доводиться звертати увагу на турбулентність, яка спричиняє флуктуації показника заломлення повітря. У деяких випадках турбулентність атмосфери спричиняє флуктуації параметрів хвиль, які розповсюджуються через неї (амплітуди, напрямки поширення, частоти, фази та інші). Ці ефекти є джерелами спотворень та помилок у системах зв'язку, локації, радіонавігації, системах управління. Особливо впливові флуктуації параметрів світлових хвиль, що набуває зараз особливого значення в зв'язку з розвитком оптичних квантових генераторів [1].

При моделюванні статистичних властивостей середовища (атмосфера, океан) виходять зазвичай із припущення, що ці властивості можуть бути описані однорідним та ізотропним полем або випадковим

полем з однорідними приростами першого порядку. Структура відповідної кореляційної функції при цьому визначається на підставі розв'язку рівняння однорідної та ізотропної турбулентності, яке можна отримати усередненням рівняння гідродинаміки з використанням будь-якої гіпотези замикання [2, 3]. Флуктуації швидкості руху рідини (вітру) та температури у випадковому середовищі приводять до відповідних флуктуацій тиску або показника заломлення (діелектричної проникності). Тому задача розповсюдження звуку або електромагнітних хвиль стає стохастичною. З математичної точки зору аналіз поширення хвиль у випадковому середовищі зводиться до розв'язку хвильового рівняння (векторного або скалярного) з випадковими коефіцієнтами. У межах кореляційної теорії та з

© Черемська Н.В., 2020.

точки зору застосувань (зокрема, у теорії поширення хвиль у випадкових середовищах [4]) основними об'єктами теоретичного дослідження є математичне очікування та кореляційна функція розв'язку хвильового рівняння. Для розв'язку цієї задачі використовуються так звані "нечесний" метод.

Цей метод полягає у тому, що випадковість використовується при безпосередньому усередненні рівнянь із випадковими параметрами, які після усереднення не є замкненими та для замикання вимагають додаткових недоведених припущень про спеціальні статистичні властивості розв'язку. Ці припущення істотно спрощують задачу та дозволяють її розв'язати в явному вигляді. Багато результатів, які були отримані "нечесним" методом, достатньо добре узгоджуються з експериментальними даними, що може служити обґрунтуванням вірогідності припущення про ту або іншу статистичну властивість розв'язку [5].

Проте, моделі, які використовують однорідне та ізотропне поле або випадкове поле з однорідними приростами першого порядку непридатні для опису середовищ, які знаходяться в перехідному стані (наприклад, плазма випадковим чином змінює свій заряд), або коли електромагнітні хвилі поширюються поблизу земної кулі та статистична неоднорідність середовища порушується, а також при розсіянні електромагнітних хвиль на сліді від ракети, при розсіянні хвиль в атмосфері Венери та інших планет Сонячної системи. Розв'язки цих задач потребують відмови використання кореляційної теорії стаціонарних випадкових функцій або однорідних випадкових полів та залучення таких моделей кореляційних функцій, які б урахували статистичну нестационарність або неоднорідність.

У цій статті розглянута задача про знаходження поля, яке створюється системою флюктуючих джерел, що знаходяться на екрані. Нехай кореляційна функція джерел не припускається сепарабельною та розподіл поля на екрані є неоднорідним випадковим полем першого рангу або є сумою сепарабельного поля та статистично неоднорідного поля першого рангу. Для знаходження розв'язку в наближенні параболічного рівняння запропоновано метод занурення у відповідний гільбертів простір, який дозволяє швидко та ефективно відшукувати статистичні характеристики розв'язку. Як приклад розглянуто вплив статистичної неоднорідності на функцію інтенсивності екрану, який світиться та має форму круглого диску. Отримана кореляційна функція поза екраном, яка містить інформацію про розмір та характер неоднорідності випромінюючих джерел на екрані, що світиться.

Далі методом плавних збурень аналізуються флюктуації фази та амплітуди плоскої хвилі, яка поширюється в статистично неоднорідній атмосфері.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Проаналізуємо проходження хвилі крізь випадкове середовище або шар такого

середовища. Якщо припустити, що товщина середовища або шару достатньо мала, наприклад, екран, що світиться, то можна скористатися наближенням тонкого екрану, урахувавши, що поле поза екрану створюється системою флюктуючих джерел, які містяться на площині. Імовірнісні властивості джерел припускаються відомими.

У наближенні параболічного рівняння для комплексної амплітуди $A(\vec{r}, z)$ (вісь z спрямована вздовж напрямку поширення хвилі) отримуємо задачу Коші

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + i \frac{1}{2k} \Delta_{\perp} \right) A(\vec{r}, z) = 0, \quad A|_{z=0} = A_0(\vec{r}), \quad (1)$$

де $\vec{r} = (x, y)$, а $A_0(\vec{r})$ випадкове поле з $MA_0(\vec{r}) \equiv 0$

та відомою кореляційною функцією. Ця задача у випадку, коли поле в площині $z=0$ є статистично однорідним, досліджена в [6, 7]. Разом із тим практичний інтерес викликають задачі, коли поле $A_0(\vec{r})$ є статистично неоднорідним.

Випадок, коли кореляційна функція поля $A_0(\vec{r})$

має вигляд $K_{A_0 A_0}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = K_0 \left(\frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2} \right) K(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$

(сепарабельна кореляційна функція) детально досліджено в [8, 9, 10, 11], де побудовано модель турбулентної атмосфери Венери.

Сепарабельність кореляційної функції використовується у випадку, коли $l_{A_0} \ll L$ де L – характерний масштаб змінювання дисперсії поля, середнього поля та коефіцієнту кореляції поля за аргументом $\frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2}$, а l_{A_0} – радіус кореляції поля за аргументом $\vec{r}_2 - \vec{r}_1$, тобто статистичні характеристики поля плавно змінюються. Таким чином, кореляційна функція однорідного поля моделюється функцією, яка повільно змінюється.

Викладання основного матеріалу досліджень.

У цій статті розглядатиметься більш загальна модель статистично неоднорідного екрану, яка характеризується кореляційною функцією вигляду

$$K_{A_0 A_0}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \tilde{K}_{AA}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) + \int \int \int_0^{\infty} \varphi(\vec{r}_1 + \vec{\tau}) \overline{\varphi(\vec{r}_2 + \vec{\tau})} dV_{\tau}, \quad (2)$$

де $\tilde{K}_{AA}(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$ сепарабельна кореляційна функція.

Це зображення відповідає випадковому полю на екрані, що є сумою сепарабельного поля та неоднорідного випадкового поля першого рангу, у якого істотно змінюється радіус кореляції на відстані l_{A_0} . Для з'ясування фізичного змісту сепарабельності кореляційної функції та для з'ясування фізичних можливостей моделей статистично неоднорідних полів, які вивчаються в статті, розглянемо випадкове

поле $A_0(\vec{r})$, яке створене системою некорельованих статистично неоднорідних джерел:

$$A_0(\vec{r}) = \sum_{k=1}^n A_k(\vec{r}), \quad A_k(\vec{r}) = a_k(\vec{r}) \xi_k(\vec{r}), \quad (3)$$

де $a_k(\vec{r})$ детерміновані функції, $\xi_k(\vec{r})$ некорельовані статистично неоднорідні поля першого рангу [12].

Нехай спочатку джерела мають однаковий закон спадання, тобто $a_k(\vec{r}) = C_k e^{\vec{a} \cdot \vec{r}}$, а $\xi_k(\vec{r})$ статистично однорідне поле, тоді

$$K_{A_0 A_0}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = F \left(\frac{\vec{r}_1 + \vec{r}_2}{2} \right) \widetilde{K_{A_0 A_0}}(\vec{r}_2 - \vec{r}_1), \quad (4)$$

тобто кореляційна функція задовольняє умові сепарабельності.

Таким чином, сепарабельність кореляційної функції відповідає не тільки плавності просторового або часового змінювання статистичних неоднорідностей на масштабі кореляції, але означає й некорельованість статистично неоднорідних полів, які мають однакові закони змінювання інтенсивності виду.

Модель (2), яка вивчається в цій статті, не припускає некорельованості джерел та збігу законів змінювання інтенсивностей та тому відповідає системі джерел з істотно відмінними інтенсивностями та законами їхнього змінювання в напрямку поширення хвилі в поперечній площині.

Повернемось до (1) та вкладемо $A_0(\vec{r})$ до гільбертового простору H_{A_0} , тоді отримуємо допоміжну задачу у гільбертовому просторі

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + i \frac{1}{2k} \Delta_f \right) \widehat{A}(\vec{r}, z) = 0, \quad \widehat{A} \Big|_{z=0} = \widehat{A_0}(\vec{r}), \quad (5)$$

$$K_{AA}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, z) = \left\langle \widehat{A}(\vec{r}_1, z), \widehat{A}(\vec{r}_2, z) \right\rangle_{H_{A_0}}, \quad (6)$$

де дужки $\langle \cdot, \cdot \rangle$ означають скалярний добуток у гільбертовому просторі H_{A_0} .

Розглянемо випадок еволюційно зображеного поля $\widehat{A_0}(\vec{r}) = e^{i\vec{x}B_1 + i\vec{y}B_2} f_0$, $f_0 \in H_{A_0}$, та $[B_1, B_2] = 0$. Тоді розв'язок задачі Коші в цьому випадку набуває вигляду

$$\widehat{A}(\vec{r}, z) = e^{\frac{i}{2k}(B_1^2 + B_2^2)z + i\vec{x}B_1 + i\vec{y}B_2} f_0. \quad (7)$$

Тоді для поперечної кореляційної функції

$$K_{AA}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, z) = \left\langle e^{\frac{i}{2k}(B_1^2 + B_2^2)z + i\vec{x}_1 B_1 + i\vec{y}_1 B_2} f_0, e^{\frac{i}{2k}(B_1^2 + B_2^2)z + i\vec{x}_2 B_1 + i\vec{y}_2 B_2} f_0 \right\rangle. \quad (8)$$

З (8) видно, що для статистично однорідного поля $(B_1 = B_1^*, B_2 = B_2^*)$ поперечна кореляційна функція не залежить від z .

У випадку, якщо розв'язок параболічного рівняння обмежений для всіх x_1 та y_1 , то оператори B_1 та B_2 є подібними до самоспряжених

$$K_{AA}(\vec{r}_1, \vec{r}_2, z) = \left\langle C^* C e^{\frac{i}{2k}(\vec{B}_1^2 + \vec{B}_2^2)z + i\vec{x}_1 \vec{B}_1 + i\vec{y}_1 \vec{B}_2} \tilde{f}_0, e^{\frac{i}{2k}(\vec{B}_1^2 + \vec{B}_2^2)z + i\vec{x}_2 \vec{B}_1 + i\vec{y}_2 \vec{B}_2} \tilde{f}_0 \right\rangle, \quad (9)$$

де $\tilde{B}_j$ самоспряжені оператори, а C оператор, який здійснює подібність.

Надалі для спрощення обмежимося випадком коли $A_0(\vec{r}) = A_0(x)$, тобто не залежить від y . Нехай $A_0(x) \equiv 0$ при $x < 0$ та $A_0(x) = e^{iB_1 x} f_0$ при $x \geq 0$. Використовуючи (8) для $K_{AA}(x_1, x_2, z)$ отримуємо вираз

$$K_{AA}(x_1, x_2, z) = \frac{k}{4z} \int_0^\infty \int_0^\infty e^{\frac{-ik}{2z}[(x_1 - \xi)^2 - (x_2 - \eta)^2]} \left\langle e^{i\xi B_1} f_0, e^{i\eta B_1} f_0 \right\rangle d\xi d\eta. \quad (10)$$

Тоді у випадку дискретного спектру оператора B_1 , коли дані при $z = 0$ є процесом Барі-Ріса [13], для кореляційної функції $K_{AA}(x_1, x_2, z)$ отримуємо зображення

$$K_{AA}(x_1, x_2, z) = \frac{k}{4z} \sum_{k=1}^\infty |C_k|^2 \Phi_k(z, x_1) \overline{\Phi_k(z, x_2)}, \quad (11)$$

$$\text{де } \Phi_k(z, x) = \int_0^\infty e^{\frac{-ik}{2z}(x-u)^2 + iu\lambda_k} du. \quad (12)$$

У випадку дискретного спектру оператора B_1 , коли $e^{iB_1 x} f_0$ не є процесом Барі-Ріса, також можна отримати вираз для кореляційної функції.

Чисельний аналіз зображення для кореляційної функції

$$K_{AA}(x, x, z) = \frac{k}{4z\beta_1^2} \left| \int_0^\infty e^{\frac{ik}{2z}(x-u)^2 + i\left(\alpha_1 + i\frac{\beta_1^2}{2}\right)u} du \right|^2 \quad (13)$$

у випадку, коли статистична неоднорідність середовища породжується наявністю в спектрі лише одного комплексного числа, показує, що залежність (13) від x при різних (але фіксованих) значеннях решти параметрів має монотонно спадаючий характер (рис. 1), однак, ця монотонність порушується, якщо розглядати сімейства кривих, змінюючи α, β, z, k .

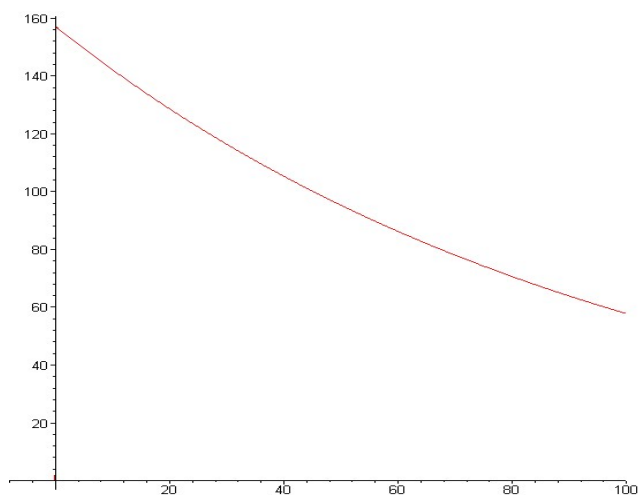


Рис. 1. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від x при $\alpha_1 = 1$, $u = 100000$; $z = 0,01$; $\beta_1 = 1$; $k = 10^5$

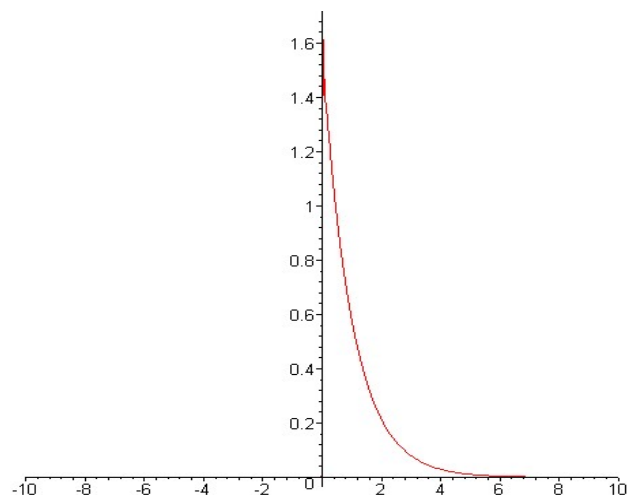


Рис. 2. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від x при $u = 100000$; $z = 1$; $\alpha_1 = 10$; $\beta_1 = 1$; $k = 10^5$

При цьому з'являються осциляції зі спадаючою

обвідною (рис. 2–7).

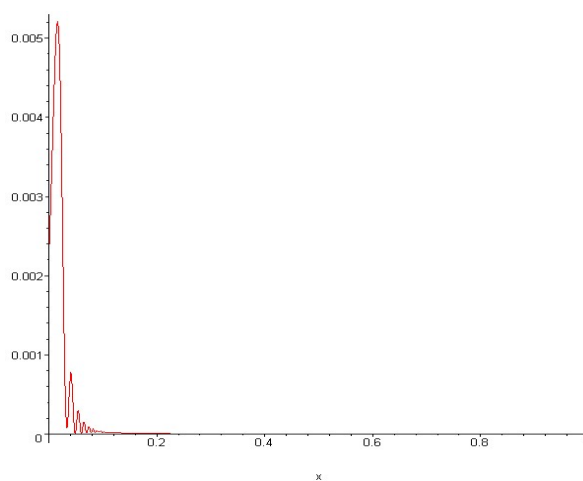


Рис. 3. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від x при $u = 100000$; $z = 10$; $\alpha_1 = 1$; $\beta_1 = 10$; $k = 10^5$

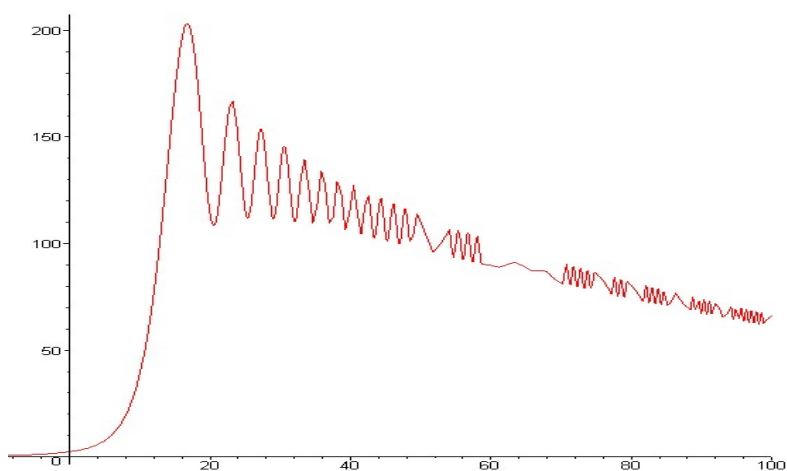


Рис. 4. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від x при $u = 100000$; $z = 0,01$; $\alpha_1 = 1$; $\beta_1 = 0,1$; $k = 10^{-3}$

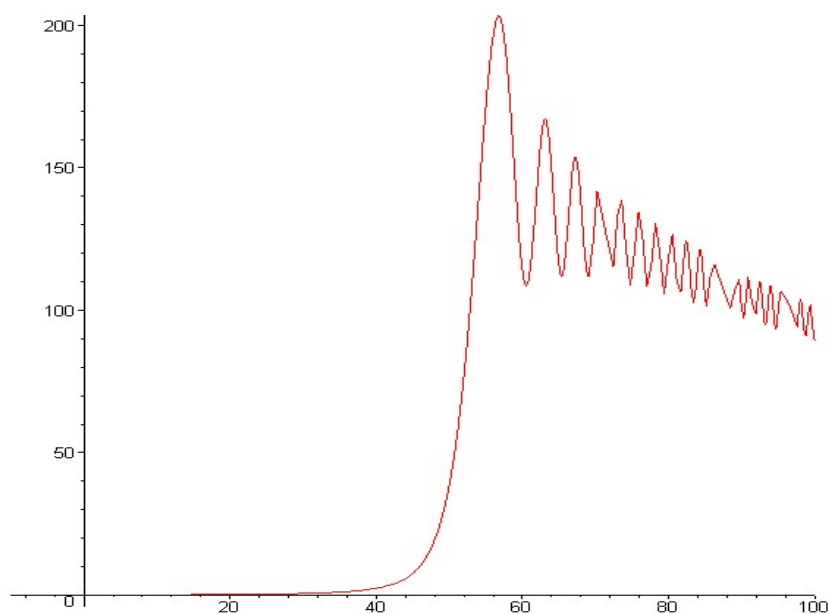


Рис. 5. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від x при $u = 100000; z = 0,01; \alpha_1 = 5; \beta_1 = 0,1; k = 10^{-3}$

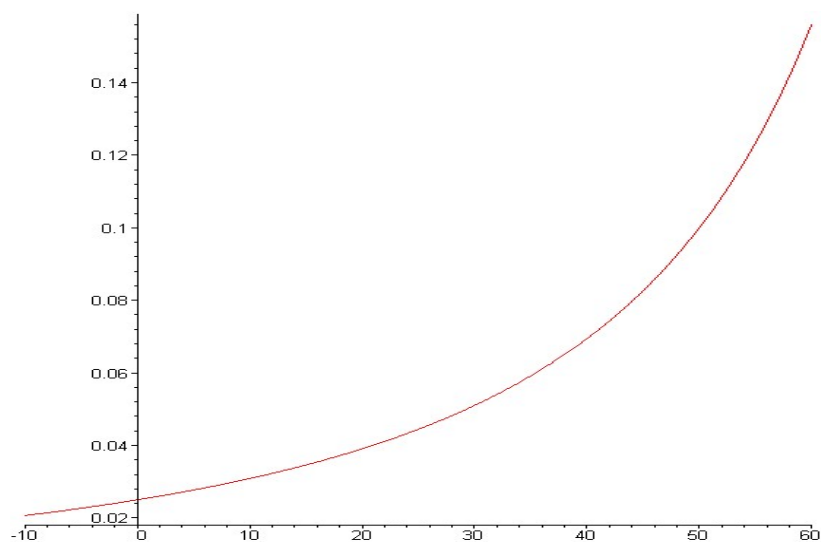


Рис. 6. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від x при $u = 100000; z = 0,01; \alpha_1 = 10; \beta_1 = 0,1; k = 10^{-3}$

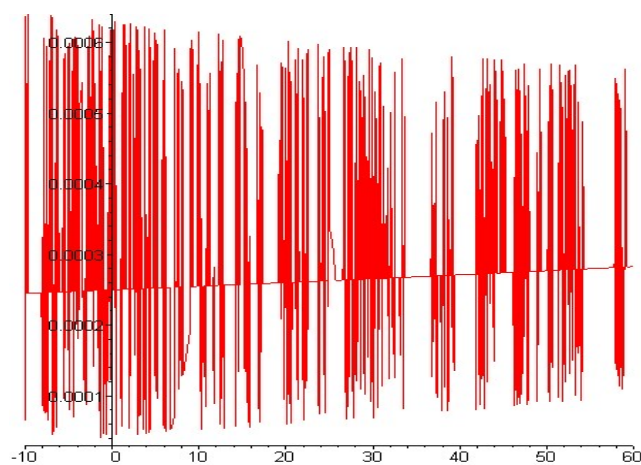


Рис. 7. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від x при $u = 100000; z = 0,01; \alpha_1 = 100; \beta_1 = 0,1; k = 10^{-3}$.

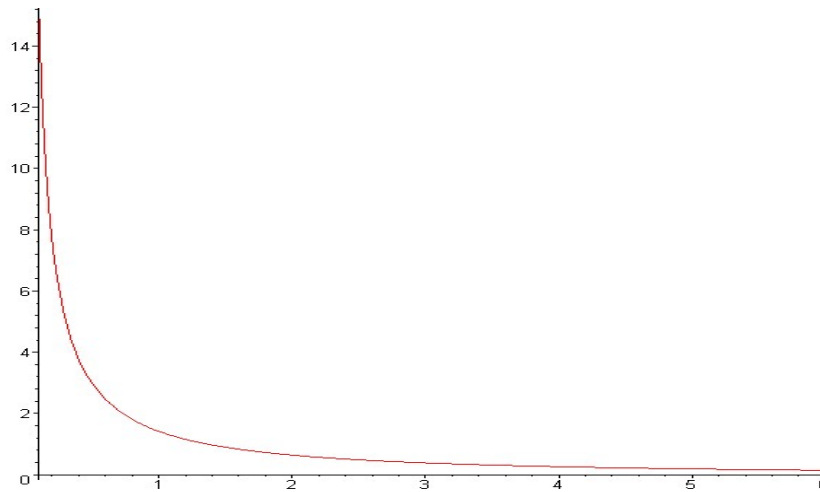


Рис.8. Залежність функції $K_{AA}(x, x, z)$ від β_1 при $u = 100000$; $x = 0, 1$; $\alpha_1 = 1$; $k = 10^5$; $z = 0, 1$.

Залежність від β при фіксованих, але різних значеннях решти параметрів має швидко спадаючий монотонний характер (рис. 8). Це цілком природно, через те що розглядається модель середовища, яка має властивість асимптотичного затухання.

З (2) та (10) витікає, що в загальному випадку

$$K_{AA}(x_1, x_2, z) = \frac{k}{4z} \int_0^\infty \int_0^\infty \Phi(z, x_1, \tau) \overline{\Phi(z, x_2, \tau)} d\tau + K_{AA}^0(x_1, x_2, z),$$

де $\Phi(z, x_1, u) = \int_0^\infty e^{-\frac{ik}{2z}(x_1-u)^2} \varphi(u + \tau) d\tau$, $K_{AA}^0(x_1, x_2, z)$ відповідає сепарабельної кореляційної функції, а вираз для $\varphi(u)$ отримано у [12].

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Моделі нестационарних функцій, які отримано в статті, дозволяють урахувати статистичну неоднорідність середовища, наприклад, при дослідженні поширення електромагнітних хвиль поблизу межі випадкового середовища.

Моделіні зображення для кореляційної функції можна отримати для часткових випадків спектру нестационарних випадкових функцій, зокрема, коли коли B_1 вольтерров оператор, та побудувати відповідні дійснозначні кореляційні функції, які містять інформацію про комплексний спектр.

Такий вигляд кореляційної функції відповідає, наприклад, або врахуванню впливу області північ на структуру випадкового поля на екрані, або врахуванню статистичних нерівностей краю екрану, або присутності статистичної неоднорідності системи випромінювачей.

Ці зображення для кореляційної функції комплексної амплітуди можна використати, зокрема, для побудови моделей різноманітних статистично неоднорідних екранів. Таким чином, розглядаючи завдання, подібні наведеним в даній статті, ми підвищимо зацікавленість і мотивацію майбутніх фахівців до навчання [14–23].

Список літератури

1. Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики / М.: Наука, 1985. – 336с.
2. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидродинамика I ч. / М.: Наука, 1965. – 640 с.
3. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидродинамика II ч. / М.: Наука, 1967. – 720 с.
4. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере / М.: Наука, 1967. – 548с.
5. Келлер Д.Б. Распространение волн в случайных средах. Гидродинамическая неустойчивость / М.: Мир, 1964, – С.265-288.
6. Мініков А.О., Тирнов О.Ф., Статистична радіофізика / Харків: Факт, 2003. – 528с.
7. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. II ч. Случайные поля / М.: Наука, 1978. – 464с.
8. Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах т.1 / М.: Мир, 1981. – 279с.
9. Исмару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах т.2 / М.: Мир, 1981. – 317с.
10. Ishimaru Akira A New Approach to the Problem of Wave Fluctuations in Smoothly Varying Turbulence // IEEE Trans., Vol. AP-21, №1, 1973, p.47-53.
11. Woo R., Ishimaru A. Effects of Turbulence in a Planetary Atmosphere on Radio Occultation // IEEE Trans., vol. AP-22, №4, 1974 pp 566-573.
12. Шаронова Н.В., Черемская Н.В. Корреляционная теория одного класса неоднородных случайных полей // Вестник Херсонского технического университета. – 2004. – №1(19). – С.343-348.
13. Гохберг И.Ц., Крейн М.Г. Введение в теорию линейных несамосопряженных операторов / М., 1965. – 448с.
14. 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 «ХПІ». – с.320.
15. Бухкало С.І. Деякі моделі процесів хімічного спінювання вторинного поліетилену // Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ». 2017. № 18 (1240). – С. 35–45.
16. Говоров П.П., Бухкало С.І., Кіндінова А.К., Говорова К.В. Енергоефективна система знезараження води на основі світлодіодних джерел світла. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2020. – № 5(1359). С. 19–25.

17. Бухкало С.І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПП // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
18. Бухкало С.І. Визначення прикладів технологій дослідження у наукових роботах студентів. III міжн. конф. студентів та аспірантів «Сучасні технології харчових виробництв», 14–15 2020, Дніпро, Д.; Ліра, ДНУ ім. Олеса Гончара, с. 42–46.
19. Бухкало С.І. Агейчева А.О., Агейчева О.О., Бабаш Л.В., Піщичкіна Н.Г. Методичні аспекти реформування дистанційного навчання в системі вищої освіти. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ», 2020. № 5(1359). С. 3–10.
20. Kapustenko P., Klemes J.J., Arsenyeva O., Bukhkalov S., Fedorenko O., Kusakov S. The Utilisation of Waste Heat from Exhaust Gases after Drying Process in Plate Heat Exchanger. Chemical Engineering Transactions, 81, 589-594.
21. Bilous O., Sytnik N., Bukhkalov S., Glukhykh V., Sabadosh G., Natarov V., Yarmysh N., Zakharkiv S., Kravchenko T., & Mazaeva V. Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, (2019), 6(11(102)), 66–73.
22. Бухкало С.І. Синергетичні моделі для екологічнобезпечних процесів ідентифікації-класифікації вторинних полімерів. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – № 18(1294). – С. 36–44.
23. Bukhkalov S.I., Klemes J.J., Tovazhnyanskyy, L.L., Kapustenko, P.O., Arsenyeva, O.P., & Perevertaylenko, O.Yu. 2018. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical engineering transactions, 70, 2018, 2047–2052.
11. Woo R., Ishimaru A. Effects of Turbulence in a Planetary Atmosphere on Radio Occultation // IEEE Trans., vol. AP-22, No. 4, 1974, pp. 566–573.
12. Sharonova N.V., Cheremskaya N.V. Korrelyatsionnaya teoriya odnogo klassa neodnorodnykh sluchaynykh poley // Vestnik Khersonskogo tekhnicheskogo universiteta. 2004. – No. 1(19), – pp. 343-348.
13. Gokhberg I.T.S., Kreyn M.G. Vvedeniye v teoriyu lineynykh nesamosopryazhennykh operatorov / M., 1965. – 448с. Borisenko A. I., Tarapov I. E. Vektornyj analiz i nachala tenzornogo ischisleniya : ucheb. posobie dlya vuzov. – Har'kov: Vishcha shk.; Izd-vo pri Har'k. gos. un-te, 1986. – 216 p.
14. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhkalov S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII mizhnarodnoї naukovy-praktichnoї konferenciji MicroCAD-2019, 15-17 travnja 2019.: Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kh: NTU «KhPI». – p.320.
15. Bukhkalov S.I. Dejaki modeli procesiv himichnogo spinjuvannja vtorinnogo polietilenu // Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI». 2017. No. 18 (1240), pp. 35–45.
16. Govorov P.P., Bukhkalov S.I., Kindinova A.K., Govorova K.V. Energoefektivna sistema znezarazhennja vodi na osnovi svitlodiodnih dzherel svitla. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – No. 5(1359), – pp. 19–25.
17. Bukhkalov S.I. Modeli energetichnogo miksu dlja uutilizacii polimernoї chastki TPV // Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI». 2016. – No. 19 (1191), – pp. 23–32.
18. Bukhkalov S.I. Viznachennja prikladiv tehnologij doslidzhennja u naukovih robotah studentiv. III mizhn. konf. studentiv ta aspirantiv «Suchasni tehnologii harchovih virobnictv», 14–15 2020, Dnipro, D.; Lira, DNU im. Olesja Gonchara, – pp. 42–46.
19. Bukhkalov S.I. Agejcheva A.O., Agejcheva O.O., Babash L.V., Pshichkina N.G. Metodichni aspekti reformuvannja distancijnogo navchannja v sistemi vishhoї osviti. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI», 2020. No. 5, – pp. 3–10.
20. Kapustenko P., Klemes J.J., Arsenyeva O., Bukhkalov S., Fedorenko O., Kusakov S. The Utilisation of Waste Heat from Exhaust Gases after Drying Process in Plate Heat Exchanger. Chemical Engineering Transactions, 81, 589-594.
21. Bilous O., Sytnik N., Bukhkalov S., Glukhykh V., Sabadosh G., Natarov V., Yarmysh N., Zakharkiv S., Kravchenko T., & Mazaeva V. Development of a food antioxidant complex of plant origin. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, (2019), 6(11(102)), 66–73.
22. Bukhkalov S.I. Sinergetichni modeli dlja ekologichnobepechnih procesiv identifikacii-klasifikacii vtorinnih polimeriv. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2018. – No. 18(1294), – pp. 36–44.
23. Bukhkalov S.I., Klemes J.J., Tovazhnyanskyy, L.L., Kapustenko, P.O., Arsenyeva, O.P., & Perevertaylenko, O.Yu. 2018. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical engineering transactions, 70, 2018, 2047–2052.
1. Vorontsov M.A., Shmal'gauzen V.I. Printsipy adaptivnoy optiki / M.: Nauka, 1985. – 336 p.
2. Monin A.S., Yaglom A.M. Statisticheskaya gidrodinamika I ch. / M.: Nauka, 1965. – 640 p.
3. Monin A.S., Yaglom A.M. Statisticheskaya gidrodinamika II ch. / M.: Nauka, 1967. – 720 p.
4. Tatarskiy V.I. Rasprostraneniye voln v turbulentnoy atmosfere / M.: Nauka, 1967. – 548 p.
5. Keller D.B. Rasprostraneniye voln v sluchaynykh sredakh. Gidrodinamicheskaya neustoychivost' / M.: Mir, 1964, – pp. 265-288.
6. Minikov A.O., Timov O.F., Statistichna radiofizika / Kharkiv: Fakt, 2003. – 528 p.
7. Rytov S.M., Kravtsov YU.A., Tatarskiy V.I. Vvedeniye v statisticheskuyu radiofiziku. II ch. Sluchaynyye polya / M.: Nauka, 1978. – 464 p.
8. Ishimaru A. Rasprostraneniye i rasseyaniye voln v sluchayno-neodnorodnykh sredakh t.1 / M.: Mir, 1981. – 279 p.
9. Ishimaru A. Rasprostraneniye i rasseyaniye voln v sluchayno-neodnorodnykh sredakh t.2 / M.: Mir, 1981. – 317 p.
10. Ishimaru Akira A New Approach to the Problem of Wave Fluctuations in Smoothly Varying Turbulence // IEEE Trans., Vol. AP-21, No. 1, 1973, pp. 47–53.

References (transliterated)

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Черемська Надія Валентинівна (Черемская Надежда Валентиновна, Cheremskaya Nadezhda Valentinovna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; тел.: (050) 225-15-44; e-mail: cheremskaya66@gmail.com

*Л. М. КАСЬЯНЕНКО, І. М. ДЕМИДОВ, С. М. МОЛЬЧЕНКО, А. О. ДЕМИДОВА***ВИКОРИСТАННЯ ЕПОКСИДОВАНОЇ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОМАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Впродовж останнього часу екологічність є вагомим фактором для вибору мастильних матеріалів, тому у світовій практиці переважає тенденція до зниження ролі нафти і нафтопродуктів. Однією з можливих альтернатив для технології мастильних матеріалів є використання продуктів окиснення жирів та олій, насамперед, соняшникової олії. Більшість існуючих робіт присвячена хімічній обробці олій, як присадки до нафтопродуктів. Об'єктом дослідження є процес епоксидування соняшникової олії над оцтовою кислотою. Метою роботи є розробка технології одержання мастильних матеріалів на основі соняшникової олії шляхом епоксидування олії з наступним хімічним перетворенням продукту для отримання основи мастильних матеріалів. Виготовлено зразки мастильних оли в на основі соняшникової олії. Визначено в'язкісно-температурні властивості отриманих продуктів. Результати проведеної роботи вказують на перспективність і доцільність подальших досліджень в галузі одержання кисневмісних похідних олій з метою визначення оптимальних умов проведення зазначеної хімічної модифікації.

Ключові слова: біомастильні матеріали, соняшникова олія, жирні кислоти, хімічна модифікація, епоксидування, в'язкісно-температурна характеристика.

*Л. Н. КАСЬЯНЕНКО, И. Н. ДЕМИДОВ, С. Н. МОЛЬЧЕНКО, А. А. ДЕМИДОВА***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭПОКСИДИРОВАННОГО ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОСМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В последнее время экологичность является весомым фактором при выборе смазочных материалов, поэтому в мировой практике преобладает тенденция к снижению роли нефти и нефтепродуктов. Одной из возможных альтернатив для технологии смазочных материалов является использование продуктов окисления жиров и масел, прежде всего, подсолнечного масла. Большинство существующих работ посвящено химической обработке масел, как присадки к нефтепродуктам. Объектом исследования выступает процесс эпоксидирования подсолнечного масла перексусной кислотой. Целью работы является разработка технологии получения смазочных материалов на основе подсолнечного масла путем эпоксидирования масла с последующим химическим превращением продукта для получения базы смазочных материалов. Изготовлены образцы смазочных масел на основе подсолнечного масла. Определены вязкостно-температурные свойства полученных продуктов. Результаты проведенной работы указывают на перспективность и целесообразность дальнейших исследований в области получения кислородсодержащих производных масел с целью определения оптимальных условий проведения указанной химической модификации.

Ключевые слова: биосмазочные материалы, подсолнечное масло, жирные кислоты, химическая модификация, эпоксидирование, вязкостно-температурная характеристика.

*L. KASIANENKO, I. DEMIDOV, S. MOLCHENKO, A. DEMIDOVA***USING EPOXY SUNFLOWER OIL OF OBTAINING BIOLUBRICATS**

Recently, environmental friendliness has been a significant factor in the choice of lubricants therefore, in world practice, a tendency towards a decrease in the role of oil and oil products prevails. One of the possible alternatives for the lubricant technology is the use of fats and oils oxidation products, primarily sunflower oil. Most of the existing works are devoted to the chemical treatment of oils as additives to petroleum products. The object of the research is the process of epoxidation of sunflower oil with peracetic acid. The thesis is devoted to development of technology for production of lubricants based on sunflower oil. The paper establishes a research on methods for basic oils obtaining from alternative sources, including vegetable oil processing. During the research lubricant samples, based on sunflower oil, were made. In these samples viscosity-temperature properties were determined. The results of this work indicate the prospects and feasibility of further research in the field of obtaining oxygen-containing derivatives of vegetable oils in order to determine the optimum conditions for carrying out the abovementioned chemical modifications.

Key words: bio-lubricants, sunflower oil, fatty acids, chemical modification, epoxidation, viscosity-temperature characteristic.

Вступ. В останні десятиліття в рамках Київського протоколу та подальших директив стоїть гостро питання поліпшення екології в країнах Західної Європи, оскільки використання нафтових мастил для двотактних двигунів призводить до негативних наслідків через токсичність відпрацьованих газів [1, 2]. Світовий обсяг виробництва мастильних матеріалів становить приблизно 41 млн. т/рік, серед усього їх різноманіття переважають мастила [3]. Відпрацьовані нафтопродукти токсичні, мають невисокий ступінь біорозкладності (10-30%). А висока вартість і дефіцитність синтетичних мастил, при біорозкладності близької до рослинних жирів (85-90%), істотно обмежують їх виготовлення [4].

Дуже важливим є той факт, що використання жирів та олій, а також відходів їх переробки,

можливо у виробництві практично всіх видів мастильних матеріалів. Для того щоб рідкі рослинні мастила могли конкурувати з нафтовими, вони повинні відповідати таким же трибологічним характеристикам (тертя, змащування і зношування), як вище вказані. Тому до структури триацилгліцеролів (ТАГ) олій вводять додаткові функціональні групи, що покращують характеристики біомастил та отриманий продукт не стає менш екологічним.

Метою роботи є розробка технології одержання мастильних матеріалів на основі епоксидованої соняшникової олії шляхом взаємодії останньої з жирними кислотами (ЖК) для отримання основи мастильних матеріалів.

© Касьяненко Л.М., Демидов І.М., Мольченко С.М., Демидова А.О., 2020

від часу проведення реакції при співвідношенні пероксиду водню до вихідної суміші 1:1,2.

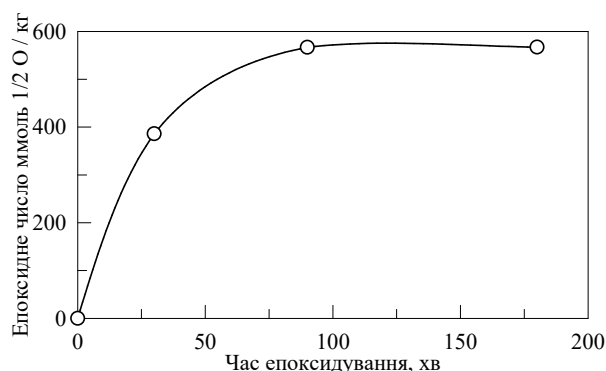


Рис. 2 – Залежність епоксидного числа від часу проведення реакції.

На рисунку спостерігається поступове збільшення епоксидного числа, яке в певний момент досягає свого максимуму – 580 ммоль $\frac{1}{2}O$ /кг. З часом цей максимум збігається з досягненням мінімального значення йодного числа. Максимальне значення епоксидного числа не відповідає зміні йодного числа, що свідчить про те, що частина епоксидів перетворилася на гідроксильні групи, а також частина подвійних зв'язків зменшилася за рахунок полімеризації олії. Ефірне число в отриманих зразках майже не змінювалося та знаходилося у діапазоні від 190 до 220 мг КОН/г, що свідчить про незначну взаємодію утворених епоксидів з оцтовою кислотою, що призводить до утворення естерів. Кислотне число отриманих зразків менше 2 мг КОН/г.

Було досліджено значення ЙЧ епоксидованої соняшникової олії за температур: 55, 70, 75 та 85 °С. На рис. 3 приведено залежність ЙЧ від часу епоксидування при різних температурах.

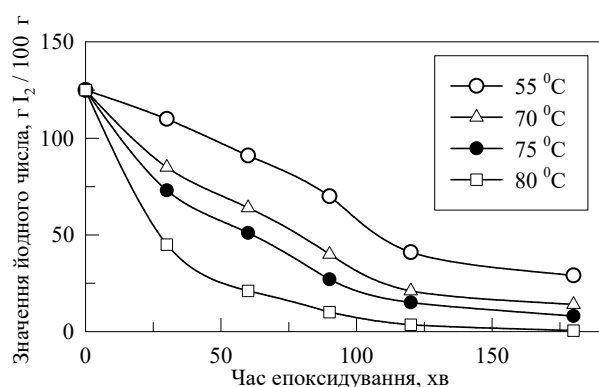


Рис. 3 – Залежність ЙЧ від температури епоксидування.

З рис. 3 видно, що зі збільшення температури процесу ЙЧ стрімко знижується. Результати епоксидування за температури 85 °С виявилися кращими ніж за температур 55, 70, 75 °С, оскільки, значення ЙЧ за однаковий час досягло найменших значень. Величини достовірності апроксимації

становлять: при $t = 55\text{ °C}$ $R^2 = 0,9702$, для 70 °C – $R^2 = 0,8933$, 75 °C – $R^2 = 0,8251$, 85 °C – $R^2 = 0,7723$.

За результатами досліджень було обрано кращі умови епоксидування: температура – 85 °С, час – 240 хв, масове співвідношення олія : пероксид водню – 1:1,2, маса каталізатору – 0,008 %. Отриманий продукт повинен володіти характерними мастильними властивостями за рахунок хемосорбції на поверхні, однак вона потребує подальшого аналізу його трибологічних характеристик. Однією з таких характеристик є в'язкісно-температурна залежність отриманих матеріалів. На рис. 4 показана залежність в'язкості від температури отриманих зразків та порівняння в'язкості з рициковою та соняшниковою оліями.

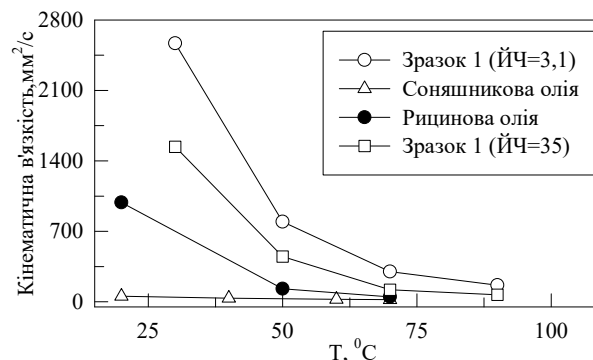


Рис. 4 – Залежність в'язкості від температури.

Найкраща в'язкісно-температурна характеристика у зразка 1, оскільки, зменшення йодного числа призводить до збільшення значення в'язкості. Кінематична в'язкість отриманого зразку складає 2568 мм²/с, що значно вище за в'язкість вихідної соняшничкової олії – 55 мм²/с та більша за в'язкість рицикової олії – 987 мм²/с. Однак з подальшим зменшенням йодного числа олія змінює свій реологічний стан – з рідкої на мазеподібну консистенцію, що потребує подальшого розбавлення мастильного матеріалу.

Для зниження в'язкості запропоновано додавання низькомолекулярних ефірів епоксидованих олій, що характеризуються низькою в'язкістю.

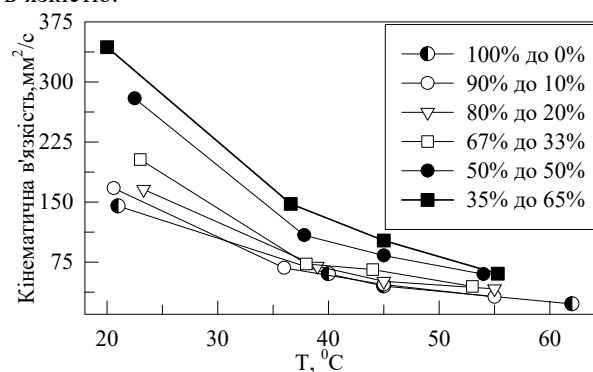


Рис. 5 – В'язкісно-температурна характеристика епоксидованого продукту та його розбавлених бутиловими ефірами зразків.

За відомою методикою «Розробка технології отримання жирних кислот бутилових ефірів» [17] було отримано бутилові ефіри вже проепоксидованої соняшникової олії.

На рис. 5 приведено в'язкісно-температурну характеристику епоксидованого продукту та його розбавленні бутиловими ефірами зразки (співвідношення вказано на графіку бутилові ефіри% до епоксидованої олії%).

З відомих джерел [18] кінематична в'язкість при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ мінерального мастила Такт-2Т становить $76,2\text{ мм}^2/\text{с}$, а з рисунку 5 можна стверджувати, що потрібну в'язкість можливо досягнути розбавляючи епоксидовану олію бутиловими ефірами у представлених співвідношеннях.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку досліджень.

Проведні дослідження та аналіз з розробки технології одержання мастильних матеріалів на основі соняшникової олії шляхом її епоксидування та подальшим хімічним перетворенням продукту для отримання основи мастильних матеріалів.

Виготовлені зразки мастильних оли в на основі соняшникової олії відповідно до визначених технологічних режимів.

Список літератури

1. Директива 2003/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради про сприяння використанню біологічного палива або інших видів поновлюваного палива для транспорту від 08 трав. 2003 р.
2. Директива 2009/28/ЄС про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел від 23 квіт. 2009 р.
3. Павлюк О.В., Суховерхов В.В., Пилявський В.С., Кашковський В.І.. Дослідження N,N-діаліл-(3-арилізооксазол-5-іл)-метилсульфонілфмідів в якості присадок для підвищення несучої здатності синтетичної оли в на основі естеру пентаеритриту та масляної кислоти // Technology audit and production reserves. 2019. Vol. 4, № 3 (48). С. 31–34.
4. Долгова Л.А., Жаткин С.А., Салмин В.В.. Анализ параметров моторного масла и технических устройств, позволяющих контролировать процессы старения моторных масел // Молодой ученый. 2015. Т. 9, № 89. С. 198–201.
5. Евдокимов А.Ю., Фукс И.Г., Шабали Т.П., Багдасаров Л.Н.. Смазочные материалы и проблемы экологии / М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. С. 424.
6. Тютюнников Б.Н., Бухштаб З.И., Гладкий Ф.Ф., Мельник А.П., Бутенев В.П., Демидов И.Н., Тимченко В.К., Перевалов Л.И.. Химия жиров: учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / ред. Кобчикова И.Н. Москва: Колос, 1992. С. 448.
7. Абрамзон, А.А. Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение / Л.: Химия, 1991. С. 304.
8. Schneider M. P. Plant-oil-based lubricants and hydraulic fluids / M. P. Schneider. // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2006. №86. С. 1776–1777.
9. Тюканкина Н. А. Биоорганическая химия / Н. А. Тюканкина, Ю. И. Бауков. М.: Медицина, 1991. 528 с.
10. Dinda S., Patwardhan A.V., Goud V.V., Pradhan N.C.. Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen

peroxide catalysed by liquid inorganic acids // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99, № 2. P. 3737–3744.

Визначено в'язкісно-температурні властивості отриманих продуктів з додаванням низькомолекулярних ефірів епоксидованих оли в: було досліджено в'язкість отриманих зразків та визначено, що в'язкість отриманого зразку значно вища за в'язкість вихідної соняшникової олії.

Отримані результати для розроблених продуктів свідчать про покращення їх трибологічних характеристик та можливість використання у якості основи для мастильних оли в.

Було запропоновано розбавити продукт бутиловими ефірами соняшникової олії. Отже, проаналізувавши характеристики оли в як біосировини бачимо, що за умови розробки методів усунення їх функціональних недоліків шляхом хімічної модифікації, можна успішно їх використовувати для одержання базових біомасил в галузі мастильних матеріалів.

Результати проведеної роботи вказують на перспективність і доцільність подальших досліджень в галузі одержання кисневмісних похідних оли в з метою визначення оптимальних умов проведення зазначеної хімічної модифікації.

11. Goud V.V., Patwardhan A.V., Dinda S., Pradhan N.C.. Kinetics of epoxidation of jatropha oil with peroxyacetic and peroxyformic acid catalysed by acidic ion exchange resin // Chemical Engineering Science. 2007. Vol. 62. P. 4065–4076.
12. Никулишин И.С., Піх З.Г., Шевчук Л.І., Мельник С.Р.. Дослідження процесу епоксидування соєвої олії пероксидною кислотою // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2017. № 87.
13. Сердюк А.А., Касянчук М.Г., Опейда И.А., Ткаченко Т.Н., Сердюк А.И.. Эпоксидирование подсолнечного масла в системах на основе пероксида водорода и органических кислот // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Хімія і хімічна технологія. 2014. Вип. 1. С. 205–210.
14. Campanella A., Fontanini C., Baltanás M.A.. High yield epoxidation of fatty acid methyl esters with performic acid generated in situ // Chemical Engineering Journal. 2008. Vol. 144. P. 466–475.
15. Касьяненко Л. М. Продукти модифікації соняшникової олії як біомасила / Л.М. Касьяненко, І.М. Демидов, С.М. Мольченко. // POLISH JOURNAL OF SCIENCE. 2020. №34. С. 47–51.
16. Товажнянський Л.Л., Бухало С.І., Денисова А.Є., Демидов І.М та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2016. – 470 с
17. Shawkat S.M., Demidov I.N.. Development of technology obtaining fatty acid of butyl esters // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. № 6(57). С. 24–24.
18. Войтов В.А., Сысенко И.И., Кравцов А.Г.. Критерий оценки качества моторного масла для двухтактных двигателей внутреннего сгорания // Проблемы трибологии. 2014. № 2. С. 29–37.

References (transliterated)

Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, 2020, № 6 (1360)

1. Dyrektyva 2003/30/ІeS Yevropeiskoho Parlamentu ta Rady pro spriannia vykorystanniu biolohichnoho palyva abo inshykh vydiv ponovliuvanoho palyva dlia transportu vid 08 trav. 2003.
2. Dyrektyva 2009/28/ІeS pro stymuliuvannia vykorystannia enerhii zvidnovliuvanykh dzherel vid 23 kvit. 2009.
3. Pavliuk O.V., Sukhovieiev V.V., Pyliavskiy V.S., Kashkovskiy V.I.. Doslidzhennia N,N-dialil-(3-arylizooksazol-5-il)-metylensulfonilimidiv v yakosti prysadok dlia pidvyshchennia nesuchoi zdutnosti syntetychnoi olyvy na osnovi esteru pentaerytrytu ta maslianoi kysloty // Technology audit and production reserves. 2019. Vol. 4, No. 3 (48), pp. 31–34.
4. Dolhova L.A., Zhatkyn S.A., Salmyn V.V.. Analiz parametrov motornoho masla y tekhnicheskikh ustroystv, pozvoliaushchikh kontrolyrovat protsessy starenia motornykh masel // Molodoi uchenyi. 2015. T. 9, No. 89. pp. 198–201.
5. Evdokymov A.Yu., Fuks Y.H., Shabaly T.P., Bahdasarov L.N.. Smazochnye materiyaly y problemy ekolohyy / M.: HUP Yzd-vo «Neft y haz» RHU nefty y haza ym. Y.M. Hubkina, 2000. 424 p.
6. Tiutiunnykov B.N., Bukhshtab Z.Y., Hladkyi F.F., Melnyk A.P., Butenev V.P., Demydov Y.N., Tymchenko V.K., Perevalov L.Y.. Khymia zhyrov: uchebnyky y uchebnye posobyia dlia studentov vysshykh uchebnykh zavedenyi / red. Kobchikova Y.N. Moskva: Kolos, 1992. 448 p.
7. Abramzon, A.A. Poverkhnostno-aktivnye veshchestva: Svoistva y prymerenye / L.: Khymia, 1991. 304 p.
8. Schneider M. P. Plant-oil-based lubricants and hydraulic fluids / M. P. Schneider. // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2006. No.86, pp. 1776–1777.
9. Tiukankyna N.A. Byoorhanycheskaia khymia / N.A. Tiukankyna, Yu.Y. Baukov. M.: Medysyna, 1991. 528 p.
10. Dinda S., Patwardhan A.V., Goud V.V., Pradhan N.C.. Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen peroxide catalysed by liquid inorganic acids // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99, No. 2, pp. 3737–3744.
11. Goud V.V., Patwardhan A.V., Dinda S., Pradhan N.C.. Kinetics of epoxidation of jatropa oil with peroxyacetic and peroxyformic acid catalysed by acidic ion exchange resin // Chemical Engineering Science. 2007. Vol. 62, pp. 4065–4076.
12. Nykulyshyn I.Ye., Pikh Z.H., Shevchuk L.I., Melnyk S. R.. Doslidzhennia protsesu epoksyduvannia soievoi olii perotstovoioi kyslotoiu // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. 2017. No. 87.
13. Serdiuk A. A., Kasianchuk M. H., Opeida Y. A., Tkachenko T. N., Serdiuk A. Y.. Epoksydyrovanye podsolnechnoho masla v systemakh na osnove peroksyda vodoroda y orhanycheskykh kyslot // Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Ser.: Khimiia i khimichna tekhnolohiia. 2014. Vyp. 1, pp. 205–210.
14. Campanella A., Fontanini C., Baltanás M.A.. High yield epoxidation of fatty acid methyl esters with performic acid generated in situ // Chemical Engineering Journal. 2008. Vol. 144, pp. 466–475.
15. Kasianenko L.M. Produkty modyfikatsii soniashnykovoi olii yak biomastyia / L.M. Kasianenko, I.M. Demydov, S.M. Molchenko. // POLISH JOURNAL OF SCIENCE. 2020. No. 3, pp. 47–51.
16. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Denisova A.C., Demydov Y.N. ta in. Zagal'na tekhnologija harchovoï promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2016. – 470 p.
17. Shawkat S.M., Demidov I.N.. Development of technology obtaining fatty acid of butyl esters // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. 2012. No. 6(57), pp. 24–24.
18. Voitov V.A., Sysenko Y.Y., Kravtsov A.H.. Kryteryi otsenky kachestva motornoho masla dlia dvukhtaktnykh dvigatelei vnutrenneho shoranyia // Problemy trybolohii. 2014. No. 2, pp. 29–37.

Надійшло (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Касьяненко Любов Миколаївна (Касьяненко Любовь Николаевна, Kasianenko Liubov) – аспірант кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-4631-0448>;

e-mail: ljubovkasyanenko@gmail.com

Демидов Ігор Миколайович (Демидов Игорь Николаевич, Demydov Ihor) – доктор технічних наук, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

<https://orcid.org/0000-0001-5854-0833>;

e-mail: demigon50@ukr.net

Мольченко Світлана Миколаївна (Мольченко Светлана Николаевна, Molchenko Svitlana) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

<https://orcid.org/0000-0001-7897-8947>;

e-mail: molchenko.svetlana@gmail.com

Демидова Анастасія Олександрівна (Демидова Анастасия Александровна, Demydova Anastasia) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

<https://orcid.org/0000-0001-7897-8947>;

e-mail: ademidova2016@gmail.com

N. V. KONDRATIUK, Ye. A. POLYVANOV, O. Yu. VIENKO, I. P. HONCHARENKO

SCIENTIFIC ASPECTS OF DEVELOPMENT AND ENRICHMENT OF DRY MIXTURES FOR THE PRODUCTION OF GLUTEN-FREE CULINARY PRODUCTS

The article is devoted to a relevant topic aimed at solving the problem of expanding the range of gluten-free food products. The production of gluten-free products is associated not only with congenital pathology - celiac disease, but also with a sharp decrease in the enzymatic activity of assimilating proteins, not only wheat flour. The main share in the Ukrainian market of such goods is occupied by imported products, which are much more expensive, or domestic products, but containing expensive imported components. As a result of research, a recipe for gluten-free pancakes was developed based on a mixture of dry ingredients with corn, rice, amaranth flour. The optimum moisture content of the dough and the dosage of components for baking at home or in the conditions of restaurant enterprises have been established. A technology for preparing dough from a mixture by adding a hydromodule followed by a short-term exposure is proposed. It is shown that the exposure of a mixture of dry components has a positive effect on the taste and quality of culinary flour products, and the use of an enzyme complex, amaranth flour and a double-acting baking powder makes it possible to increase the form-holding capacity of the dough and finished products after heat treatment. Calculations of the cost and nutritional value of gluten-free pancakes based on a mixture of dry components have been made. The results obtained prove that the developed products do not contain gluten, are characterized by increased biological value and lower cost in comparison with existing analogues.

Keywords: gluten-free flour, amaranth flour, product cost, nutritional value, bakery enzymes

Н. В. КОНДРАТЮК, Є. А. ПОЛИВАНОВ, О. Ю. ВІСНКО, І. П. ГОНЧАРЕНКО

НАУКОВІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ТА ЗБАГАЧЕННЯ СУХИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БЕЗГЛЮТЕНОВИХ КУЛІНАРНИХ ВИРОБІВ

Стаття присвячена актуальній темі, спрямованій на вирішення проблеми розширення асортименту безглютенових продуктів харчування. Виробництво безглютенової продукції пов'язане не тільки з вродженою патологією - целиацією, а також з різким зниженням ферментної активності засвоєння білків не тільки пшеничного борошна. Основну частку на українському ринку подібних товарів займають продукти імпортного виробництва, які значно дорожче, або продукти вітчизняного виробника, але містять дорогі імпортні складові. В результаті досліджень розроблена рецептура безглютенових панкейків на основі суміші сухих компонентів з кукурудзяного, рисового, амарантового борошна. Встановлено оптимальну вологість тіста і дозування компонентів для випікання в домашніх умовах або в умовах підприємств ресторанного господарства. Запропоновано технологію приготування тіста з суміші шляхом додавання гідромодуля з подальшою нетривалою експозицією, що позитивно впливає на смак і якість кулінарних борошняних виробів, а використання ензимного комплексу, борошна амаранту і розпушувача дозволяє підвищити формоутримуючу здатність тіста та готових виробів після теплової обробки. Отримані результати доводять, що розроблені вироби не містять глютену, характеризуються підвищеною біологічною цінністю і більш низькою собівартістю в порівнянні з існуючими аналогами.

Ключові слова: безглютенова продукція; амарантове, рисов та кукурудзяне борошно; ензими; біологічна цінність.

Н. В. КОНДРАТЮК, Е. А. ПОЛИВАНОВ, А. Ю. ВІЕНКО, И. П. ГОНЧАРЕНКО

НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ СУХИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Статья посвящена актуальной теме, направленной на решение проблемы расширения ассортимента безглютеновых продуктов питания. Производство безглютеновой продукции связано не только с врожденной патологией - целиакией, но и с резким снижением ферментной активности усвоения белков не только пшеничной муки. Основную долю на украинском рынке подобных товаров занимают продукты импортного производства, которые значительно дороже, или продукты отечественного производителя, но содержащие дорогостоящие импортные составляющие. В результате исследований разработана рецептура безглютеновых панкейков на основе смеси сухих компонентов из кукурузной, рисовой, амарантовой муки. Установлена оптимальная влажность теста и дозировка компонентов для выпекания в домашних условиях или в условиях предприятий ресторанного хозяйства. Предложена технология приготовления теста из смеси путем добавления гидромодуля с последующей недлительной экспозицией, что положительно влияет на вкус и качество кулинарных мучных изделий, а использование энзимного комплекса, муки амаранта и разрыхлителя позволяет повысить формоудерживающую способность теста и готовых изделий после тепловой обработки. Полученные результаты доказывают, что разработанные изделия не содержат глютен, характеризуются повышенной биологической ценностью и более низкой себестоимостью в сравнении с существующими аналогами.

Ключевые слова: безглютеновая продукция; амарантовая, рисовая и кукурузная мука; энзимы; биологическая ценность.

Introduction. The problem of insufficient protein intake is exacerbated for people every year. This is primarily due to the low solvency of the majority of the world's population, the low standard of living of the majority of the population, even in developed countries. Secondly, even with sufficient wealth, the proteins that come for assimilation are mostly unbalanced and far from "ideal". The third reason is low enzyme activity, which is lost due to hypodynamic lifestyle and constant stress. Disruption of protein digestion leads to the accumulation of breakdown intermediates, which over time can turn into fats or begin to decompose and form difficult to excrete toxic substances. Therefore, the

search for a comprehensive solution to these problems dictates the creation of modern food technologies with high biological value, high level of digestibility and digestibility of proteins that have a composition as close as possible to the "ideal protein".

Celiac disease, as a special case of protein digestion disorders associated with autoimmune system disorders and the presence of inflammatory diseases, has become an impetus in creating common approaches to the development of food technologies.

© Kondratiuk N.V., Polyvanov Ye.A., Vienko O.Yu., Honcharenko I.P., 2020

According to [1], gluten-free foods are gaining popularity every year, because according to most consumers (especially young people and women) are associated with diet, weight control, high nutritional value and more. One of the main criteria of competitiveness is the price, because according to the results of analytical studies [2] the price of gluten-free products is almost twice as much as 100 g than their counterparts in wheat flour or oatmeal.

According to a preliminary review, the market for gluten-free products (bakery products, snacks and ready-to-eat foods, pizza and pasta, condiments and dressings) is growing [3]. Also, when expanding the range, it is necessary to focus not only on the cost of the product, but also on the attractive sensory characteristics and cooking capabilities both at home and in restaurants. That is to adhere to the slogan: "economical, convenient, fast, useful".

Analysis of literature data and problem statement. The expediency of creating new recipes and technologies of specialized products is due to their high demand among the population and a limited range [4]. This includes gluten-free foods, indispensable in the daily diet of people with celiac disease [5], or those who carefully take care of their own weight.

In addition to congenital, celiac disease can be acquired, provoked by excessive consumption of high-gluten vegetable protein, severe emotional stress or prolonged pathological effects of other negative factors. Undiagnosed celiac disease, exacerbated by prolonged intoxication with cereal gluten, is one of the causes of secondary immune disorders - type 1 diabetes, mental retardation, ulcers and tumors in the mouth and gastrointestinal tract, epilepsy and some other diseases. .

The main method of treatment of celiac disease is strict lifelong adherence to a gluten-free diet [6, 7].

According to existing facts, almost 1% of the world's population belongs to patients with celiac disease, and 5% of the world's population - are predisposed to this disease and also require a strict diet [8]. Therefore, today it is quite popular to follow a gluten-free diet for people who do not have a clinically confirmed diagnosis, in order to prevent celiac disease and its accompanying symptoms.

Currently, a small set of products (Gluten free products) is used in world practice, where gluten-free cereals such as rice, buckwheat, corn, millet and amaranth are used as basic ingredients [9–12].

Some clinical studies show that patients with celiac disease consume products containing oats without further signs of inflammation of the intestines [13]. However, there is no clear decision on the inclusion of this cereal in a number of gluten-free.

Of interest is the foreign experience of using amaranth in gluten-free foods. It is important to note that amaranth protein has shown no toxicity in patients with celiac disease [14].

Studies have shown that there are many cereals that are "gluten-free" and have a wide range of health benefits. Rice, amaranth, quinoa, corn contain phenolic acids, flavonoids, minerals, vitamins and some trace elements that promote good health. Various studies have

shown the anticancer, antimicrobial and anti-inflammatory effects of these cereals, as well as their non-toxic nature, high bioavailability and pharmaceutical activity. However, it should be borne in mind that the consumption of such products should become daily, which in turn emphasizes the need to expand the range of gluten-free products.

The FAO Annual World Food Security Report 2017 reports an increase in malnutrition of 515 million compared to 777 million. Another report by the United Nations Children's Fund (UNICEF, 2009) and the World Health Organization (WHO, 2005) states that about one hundred and fifty million children under the age of 5 in the world suffer from malnutrition and are underweight due to unbalanced contain of protein in food. To overcome these negative aspects and address food security challenges, approaches have been developed to create high-quality culinary semi-finished products that can meet current nutrient and nutraceutical needs for the general population, including those in need of social protection. The research results will be useful for technologists of the food industry and restaurant business to create cases of technologies that provide the population with safe long-term semi-finished products, from which you can easily prepare unique innovative products with functional characteristics and nutraceutical potential effectived to health population.

Rice flour is the leader among all cereals in terms of protein and starch content. Lack of gluten, richness of vitamins, minerals, trace elements and useful properties of rice flour have made it a constant component of baby food and diets. However, when swollen, the dough has a slight rise, and after heat treatment, the baking falls, although have a pleasant taste. Corn flour contains calcium, magnesium, potassium, iron, vitamin B. Rich in starch, easily absorbed by the body. Contains fiber. The taste of corn flour stands out, among the tastes of other types and varieties of flour. The dishes have a bright taste, which does not require further addition of spices. The flour has a slightly sweet taste, during fry, it becomes viscous, and when cooled densed, so it requires the addition of baking powder or structurants. Amaranth is interesting with a high protein content of 12–23%. This is much higher than most other crops. Amaranth protein contains essential amino acids: lysine, isoleucine, methionine, threonine, tryptophan, leucine, the content of which is many times greater than their number in wheat, rice, oats and corn. This makes amaranth protein more complete, increasing its amino acid score to 75. Amaranth is rich in polyunsaturated fatty acids, including omega-6. Compared to other cereals, amaranth grain contains biotin, riboflavin, folacin, as well as tocotrienols and squalene. Amaranth, as well as other cereals, is characterized by a high content of minerals such as potassium, magnesium, selenium and iron [15–18].

The work of researchers of many countries of the world and in particular of the leading Ukrainian scientists, such as: V.I. Drobot, A.M. Grishchenko [19], V.V. Dorokhovych [20], A.M. Dorokhovych [21], O.G. Gubskaya [22], K.G. Iorgachova [23], G.B. Rudavskaya,

N.V. Prytul'skaya, E.V. Tishchenko [24], O.V. Babich [25] are devoted to the question of development of technology of gluten-free bakery products.

In Ukraine, the range of gluten-free products is formed mainly through imports (cookies, pasta, bread, pizza bases, chips, candy, dry baking mixes). Among the domestic producers on the market are the products of the brands "World'srice", "Zhmenka", "Ms. Tally", "Healthy Tradition" (flour, pasta, bread), which is marked "crossed out spikelet". However, the first manufacturer that in 2019 officially received the right to use this designation was LLC "Cascade" ("Ms. Tally") [26].

However, the issue of amino acid balance and modeling of prescription components is considered for the first time in terms of a high level of digestibility, attractive organoleptic characteristics and effective manufacturability.

General provisions of the experiment. The developed mixture for the manufacture of pancakes as recipe components contains gluten-free types of flour (rice, corn, amaranth). As a supplement to the amino acid composition and as technological components of the

mixture, were added egg powder, skim whey, coconut flour. The sweet and aromatic components were a sweet extract of stevia leaves, table salt and vanillin. A mixture of baking enzymes, baking soda and citric acid were used as leavening agents in a ratio that provides a complete flow of the soda neutralization reaction with acid in a certain amount of water with the release of a sufficient volume of CO₂ gas in finished product, which does not contain foreign flavors. During the analysis of finished products, generally accepted and special methods for assessing the quality and technological properties were used. The total amino acid content was determined by calculation. Standard methods of statistical and correlation analysis (MS Excel application package) were used for statistical processing of experimental data.

Results and discussion. The recipe composition was selected according to organoleptic parameters and taking into account the content of essential amino acids in the flour, to ensure the functional properties of the product. In the table. 1 shows a comparative analysis of the amino acid composition of the mixture for gluten-free pancakes with "ideal protein".

Table 1. Comparative analysis of amino acid composition mixture with "perfect protein"

	g/100 g of "ideal protein"	g / 100 g of the mixture	% of "ideal protein"
Indispensable			
valine	3,5	1,2	33,5
isoleucine	2,8	1,3	45,9
leucine	6,6	2,2	33,9
lysine	5,8	1,7	20,1
methionine (*)	2,5 (0,9)	0,63	36,2
threonine	3,4	0,85	24,9
phenylalanine (**)	6,3 (2,9)	1,7	46,3
Replaceable			
alanine		1,5	
arginine		1,9	
aspartic acid		2,6	
histidine		0,7	
glutamic acid		4,4	
proline		1,2	
serine		1,1	
tyrosine		1,3	
glycine		1,3	
cysteine		0,3	
tryptophan		0,6	

* Methionine + cysteine; ** Phenylalanine + tyrosine

The study of amino acid composition showed that the developed composition contains all essential and substitute amino acids. Essential amino acids are found in amounts up to 20 percent or more in comparison "ideal protein", which proves the high biological value of development.

It should be noted that these data refer to a portion of finished culinary products weighing 260 g. That is, as a recommendation, we can offer for daily consumption such pancakes as a full-fledged replacement of one meal.

These ratios of components allow you to their own production food with high organoleptic characteristics, without spending a lot of time on baking and preparation of raw materials, such as milk and eggs, because all these components, which enrich the finished dish and give it flavor, are included to the composition of the semi-finished product in contrast to the existing domestic and

imported analogues, to which producers recommend adding milk and eggs.

The block diagram of the technological process of production of dry gluten-free mixtures for pancakes is presented in Fig. 1. A method of preparing pancakes from this mixture was also developed, which consisted in adding 180 ml of prepared drinking water ($t = 20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) to 100 g of the mixture, thorough rapid mixing to a homogeneous plastic mass, exposition the resulting dough for 15 min, re stirring and then baking in a hot pan for 2-3 min on each side of the product to form a ruddy crust. If necessary, you can add 1-2 ml of oil before baking in a pan or in a mixture prepared for baking.

In the table. 2 shows the organoleptic characteristics of finished culinary products.

In the table. 3 shows the regulated quality indicators for the dry mixture for baking pancakes.

Table 2 Organoleptic characteristics

Name indicators	Mixture for gluten-free pancakes	Gluten-free pancake culinary product
Appearance and consistence	Powdered mixture without foreign inclusions and lumps. All components provided by the recipe are evenly distributed by volume. Inclusions are allowed due to added additives, according to the recipe	The products are round, without gaps at the edges, toasted, the surface is ruddy on both sides.
Color	White with a light cream tint	From golden to light brown
Smell	Weak corn odor without foreign odors, not musty, not moldy. Inherent in this type of product with a pronounced taste and smell of the additives used.	Inherent in the culinary product after frying and the introduced components, pleasant vanilla-coconut taste
Taste	Free of any foreign smell and/or taste	Inherent in the product, with a taste of corn, coconut, sweet, without the taste of baking soda, moderately salted

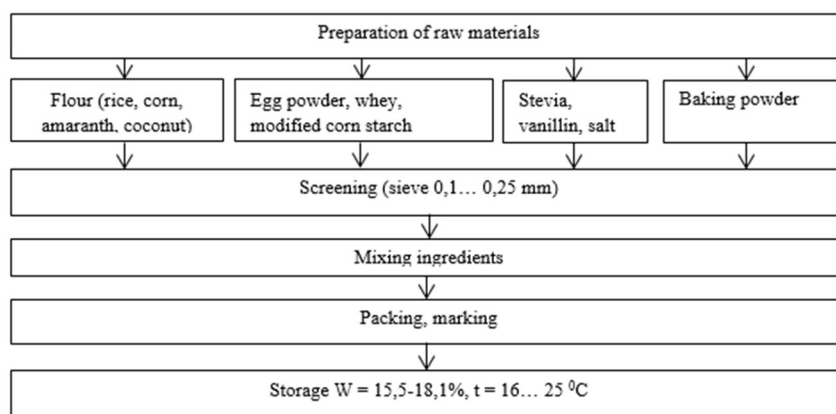


Fig. 1. Technological scheme of production of dry gluten-free mixture for pancakes

Table 3 Regulated indicators of dry gluten-free mixtures for pancakes

Name indicators	Mixture for gluten-free pancakes
Alkalinity, no more, grad.	15,0
Mass fraction of reducing sugars, no less, %	10,0
Mass fraction of moisture, no more, %	10,0
Mass fraction of metal impurities (particles not more than 0.3 mm in the largest linear measurement), %, not more	$3 \cdot 10^{-4}$
Admixture	Not allowed
Infection with pests of grain stocks	Not allowed

The data in the tables prove the high quality of the mixture and ready-made culinary products based on it. Dishes have a high biological and nutritional value and can be competitive in the market of similar goods both in Ukraine and abroad.

Conclusions and prospects for further development of this area. Gluten-free food has become a characteristic feature of nutrition and life in the third millennium. The growing number of patients with gluten intolerance - celiac disease - insufficient enzyme activity of proteases and lipases, lack of complete protein, leads to increased consumption of gluten-free foods, balanced in amino acid composition. In addition, many people around the world have begun to consume gluten-free foods, not only because of the diagnosis of celiac disease, but also because of the general idea of maintaining health and preventing other diseases such as diabetes and obesity. Intensification of marketing activities and improvement of sales channels contribute to the need to produce products that do not contain gluten and have a high biological and nutritional value. The presence of gluten-free semi-finished products for easy cooking makes it possible for those who need and want to change their diet, get healthy and enjoy the relatively wide potential of healthy home cooking.

However, a completely regular part of most consumers' lives is visiting restaurants, cafes, other

public catering establishments or catering in hotels while traveling. For people who follow a gluten-free diet, choosing food on vacation and on business trips often becomes a difficult task, as the vast majority of restaurants do not post information about the presence of potential allergens on the menu and do not have the appropriate certificates. This may indicate gluten contamination of foods positioned as gluten-free, which may occur due to cross-contamination in warehouses or production facilities, the use of kitchen utensils that are not properly sanitized after cooking, ignorance of staff and more. Thus, according to an online survey conducted by researchers in the United States (New York), 63% of respondents said that they avoid eating in restaurants due to a gluten-free diet or consume restaurant products much less often than the general public. In general, for this group by of visits to the restaurant can often pose a serious health risk.

In Europe, almost every major city has 4-5 restaurants with a gluten-free menu. In ukrainian hospitality establishments of the assortment of gluten-free products of own production is insignificant and needs expansion. Many companies do not have separate "gluten-free" production facilities and include in the menu purchasing products of foreign production.

Thus, there is a need to expand the range of semi-finished products with a high degree of readiness to

produce healthy and balanced food for people suffering from celiac disease or having problems with protein digestion. Introduction of such mixtures in the production of domestic enterprises with further sale in mass markets, restaurants, cafes, bakeries, cafes, confectioneries, specialized cafes, as well as restaurants at hotels, sanatoriums, clinics and other health facilities with sports, children's and herodietic services and dietary nutrition is important for the implementation of public health strategies.

References (transliterated)

1. Christoph Mary J., Larson N., Katie C. Hootman., Jonathan M. Miller., Dianne Neumark-Sztainer. Who Values Gluten-Free? Dietary Intake, Behaviors, and Sociodemographic Characteristics of Young Adults Who Value Gluten-Free Food. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. Vol. 118, № 8, 2018, pp. 1389-1398. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.04.007>
2. Sara Capacci, Anna Caterina Leucci, Mario Mazzocchi. There is no such thing as a (gluten-)free lunch: Higher food prices and the cost for coeliac consumers. *Economics & Human Biology* Vol. 30, 2018, pp. 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.ehb.2018.06.001>
3. H.L. de Kock, N.N. Magano. Sensory tools for the development of gluten-free bakery foods *Journal of Grain Science* Vol. 94, 2020, Article 102990. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102990>
4. I. YU. Reznichenko, O. YU. Yehorova. Teoretychni aspekty rozrobky ta klasyfikatsiyi kondyters'kykh vyrobiv spetsializovanoho pryznachennya. *Tekhnika i tekhnolohiya kharchovykh vyrobnytstv*. № 3, 2013, pp. 133-138.
5. Kopishinskaya S. V. Suchasni uyavlennya pro tseliakiyu. *Kazansk'yy medychyny zhurnal*, 2016, T. 97, № 1, pp. 101-107. <https://doi.org/10.17750/KMJ2016-101>
6. D.S. Mykhalyk i in. Tseliakiya: khvoroba i sposib zhyttya. *Zems'kyi likar*, 2012, № 4, pp. 35-38.
7. M.L. Haines, R.P. Anderson, P.R. Gibson. Systematic review: The evidence base for long-term management of coeliac disease. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 2008, № 28, p. 1042-1066.
8. Rynok bezhlyutenovoyi produktsiyi. *Kharchova industriya*. 2017, № 1 (31), pp. 8-10.
9. Bel'mer, S.V. Epidemiolohiya tseliakiyi: fakty i vysnovky. *Likuyuchyy likar*. 2013, № 1, pp. 16-19.
10. R. Cicciocioppo, P. Kruzliak, G.C. Cangemi [et al.]. The Spectrum of Differences between Childhood and Adulthood Celiac Disease. *Nutrients*, 2015, Vol. 7, № 10, pp. 8733-8751. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu7105426>.
11. N. V. Zhuravs'ka, A. I. Petrova, N. V. Turkina. Tseliakiya u ditey. *Medychne sestra*. 2005, № 5, pp. 4-7.
12. I. Aziz, N.R. Lewis, M. Hadjivassiliou [et al.]. A UK study assessing the population prevalence of self-reported gluten sensitivity and referral characteristics to secondary care. *European Journal of Gastroenterology and Hepatology*. 2014, Vol. 26, № 1, pp. 33-39. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.meg.0000435546.87251>.
13. O. Pulido, Z. Gillespie, M. Zarkadas [et al.]. Introduction of oats in the diet of individuals with coeliac disease: A systematic review. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2009, Vol. 57, - pp. 235-285. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)57006-4](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)57006-4)
14. P. Bergamo, F. Maurano, G. Mazzarella [et al.]. Immunological evaluation of the alcohol-soluble protein fraction from gluten-free grains in relation to celiac disease. *Molecular Nutrition and Food Research*. 2011, Vol. 55, № 8., pp.1266 - 1270. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100132>.
15. H. I. Vysochyna. Amarant (*Amaranthus L.*): khimichnyy sklad i perspektyvy vykorystannya. *Khimiya roslynnoyi syrovyny*. 2013, № 2, pp. 5-14. DOI: <https://doi.org/10.14258/jepm.1302005>.
16. P. F. Kononko, V. K. Hins, M. S. Hins. Amarant - perspektyvna kul'tura XXI stolittya. -M.: Rosiys'kyi universytet druzhby narodiv, 1999, pp. 296.
17. B.D. Joshi, R.S. Rana. Grain amaranthus: The future food crop, 1999, p. 152.
18. Kondratiuk N., Suprunenko K., Sytnyk K. I. Comparative evaluation of the biological value of various types of gluten-free flour for producing beverages *Pratsi Tavriys'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu naukove fakhove vydannya / TDATU. Melitopol': TDATU*, 2020. -Vyp. 20, t. 1, pp. 124-132.
19. V.I. Drobot, A.M. Hryshchenko. Tekhnolohichni vlastyivosti bezhlyutenovoyi syrovyny. *Odes'ka natsional'na akad. kharchovykh tekhnolohiy*. Nauk. pratsi, vyp. 46, 1, pp. 162-167.
20. I. V. Tarasenko, V. V. Dorokhovych. Netradytsiyni vydy boroshna pry vyhotovlenni vafel'nykh lystiv dlya khvorykh na tseliakiyu. *Dytyache kharchuvannya: perspektyvy rozvytku ta innovatsiyni tekhnolohiyi zbirnyk prats' Druhoyi spetsializovanoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi v ramkakh XVII Mizhnarodnoho forumu tovariv i posluh dlya ditey "Baby expo"*, 2014, Kyiv : 2014, pp. 28-32.
21. A.M. Dorokhovych, V.V. Dorokhovych, N.P. Lazorenko, I.V. Tarasenko. Bezhlutenovi boroshnyani kondyters'ki vyroby dlya ditey khvorykh na tseliakiyu. *Dytyache kharchuvannya perspektyvy rozvytku ta innovatsiyni tekhnolohiyi. Persha mizhn.konfer.spetsializovanykh nauk.*, - K., 2013, pp. 71-73.
22. O. YU. Hubs'ka. Nove rozumynnya spektra hlyutenozaleznykh zakhvoryuvan'. *Natsional'nyy medychyny universytet imeni O. O. Bohomol'tsya. Suchasna hastroenterolohiya Kyiv*. № 1 (75) 2014, pp. 160-165.
23. K.G. Iorgachova, O.V. Makarova, E.N. Kotuzaki. The influence of gluten-free on the quality indicators of biscuit semi-finished products. *Zernovi produkty i kombikormy*. 2016, № 4 pp. 24-29.
24. Rudavs'ka H.B., Tyshchenko YE. V., Prytul's'ka N.V. Naukovi pidkhody ta praktychni aspekty optymizatsiyi asortymentu produktiv spetsial'noho pryznachennya. *Kyyiv. nats. torh.-ekon. un-t*, 2002, pp. 371.
25. Babich O.V., Vikhot' M.M. Problematyka zabezpechennya spetsial'nykh produktamy kharchuvannya khvorykh na tseliakiyu v Ukraini. *Problemy starinnya i dovholittya*. 2016. T. 25, № 2, pp. 230-234.
26. I.M. Medvid', O.B. Shydlovs'ka, V.F. Dotsenko. Bezhlutenova produktsiya v industriyi hostynnosti: aktual'ni pytannya, problemy ta perspektyvy yikh vyreshennya. *Innovatsiyni tekhnolohiyi v hotel'no-restorannomu biznesi materialy IKH Vseukrayins'koyi n-praktychnoyi konferentsiyi*, 2020, K. : NUFT, 2020, pp. 34-35.

Надійшло (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кондратюк Наталія Вячеславівна (Кондратюк Наталья Вячеславовна, Kondratiuk Nataliia Vyacheslavivna) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4578-9108>; e-mail: kondratiukn3105@gmail.com.

Поливанов Єгор Андрійович (Поливанов Егор Андреевич, Polyvanov Yehor Andriyovych) – студент 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.

Вієнко Олексій Юрійович (Виенко Алексей Юрьевич, Vtenko Olexsiy Yuriyovych) – асистент кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8195-8995>; e-mail: alekseyrocknrolla@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.

О. М. ПІВЕНЬ, І. М. ДЕМИДОВ, С. М. МОЛЬЧЕНКО, Т. О. БЕРЕЗКА

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ ТА ДЕЯКИХ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРЕЧАНИХ ЦУКЕРОК

В роботі встановлено оптимальний рецептурний склад та розроблена технологія виробництва нових видів цукерок. Експериментально встановлено кількісне співвідношення кориці, мускатного горіху і чорного перцю у рецептурі гречаних цукерок та отримано рівняння регресії, яке пов'язує склад речовин-факторів у кондитерському виробі, при якому можна було отримати максимальну органолептичну оцінку. Відзначено, що поєднання запропонованих інгредієнтів забезпечує збалансований склад кондитерському виробу, а також відсутність хімічних компонентів у готовому продукті.

Ключові слова: гречані цукерки, нетрадиційна сировина, сухофрукти, горіхи, прянощі, якість, органолептичні властивості.

Е. Н. ПИВЕНЬ, И. Н. ДЕМИДОВ, С. Н. МОЛЬЧЕНКО, Т. А. БЕРЕЗКА

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНОГО СОСТАВА И НЕКОТОРЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ГРЕЧНЕВЫХ КОНФЕТ

В работе установлен оптимальный рецептурный состав и разработана технология производства новых видов конфет. Экспериментально установлено количественное соотношение корицы, мускатного ореха и черного перца в рецептуре гречневых конфет и получено уравнение регрессии, которое связывает состав веществ-факторов в кондитерском изделии, при котором можно получить максимальную органолептическую оценку. Отмечено, что сочетание предложенных ингредиентов обеспечивает сбалансированный состав кондитерскому изделию, а также отсутствие химических компонентов в готовом продукте.

Ключевые слова: гречневые конфеты, нетрадиционная сырье, сухофрукты, орехи, пряности, качество, органолептические свойства.

O. M. PIVEN, I. M. DEMYDOV, S. M. MOLCHENKO, T. O. BEREZKA

OPTIMIZATION OF RECIPE COMPOSITION AND SOME CONSUMER PROPERTIES OF BUCKWHEAT CANDIES

Confectionery is an important component in the diet of consumers and is one of the favorite products that are in ever-increasing demand from all walks of life. The main significant disadvantage of confectionery is their low physiological value - they are virtually devoid of such important biologically active substances as vitamins, dietary fiber, minerals and others. Candy is a complex, multi-component product and among all confectionery products stand out for the variety of composition, technology and range of finished products. One of the ways to improve the quality of food is the use of new non-traditional types of plant raw materials that contain a balanced complex of proteins, lipids, minerals, vitamins and have high nutritional, taste and therapeutic properties. Dissemination of the range of healthy products is a priority in the food industry of Ukraine.

The research presented in the article is aimed at improving the consumer properties and increasing the nutritional value of sweets in order to improve the diet of the population. The new sweets include: green buckwheat, dates, dried cranberries, cocoa butter, coconut flakes, honey, peanuts, nutmeg, cinnamon, black pepper, waffle crumbs (for decoration). The main recipe component is the kernel of green buckwheat, germinated and dried by a special technology that allows you to save all the nutrients and trace elements. The optimal recipe composition and technology of production of new types of candies are established. The quantitative ratio of cinnamon, nutmeg and black pepper in the recipe of buckwheat candies is experimentally established and the regression equation organoleptic evaluation. It is noted that the combination of the proposed ingredients provides a balanced composition of the confectionery product, as well as the absence of chemical components in the finished product. Such sweets are recommended for people who lead a healthy lifestyle, play sports, control their weight and anyone who wants to strengthen the immune system.

Keywords: buckwheat candies, unconventional raw materials, dried fruits, nuts, spices, quality, organoleptic properties.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Серед найважливіших задач кожної країни має бути збереження здоров'я та працездатності населення, збільшення тривалості та поліпшення якості життя своїх громадян. Сучасний ринок вимагає підвищення якості, розширення асортименту, зниження собівартості продукції.

Кондитерські вироби є важливим компонентом в раціоні харчування споживачів і належать до числа улюблених продуктів, що користуються постійно зростаючим попитом всіх прошарків населення. Основний істотний недолік кондитерських виробів полягає в їх низькій фізіологічній цінності – вони практично позбавлені таких важливих біологічно активних речовин, як вітаміни, харчові волокна, мінеральні речовини та ряд інших [1].

Цукерки є складним, багатокomпонентним продуктом і серед всіх кондитерських виробів

виділяються різноманіттям складу, технологій і асортиментом готової продукції.

Під час створення нових кондитерських виробів необхідна цілеспрямована зміна їх хімічного складу, щоб максимально наблизити їх до вимог теорії збалансованого харчування, з обов'язковим збереженням традиційних органолептичних показників, властивостей і структури [2, 3]. Саме тому поширення асортименту корисних для здоров'я продуктів є пріоритетним напрямком у харчовій промисловості України.

Актуальність такої стратегії в галузі харчування зумовлена об'єктивними причинами: погіршенням екологічних умов життя, зміною якості споживаної їжі, що призводить до сталого дефіциту нутрієнтів, які надходять з нею.

© Півень О.М., Демидов І.М., Мольченко С.М., Березка Т.О., 2020

Рішення проблеми вимагає створення та активного впровадження у сучасну структуру харчування фізіологічно функціональних продуктів, які за своїм складом заповнюють дефіцит харчових речовин та здатні ефективно захистити організм від негативного біологічного та техногенного впливу оточуючого середовища [4].

У зв'язку з цим, актуальним є питання розробки цукерок підвищеної біологічної цінності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Доцільність збагачення кондитерських виробів фізіологічно функціональними інгредієнтами, що дозволяють покращувати їх споживчі властивості, відзначається в публікаціях вчених. Аналіз наукових публікацій, присвячених розробці збагачених кондитерських виробів, свідчить про те, що їх асортимент постійно розширюється за рахунок використання нових сировинних ресурсів і технологій [5].

Один із шляхів підвищення якості продуктів харчування – використання нових нетрадиційних видів рослинної сировини, що містять збалансований комплекс білків, ліпідів, мінеральних речовин, вітамінів і володіють високими поживними, смаковими і лікувально-профілактичними властивостями.

Останнім часом зацікавленість до нових видів нетрадиційної сировини дуже зросла, зокрема до зеленої пророщеної гречки, сухофруктів, горіхів та прянощів, так як вони є джерелом вітамінів, мінеральних і біологічно активних речовин, необхідних в харчуванні людини [6, 7].

Ряд вчених рекомендують зелену пророщену гречку як збагачувач для кондитерських виробів. Зелена гречка – багате джерело білка та амінокислот. З 20 амінокислот, що містяться в харчових білках, 8 є незамінними. Це триптофан, лізин, метіонін, валін, треонін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін. У складі зеленої гречки присутні всі 8 незамінних амінокислот у значній кількості, і найголовніше – вони збалансовані та легко засвоюються, на відміну від продуктів тваринного походження. Зелена гречка також багата лізином, який повністю відсутній в інших рослинах. Зелена гречка – сильний антиоксидант, вона містить до 155 мг/100 г антиоксидантів. Від кількості вживаних антиоксидантів залежить наша молода здорова шкіра, волосся та організм. Зелена гречка не містить глютену (клейковини), а це значить, її можуть вживати в їжу люди, що дотримуються безглютенової дієти та мають алергію на глютен [8–11].

Перспективним напрямком у виробництві кондитерських виробів є використання лікарсько-технічної сировини та продуктів її переробки: калини, глоду, обліпихи, ягід годжі, завдяки чому вироби збагачуються вітамінами PP, B₁, B₂, мінеральними елементами Fe, K, Mg і клітковиною [12–14].

Авторами [15] розроблені нові види кондитерських виробів з використанням сушеної

журавлини для підвищення харчової цінності готових виробів. У сушених ягодах журавлини вміст білків становить 0,07 г, жирів – 1,37 г, вуглеводів – 82,36 г, харчових волокон – 5,7 г, поліненасичених жирних кислот – 0,658 г; вітамінів: E – 1,07 мг, B₁ – 0,007 мг, B₂ – 0,016 мг, B₄ – 4 мг, B₅ – 0,217 мг, B₆ – 0,038 мг, C – 0,2 мг, PP – 0,99 мг, K – 3,8 мкг; мінеральних речовин: кальцію – 10 мг, магнію – 5 мг, натрію – 3 мг, калію – 40 мг, фосфору – 8 мг, заліза – 0,53 мг, цинку – 0,11 мг, міді – 80 мкг, марганцю – 0,265 мг, селену – 0,5 мкг.

Отже, пріоритетним напрямком розвитку кондитерської галузі залишається пошук нових рослинних джерел біологічно активних речовин, розробка технології їх переробки для забезпечення населення біологічно повноцінними продуктами харчування, що відповідають вимогам фізіологічних норм організму людини, потребам різних вікових груп, станом здоров'я населення [16, 17]. Дослідження, наведені у статті спрямовані на поліпшення споживчих властивостей та підвищення харчової цінності цукерок задля покращення раціону населення.

Мета статті – розробка рецептури та технологія цукерок «Sweet flower» з поліпшеними споживчими властивостями з використанням нетрадиційної сировини на основі зеленої пророщеної гречки з додаванням сухофруктів, горіхів та прянощів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати такі завдання:

- провести пошук доступної нетрадиційної сировини для підвищення харчової цінності цукерок;
- визначення оптимального співвідношення взаємозамінних компонентів гречаних цукерок для отримання найкращих результатів з органолептичної оцінки;
- розробити рецептуру та технологію виробництва нових цукерок з використанням нетрадиційної сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. На першому етапі досліджень обґрунтована та розроблена рецептура гречаних цукерок.

Основним рецептурним компонентом є ядриця зеленої гречки, пророщеної та висушеної за особливою технологією, що дозволяє зберегти всі корисні речовини та мікроелементи. У складі зерен є такі речовини і вітаміни: рослинний білок; амінокислоти (у т. ч. лізин); вітаміни групи B, C, PP, E; мінерали, мікроелементи (залізо, магній, калій, йод, цинк тощо); флавоноїди; антиоксиданти.

Завдяки унікальному складу зелена гречка здатна покращувати роботу імунної системи, виводити з організму важкі солі та метали, усувати накопичений в організмі у надлишку холестерин, перешкоджати передчасному старінню, знижувати і нормалізувати рівень цукру в крові. До складу цукерок входить сушена журавлина, яка є джерелом вітаміну C, що сприяє зміцненню імунітету, а також потужним антиоксидантом. Вона зберігає корисні властивості при обробці та висушуванні.

Фініки містять більше десятка різних вітамінів, включають велику кількість харчових волокон, які нормалізують роботу шлунково-кишкового тракту. Серед мікроелементів багаті залізом, калієм, магнієм, марганцем, селеном, кальцієм, міддю, натрієм і фосфором.

Кокосова стружка – це джерело вітамінів групи В, А і Е; містить залізо, мідь, цинк, селен, мідь. Регулярне вживання сприяє покращенню зору, шкіри та пам'яті; є антибактеріальним, противірусним засобом.

Мед додає солодкість продукту та є зв'язуючим компонентом системи.

Какао-масло зміцнює капіляри і стінки судів, поліпшує кровообіг, знижує ризики розвитку критичних станів, пов'язаних з роботою серцево-судинної системи. На тлі цього відбувається зміцнення серцевого м'яза. Багате корисними жирами масло какао знижує вміст в крові шкідливого

холестерину, підвищуючи при цьому показники хорошего. Це є ефективною профілактикою атеросклерозу і сприяє підтримці оптимальної інтенсивності кровообігу в головному мозку. Насичений продукт сприяє відновленню м'язової тканини після тривалої фізичної праці або спортивних занять.

Прянощі здатні не тільки доповнювати смако-ароматичний букет цукерок, але і виконувати певні функції. Кориця ефективно регулює рівень глюкози в крові і знижує високий артеріальний тиск; чорний перець корисний для серцево-судинної системи та органів дихання; мускатний горіх збільшує здатність до навчання і ефективно покращує пам'ять.

Для оздоблення цукерок «Sweet flower» використовується вафельна крихта.

Вміст інгредієнтів у 100 г кондитерського виробу наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Рецепт цукерок «Sweet flower»

Назва інгредієнту	Масова частка, %
Зелена гречка	46,00
Фініки	10,00
Журавлина	10,00
Масло какао	15,00
Мед	7,00
Кокосова стружка	5,00
Мускатний горіх	0,48
Арахіс	3,00
Кориця	0,93
Чорний перець	1,59
Вафельна крихта	1,00
Всього:	100

Для оптимізації рецептурного складу була проведена, відповідно до вимог (ДСТУ 4135:2014 Цукерки), органолептична оцінка 8 експертами.

Результати органолептичної експертизи було використано для проведення регресійного аналізу з метою визначення рецептури виробництва цукерок для отримання ними оптимальних оцінок за органолептичними показниками.

Найбільш поширеними для дослідження композицій сумішей є симплекс-гратчасті плани Шеффе. Вони забезпечують рівномірне розташування експериментальних точок за $(q-1)$ -мірним симплексом.

Експериментальні точки становлять $\{q, n\}$ -решітку на симплексі, де q – кількість компонентів суміші, n – ступінь поліному, за допомогою якого буде описано залежність функції відгуку від факторів (звичайно – концентрацій компонентів). Симплекс-

гратчасті плани є насиченими. З кожного компонента є $(n+1)$ однаково розташованих рівнів $x_i=0, 1/n, 2/n, \dots, 1$ і беруться усі можливі комбінації із такими значеннями концентрацій компонентів. Так, для квадратичної гратки $\{q, 2\}$ для факторів використовуються наступні рівні: $0, 1/2$ і 1 , для кубічної відповідно $0, 1/3, 2/3$ і 1 .

Для визначення залежності органолептичної оцінки (y) від вмісту взаємозамінних компонентів гречаних цукерок: кориці, мускатного горіху і чорного перцю був реалізований факторний експеримент третього порядку (матриця плану експерименту наведена в табл. 2).

Як незалежні змінні x_1, x_2, x_3 були розглянуті складові нових цукерок:

- x_1 – масова частка кориці,
- x_2 – масова частка мускатного горіху,
- x_3 – масова частка чорного перцю).

Таблиця 2 – Матриця плану експерименту “склад - властивість”

№ досліджу	Концентрація компонентів, масова частка			Функція відгуку, у, балл
	x_1	x_2	x_3	
1	1	0	0	9,13
2	0	1	0	7,96
3	0	0	1	8,49
4	0,66	0,33	0	8,61
5	0,33	0,66	0	8,07
6	0,66	0	0,33	8,97
7	0,33	0	0,66	9,15
8	0	0,66	0,33	8,04
9	0	0,33	0,66	8,70
10	0,33	0,33	0,33	9,15

Рівняння регресії (зі статистично значущим коефіцієнтами), яке пов’язує склад речовин-факторів x_1 , x_2 , x_3 в цукерках із якістю їх органолептичних показників, має вигляд:

$$y = 9,13 \cdot x_1 + 7,96 \cdot x_2 + 8,49 \cdot x_3 - 0,922 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,125 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,652 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1,012 \cdot x_1 \cdot x_2 (x_1 - x_2) - 2,655 \cdot x_1 \cdot x_3 (x_1 - x_3) - 3,263 \cdot x_2 \cdot x_3 (x_2 - x_3) + 14,265 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Після перевірки регресійної моделі на адекватність за критерієм Фішера було побудовано діаграму (рис.2), яка дозволяє графічно визначити у будь-якій її області залежність органолептичної оцінки цукерок «Sweet flower» від вмісту взаємозамінних компонентів гречаних цукерок: кориці, мускатного горіху і чорного перцю, що входять до рецептури.

	y
0 – відповідає інтервалу	7,83 : 7,99
1 – відповідає інтервалу	7,98 : 8,14
2 – відповідає інтервалу	8,13 : 8,30
3 – відповідає інтервалу	8,29 : 8,45
4 – відповідає інтервалу	8,45 : 8,60
5 – відповідає інтервалу	8,60 : 8,76
6 – відповідає інтервалу	8,76 : 8,91
7 – відповідає інтервалу	8,91 : 9,07
8 – відповідає інтервалу	9,07 : 9,22
9 – відповідає інтервалу	9,22 : 9,38

x_1
8
7788
77777
77777776
7777777766
7777777776665
777777777766655
77788888777665554
77888888887776665544
7888888888877766554433
888899999888877666554433
8889999999888776655443322
88999999999888776655443322
88999999999988877665544332211
8899999999999888776665544332211
8889999999999888776665554433221110
7888999999999888776665554443322211110
778888999998888777666555443332221111000
667778888888877776665554443332221111100000
556667777777776666555444333222111110000000000
 x_3 44555556666666655554443332221111000000000000000 x_2

Рис. 1 – Діаграма залежності органолептичної оцінки цукерок «Sweet flower» від вмісту кориці, мускатного горіху і чорного перцю

Аналіз даних свідчить про те, що найкраща органолептична оцінка нових цукерок була одержана при концентрації спецій у трьохкомпонентній системі: кориці (x_1) – 31%, мускатного горіху (x_2) – 16%, чорного перцю (x_3) – 53%.

В цій точці y_{max} для перевірки адекватності отриманого рівняння регресії був проведений експеримент, який підтвердив, що при розрахованому співвідношенню спецій в цукерках органолептична оцінка їх найвища.

На другому етапі досліджень була розроблена технологія гречаних цукерок.

Зелена гречка з бункеру після зважування на вагах надходить до мийної машини, де очищується від забруднень чистою водою з температурою 20°C. Очищені ядриці замочуються в замочному чані впродовж 4 годин, звідти самопливом потрапляють в апарат для солодощів, куди подається повітря з відносною вологістю 96-98%. Тривалість пророщування – 36 годин. Скребковим транспортером сировина переміщується до сушильного апарату, де відбувається висушування за температури не вище 40°C протягом 12 годин. За допомогою скребкового транспортеру зелена гречка потрапляє до змішувача.

Мускатний горіх, кориця і чорний перець з бункерів для зберігання сировини потрапляють до молоткової дробарки. Здрібнені прянощі – до змішувача.

Фініки та журавлина з бункерів надходять на ваги, далі скребковим транспортером переміщуються до змішувача.

Кокосова стружка з бункеру після зважування також потрапляє у змішувач.

Мед піддають розпуску у декристалізаторі, де температура не має перевищувати 40 °C, звідти через фільтр дозовано насосом перекачується до основного апарату.

Рідке масло какао одразу після темперувальної камери потрапляє до змішувача за допомогою насос-дозатора.

У результаті змішування рецептурних компонентів утворюється однорідна маса, яка переміщується до формувального апарату, в який з бункеру, зважений на вагах, надходить арахіс. Сформовані цукерки охолоджуються на стрічковому транспортері та подаються до панірувального апарату. Панірувальний апарат вже містить вафельну крихту, яка надійшла після зважування транспортером з бункеру.

Готові цукерки далі потрапляють до пакувальної машини, потім до складу готової продукції.

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Експериментально встановлено кількісне співвідношення кориці, мускатного горіху і чорного перцю у рецептурі гречаних цукерок та отримано рівняння регресії, яке пов'язує склад речовин-факторів у кондитерському виробі при якому можна було отримати максимальну органолептичну оцінку.

Було оптимізовано рецептурний склад цукерок «Sweet flower» з поліпшеними споживчими властивостями з використанням нетрадиційної сировини. Особливість полягає в тому, що вони збагачені білками, вітамінами та мікроелементами, що містяться виключно у продуктах рослинного походження.

Такі солодощі рекомендується вживати людям, які ведуть здоровий спосіб життя, займаються спортом, контролюють свою вагу та усім охочим для зміцнення імунітету.

Список літератури

1. Коденцова В. М., 2014. Обогащение пищевых продуктов массового потребления витаминами и минеральными веществами как способ повышения их пищевой. Пищевая промышленность, 3, 14.
2. Ткешелашвили М. Е., Бобожинова Г. А., Сорокина А. В., 2019. Разработка кондитерских изделий обогащенных белком. Хранение и переработка сельхозсырья, 1, 57–65.
3. Росляков Ю., Гончар В., Шульвинская И., Зайченко Е., 2007. Применение ядра орехов кедровой сибирской сосны (pinus sibirica) в производстве мучных кондитерских изделий функционального назначения. Фундаментальные исследования, 7, 89–90.
4. Леонов Д. В., Муратова Е. И., Дворецкий С. И., 2011. Системный подход к разработке кондитерских изделий функционального назначения. Вестник ТГТУ, 4, 17, 979–991.
5. Оболкіна В. І., 2008. Науковий підхід до створення нових технологій комбінованих кондитерських виробів. Наук. пр. Нац. ун-ту харч. технологій, 25, 1, 22–23.
6. Бойдуник Р.М., 2017. Нетрадиційні компоненти у жирових начинках вафельних тортів. Хранение и переработка зерна, 8 (216), 42–45.
7. Ткаченко А. С., 2015. Поліпшення жирнокислотного складу цукрового печива за рахунок використання нетрадиційних олій. Вісник ЛКА. Серія товарознавча, 15, 114–119.
8. Українець А. І., Ковбаса В. М., Федорченко Л. О., 2002. Нові підходи до використання зернових культур. Наукові праці НУХТ, 13, 58–60.
9. Потапенко С., Ємельянова Н., Українець А., Мукоїд Р., 2006. Пророщені зерна злакових культур. Перспективи використання у харчовій промисловості. Харчова та переробна промисловість, 7, 19–21.
10. Оболкіна В., Ємельянова Н., Волошук Х., Кисельова О., Паращенко Т., Скрипко А., 2011. Інноваційні технології здобного печива із застосуванням вівсяного солодового борошна. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України, 11–12, 16–18.
11. Boidunyk R., 2016. Radioprotective properties of vegetable raw materials in the production of waffle cakes. Biodiversity after the Chernobyl accident. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2, 25–28.
12. Матюшев В. В., Типсина Н. Н., Селиванов Н. И., Чепелев Н. И., 2016. Разработка рецептур производства кондитерских изделий с использованием ягод барбариса. Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 1(135), 157–161.
13. Дорохович А. М., Соловйова О. Л., Дорохович В. В., 2011. Вітамінізація кондитерських виробів. Продукты & ингредиенты, 3, 26–28.
14. Сирохман І. В., Лозова Т. М., 2008. Наукові спрямування у поліпшенні споживчих властивостей та якості борошняних кондитерських виробів. Наук. пр. Нац. ун-ту харч. Технологій, 25, 1, 40–43.

15. Типсина Н. Н., Присухина Н. В., 2015. Кондитерские изделия с повышенной пищевой ценностью. Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 15, 115–119.
16. Богатирьев А., 2011. Наукові принципи збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України, 5, 26–29.
17. Бодак М. П., Гирка О. І., 2013. Можливості поліпшення вітамінного складу нових виробів. Обладнання та технології харчових виробництв, 30, 326–331.
- Novi pidkhody do vykorystannia zernovykh kultur. Naukovi pratsi NUKhT, 13, 58–60.
9. Potapenko S., Yemelianova N., Ukrainets A., Mukoid R., 2006. Proroshcheni zerna zlakovykh kultur. Perspektyvy vykorystannia u kharchovii promyslovosti. Kharchova ta pererobna promyslovist, 7, 19–21.
10. Obolkina V., Yemelianova N., Voloshchuk Kh., Kyselova O., Parashchenko T., Skrypko A., 2011. Innovatsiini tekhnolohii zdobnoho pechiva iz zastosuvanniam vivsianoho solodovoho boroshna. Khlibopekarska i kondyterska promyslovist Ukrainy, 11–12, 16–18.
11. Boidunyk R., 2016. Radioprotective properties of vegetable raw materials in the production of waffle cakes. Biodiversity after the Chernobyl accident. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2, 25–28.
12. Matyushev V. V., Tipsina N. N., Selivanov N. I., Chepelev N. I., 2016. Razrabotka retseptur proizvodstva konditerskikh izdeliy s ispolzovaniem yagod barbarisa. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 1(135), 157–161.
13. Dorohovich A. M., Solovyova O. L., Dorohovich V. V., 2011. VItamInIzatsIya konditerskikh virobIv. Produktyi & ingredientyi, 3, 26–28.
14. Sirohman I. V., Lozova T. M., 2008. NaukovI spryamuvannya u polIpshennI spozhivnih vlastivostey ta yakostI boroshnyanih konditerskikh virobIv. Nauk. pr. Nats. un-tu harch. Tehnologiy, 25, 1, 40–43.
15. Tipsina N. N., Prisuha N. V., 2015. Konditerskie izdeliya s povyshennoy pischevoy tsennostyu. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 15, 115–119.
16. Bohatyrov A., 2011. Naukovi pryntsypy zbahachennia kharchovykh produktiv mikronutrientamy. Khlibopekarska i kondyterska promyslovist Ukrainy, 5, 26–29.
17. Bodak M. P., Hyrka O. I., 2013. Mozhlyvosti polipshennia vitaminnoho skladu novykh vyrobiv. Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnystv, 30, 326–331.

Bibliography (transliterated)

1. Kodentsova, V. (2014), Obogaschenie pischevyykh produktov massovogo potrebleniya vitaminami i mineralnymi veshchestvami kak sposob povysheniya ih pischevoy, Pischevaya promyshlennost, 3, 14.
2. Tkeshelashvili M. E., Bobozhonova G. A., Sorokina A. V., 2019. Razrabotka konditerskikh izdeliy obogaschennykh belkom. Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya, 1, 57–65.
3. Roslyakov Yu., Gonchar V., Shulvinskaya I., Zaychenko E., 2007. Primenenie yadra orekhov kedrovoy sibirskoy sosnyi (pinus sibirica) v proizvodstve muchnykh konditerskikh izdeliy funktsionalnogo naznacheniya. Fundamentalnyie issledovaniya, 7, 89–90.
4. Leonov D. V., Muratova E. I., Dvoretzkiy S. I., 2011. Sistemnyiy podhod k razrabotke konditerskikh izdeliy funktsionalnogo naznacheniya. Vestnik TGTU, 4, 17, 979–991.
5. Obolkina V. I., 2008. Naukovyi pidkhid do stvorennia novykh tekhnolohii kombinovanykh kondyterskykh vyrobiv. Nauk. pr. Nats. un-tu kharch. tekhnolohii, 25, 1, 22–23.
6. Boidunyk R.M., 2017. Netradytsiini komponenty u zhyrovyykh nachynkakh vafelnykh tortiv. Khranenyie y pererabotka zerna, 8 (216), 42–45.
7. Tkachenko A. S., 2015. Polipshennia zhyrnykh skladu tsukrovoho pechiva za rakhunok vykorystannia netradytsiinykh olii. Visnyk LKA. Seriya tovaroznavcha, 15, 114–119.
8. Ukrainets A. I., Kovbasa V. M., Fedorechenko L. O., 2002.

Надійшла (received) 11.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Півень Олена Миколаївна (Пивень Елена Николаевна, Piven Olena Mykolaivna) – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6987-1504>;

e-mail: elpiven33@gmail.com

Демидов Ігор Миколайович (Демидов Игорь Николаевич, Demydov Ihor Mykolaiovych) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5854-0833>;

e-mail: demigon50@ukr.net

Мольченко Світлана Миколаївна (Мольченко Светлана Николаевна, Molchenko Svitlana Mykolaivna) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7897-8947>;

e-mail: molchenko.svetlana@gmail.com

Березка Тетяна Олександрівна (Березка Татьяна Александровна, Berezka Tetiana Oleksandrivna) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1329-2981>;

e-mail: berezka_tatyana_kpi@meta.ua, berezka.tatiana22@gmail.com

N. V. KONDRATIUK, N. O. PETUKCHOV, K. Ye. SUPRUNENKO, Ye. A. POLYVANOV, S. A. KARPENKO

INNOVATIVE APPROACHES IN THE CREATION OF TECHNOLOGIES OF DRY CONCENTRATES COCKTAILS WITH INCREASED CONTENT BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

Modern trends in the creation of drinks provide for the use of various infusions, plant extracts, as well as vitamin and mineral complexes, organic acids and polysaccharides as part of their bases, which allows for the normalization of physiological and metabolic processes in the human body and prevents a number of diseases and syndromes that lead to a decrease in working capacity. The main problems in the creation of various drinking forms are associated with the purification and preparation of water, the dissolution of components and their possible interaction with each other in the packaging unit during storage. Considering the above, it is relevant to create dry concentrates for long-term storage for the preparation of drinks and cocktails as promising drinking forms for normalizing the nutritional status of the population of Ukraine and other countries. It has been established that the physiological value of dry drinks according to the developed method is preserved in ready-made commercial forms (sticks with a metallized substrate) for the entire recommended shelf life – 12 months. The mixture, when diluted, provides the desired functional properties and is a convenient form for transportation and preparation, taking into account the usual dilution with a liquid, mainly drinking water. The novelty of individual technological solutions and the revealed physiologically functional properties lies in the use of extracts of plants, fruits, berries, vegetables with an increased content of biologically active substances, as well as the use of other components that have unique physiotherapeutic properties for humans.

Key words: dry concentrates, beverages, biologically active substances, cocktails, technologies.

Н. В. КОНДРАТЮК, М. О. ПЕТУХОВ, К. Є. СУПРУНЕНКО, Є. А. ПОЛИВАНОВ, С. О. КАРПЕНКО

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У СТВОРЕННІ ТЕХНОЛОГІЙ СУХИХ КОНЦЕНТРАТІВ КОКТЕЙЛІВ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Сучасні тенденції створення напоїв передбачають використання в складі їх основ різних настоїв, екстрактів рослин, а також вітамінно-мінеральних комплексів, органічних кислот і полісахаридів, що дозволяє забезпечити нормалізацію фізіологічних і метаболічних процесів в організмі людини і запобігти низці захворювань і синдромів, що знижують працездатність. Основні проблеми при створенні різних питних форм пов'язані з очищенням і підготовкою води, розчиненням компонентів і їх можливими взаємодіями в ході зберігання в фасувальній одиниці. З огляду на викладене, актуальним є створення сухих концентратів тривалого зберігання для приготування напоїв та коктейлів в якості перспективних питних форм для нормалізації харчового статусу населення України та інших країн. Встановлено, що фізіологічна цінність сухих напоїв за розробленим способом зберігається в готових товарних формах (стіках з металізованою вкладкою) протягом рекомендованого терміну зберігання – 12 місяців. Суміш при розведенні забезпечує задані функціональні властивості і є зручною формою для транспортування і приготування, враховуючи звичайне розведення рідиною, переважно питною водою. Новизна окремих технологічних рішень і виявлених фізіологічно функціональних властивостей полягає у використанні екстрактів рослин, плодів, ягід, овочів зі збільшеним вмістом біологічно активних речовин, а також використанні інших компонентів, що мають унікальні фізіотерапевтичні властивості для людини.

Ключові слова: сухі концентрати, напої, коктейлі, біологічно активні речовини, технології.

Н. В. КОНДРАТЮК, Н. О. ПЕТУХОВ, К. Е. СУПРУНЕНКО, Е. А. ПОЛИВАНОВ, С. А. КАРПЕНКО

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В СОЗДАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ СУХИХ КОНЦЕНТРАТОВ КОКТЕЙЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Современные тенденции создания напитков предусматривают использование в составе их основ различных настоев, экстрактов растений, а также витаминно-минеральных комплексов, органических кислот и полисахаридов, что позволяет обеспечить нормализацию физиологических и метаболитических процессов в организме человека и предотвратить ряд заболеваний и синдромов, влекущих снижение трудоспособности. Основные проблемы при создании различных питьевых форм связаны с очисткой и подготовкой воды, растворением компонентов и их возможным взаимодействием друг с другом в фасовочной единице в ходе хранения. Учитывая изложенное, актуальным является создание сухих концентратов длительного хранения для приготовления напитков и коктейлей в качестве перспективных питьевых форм для нормализации пищевого статуса населения Украины и других стран. Установлено, что физиологическая ценность сухих напитков по разработанному способу сохраняется в готовых товарных формах (стиках с металлизированной подложкой) весь рекомендуемый срок хранения – 12 месяцев. Смесь при разбавлении обеспечивает заданные функциональные свойства и является удобной формой для транспортировки и приготовления, учитывая обычное разбавление жидкостью, преимущественно питьевой водой. Новизна отдельных технологических решений и выявленных физиологически функциональных свойств заключается в использовании экстрактов растений, плодов, ягод, овощей с увеличенным содержанием биологически активных веществ, а также использовании других компонентов, имеющих уникальные физиотерапевтические свойства для человека.

Ключевые слова: сухие концентраты, напитки, кокейли, биологически активные вещества, технологии.

Introduction.

To date, one of the ways to create dry concentrates of beverages is the use of dry extracts, powders of herbs and plants, as well as vitamin-mineral complexes, which provide a positive physiological effect on the human body, optimizing the micronutrient composition [1].

The creation of dry beverage concentrates should take into account the balance of micronutrients and their physiological justification. In addition, the components must complement each other. Therefore, the principles of

combining components require careful attention of developers [2].

Given the above, the development of an algorithm that selects the components of dry beverage concentrates has become relevant. During the development of the algorithm it was necessary to take into account several important factors:

© Kondratiuk N.V., Petukhov N.O., Suprunenko K.Ye., Polyvanov Ye.A., Karpenko S.A., 2020

- the concept of the product, which, ultimately, should have a high nutritional status with a wide range of beneficial effects on the human body;

- high technological characteristics (solubility, flowability, absence of lumps and sticking);

- high organoleptic characteristics;

- synergism of components in the direction of their action on the human body.

The first factor is provided by inclusion in structure of complexes of deficient nutrients allowing to provide the set functional and dietary properties. In addition, it is necessary to preserve the physiological value and quality indicators during storage

The second factor is provided by the introduction of technological media, such as maltodextrin, pectin, lactose, pectins, gums and the like.

Organoleptic characteristics are formed due to aromatic compositions, dyes of natural and synthetic origin, flavor enhancers, organic acids, thickeners, emulsifiers, sweeteners and sugar substitutes.

The latter factor is considered knowledge-intensive and actually forms the "know-how" of the food.

The results of monitoring consumer activity and market supply of similar products in Ukraine and the dynamics of demand in other countries were taken into account when developing recipes for dry concentrates of cocktails (hereinafter – DCC).

From the existing information on consumer motivation in choosing such foods, as well as consumer perceptions of the quality and benefits of beverages, it became clear that the main attention is paid to the quality and naturalness of the ingredient composition of the product. The price practically does not influence a choice, the reputation of the manufacturer and advertising influences more.

It is important to note that a significant number of respondents consider it appropriate and necessary to include in their diet specially designed non-traditional products that contain a complex of physiologically necessary nutrients that have proven antioxidant, immunomodulatory, tonic and other necessary effects. In addition, the basis of demand is the commodity form of the finished product. The most convenient was the product in sticks, the contents of which are diluted with water (100-200 ml) and consumed anywhere - at work, at home, when traveling and more. These products should be intended for periodic use in order to effectively eliminate micronutrient deficiency, strengthen the body under stress, during mental and physical exertion, as well as in the negative impact of the environment.

A survey of experts in the field of functional and dietary nutrition confirmed that dry beverage concentrates are promising basic products for their creation of dietary and functional foods, the direction of physiological effects of which is determined by the composition of micronutrients used base [4].

Physiological and functional properties of dry concentrates are primarily determined by the high content of biologically active substances, which, entering the stomach, are intensively absorbed through the

mucosa and, entering the bloodstream, improve metabolic and regenerative processes, strengthen the body's immune status. As a result of activation of metabolic processes, the assimilation of physiologically valuable macro and micronutrients from the main meals is significantly increased, which allows to significantly increase their activity and provides high efficiency of the total physiological effect.

Analysis of literature data and problem statement. The process of digestion of a food or beverage is determined by the specific features of its prescription components, which affect the level of supply of macro- and micronutrients, useful biologically active components of the consumer's body. The peculiarity of plant raw materials is that different parts of plants do not always contain the same biologically active substances, which leads to the use of appropriate extracts from the corresponding vegetative part in the formulation of a particular type of beverage concentrate. In view of this, it is extremely important to study the characteristics and features of the impact on the human body not only of a particular plant species as a whole, but also of each of its parts separately. The combination of dry plant extracts allows to obtain targeted formulations of beverages intended / recommended for dietary or functional nutrition of different segments of the population both by age and by the specifics of living or working conditions, environmental factors, frequency of stressful situations.

The analysis of literature data allowed us to conclude that the importance and necessity of development in the direction of creating dry concentrates of cocktails.

The author [5] describes the state and prospects of production of dry beverages from natural raw materials given the tonic, stimulating and detoxifying effect of raw components of plant origin. The author bases the development of dry drinks on the law of balanced nutrition, which determines the proportions of individual substances in diets, reflects the full range of metabolic processes in the human body, which are characterized by chemical reactions. The main focus is on food components that cannot be replaced by synthetic raw materials.

Researchers [6] described the development of dry mixes for athletes to reduce thirst and restore the supply of electrolytes lost with sweat, because drinking regime during training and competitions - a prerequisite for maintaining the health of athletes, their activity. forms of dry drink for this segment of the population given the accelerated rhythm of life.

Scientists [7] have developed concentrates of beverages, the feature of which is the bulk density without compaction in the range of 500-600 kg / m³, which can be compared with the bulk density of milk powder. Bulk density with compaction is 20-30% higher than without compaction. The obtained values show that the particles of the components that are part of the concentrates are closely spaced relative to each other. This contributes to the compactness of the container. The increased density of concentrates allows to reduce air

content and to reduce risk of spoilage of a product, owing to contact with oxygen.

The author [8] described the technology of production of dry effervescent beverage concentrate and described the prescription components used in its preparation. The present invention is to reduce allergenicity, increase the energy value and foaming ability of the beverage, eliminate the negative impact on calcium metabolism, increase calcium and magnesium in the salt balance. For this purpose, the concentrate of dry effervescent beverage was proposed to be made on the basis of sodium bicarbonate, dry protein and food acid, characterized in that it contains sodium bicarbonate, calcium carbonate, magnesium carbonate, citric acid, glucose, sugar, dry soy and / or egg white. and flavors.

The researcher [9] developed a technology for the manufacture of a two-component concentrate for the preparation of a beverage, characterized in that the first component contains an aqueous extract of a mixture of plant and wood raw materials, citric acid and dye, and a mixture of plant and wood raw materials used includes St. John's wort, licorice root, eleutherococcus root, rowan berries, oak bark, and the second component of the concentrate is a mixture of essential oils of bay leaf, eucalyptus, lemon, pine and grapefruit.

Scientists [10] have formulated the invention of an instant dry coffee beverage, which when restored provides improved foaming. The patent describes a method of improving foaming in instant beverages.

The authors [11] describe the claims relating to the non-alcoholic, food-concentrating industry and can be used in the diet of the population living in environmentally unfavorable regions. This is a multicomponent concentrate containing extractives of fruit and berry raw materials (black currant berries in combination with the vegetative part of the black currant bush and dry amaranth leaf variety "Valentina"), carbohydrate additive (granulated sugar or maltose molasses) and drinking water.

The researcher [12] described a method of making a dry concentrate for a diet soft drink with perga, iron and vitamin C.

Scientists [13] described the developed technology of dry specialized drinks enriched with vitamins, beta-carotene and pectin. It is shown that the use of the developed mixer in the technology of production of dry fortified beverages allows to obtain a high quality powder concentrate, to solve the problem of lumping and agglomeration of loose dispersed components of raw materials and their uniform distribution throughout the product. The nutritional value of a specialized product designed to optimize the therapeutic and preventive nutrition of workers of metallurgical enterprises is determined.

Other researchers [14] have proposed a formula for making a dry specialized protein-carbohydrate product for athletes, which includes sunflower oil, canola oil, linseed oil, CLA (conjugated linoleic acid). These types of oils are digested slightly differently than other types of fats, and are oxidized as quickly as carbohydrates,

providing a relatively weak synthesis of subcutaneous fat. In addition, the oils in the product are rapidly converted to ketones - by-products of fat metabolism, which are used by some body tissues, including muscle, for energy. However, there is a downside: the use of increased amounts of fat inhibits the body's absorption of protein and carbohydrates. As a result, glycogen recovery and synthesis of new muscle fibers deteriorate.

Scientists [15] have developed a dry protein blend for cocktails for pregnant and lactating women. The invention relates to the food industry. The mixture contains as a protein - soy protein isolate as a source of carbohydrates - a mixture of sugar and maltodextrin, dietary fiber, vitamin and mineral premixes, taurine and other food additives, in the ratio of taurine, sugar and maltodextrin, which improves quality, correction and prevention - energy imbalance.

3. Experimental and calculation part.

The development of recipes for dry concentrates of cocktails was carried out based on data from the monitoring of the nutritional status of the population of the Dnipropetrovsk region. We were guided by the principles of providing the body with micro-nutrients with the exception of chemical antagonism.

On the basis of the conducted researches formulations of dry concentrates of cocktails which are presented in tables 1–6 are developed. As can be seen from the presented data, dry concentrates include physiologically compatible sets of the most optimal extracts, powders and other components containing deficient micronutrients and biologically active substances, the daily dose of which is from 50 to 70% of the recommended adequate level of consumption.

Table 1. Recipe of dry concentrate cocktail based on royal jelly

Ingredient	Weight, %
Lactose	65,0
Maltodextrin	20,0
Succinic acid	5,0
Vanilla Cream Flavor	5,0
Royal jelly	3,5
Ascorbic acid	1,0
Sucralose	0,5
Total	100

Table 2. Recipe of dry concentrate of cocktail based on extracts of chlorella and spirulina

Ingredient	Weight, %
Spirulina extract	36,1
Maltodextrin	22,8
Chlorella powder	18,5
Broccoli extract	6,0
Flax or chia seed extract	4,3
Extract of sprouted wheat grain	3,0
Yeast beta-glucan	3,0
Ascorbic acid	1,8
Blueberry berry extract	1,5
Carrot powder	1,2
Beetroot powder	1,2
Lemon extract	0,6
Total	100

Table 3. Recipe of dry concentrate of cocktail based on екстрактів chaga and chia

Ingredient	Weight, %
Maltodextrin	44,0
Psyllium	20,0
Pumpkin flour	10,0
Chia extract	10,0
Burdock extract	5,0
Apple pectin	5,0
Chaga extract	3,0
Guar gum	1,0
Buckthorn bark extract	1,0
Kaolin	1,0
Total	100

Table 4. Recipe of dry concentrate cocktail based on mixtures probiotic microorganisms and oligosaccharides

Ingredient	Weight, %
Oligosaccharides	79,0
The mixture of probiotic microorganisms is dry lyophilized	7,5
Maltodextrin	7,47
Berry flavoring	5,0
Ascorbic acid	1,0
Coloring	0,03
Total	100

Table 5. Recipe of dry concentrate of cocktail based on L-carnitine

Ingredient	Weight, %
L-carnitine tartrate	30,0
Maltodextrin	20,785
Acetyl L-carnitine	15,0
Flavor	9,0
Coloring	9,0
Green tea extract	6,0
Chlorogenic acids	6,0
Ascorbic acid	2,7
Stevioside	1,2
Vitamin E	0,27
Vitamin B6	0,03
Vitamin A	0,012
Vitamin D	0,003
Vitamin B12	$9 \cdot 10^{-6}$
Chromium picolinate	$9 \cdot 10^{-6}$
Total	100

Table 6. Recipe of dry concentrate of cocktail based on vitamin C and zinc

Ingredient	Weight, %
Maltodextrin	62,5
Ascorbic acid (vitamin C)	25,0
Flavor "Lemon"	5,0
Dye quinoline yellow	5,0
Zinc citrate	1,25
Sucralose	1,25
Total	100

Dry concentrate of cocktail based on royal jelly, containing all 10 essential amino acids, as well as biologically active substances (acetylcholine), vitamins B1, B2, B3, B6, B12, C, H, PP, E, folic acid, biotin, in combination with succinic and ascorbic acids has

antioxidant properties and improves physical and mental performance. In addition to the balance of physiological effects of the complex, optimal organoleptic parameters were also achieved by adjusting the ratios of the main components, as well as adding "Vanilla-creamy" natural flavor. In the table. Figure 2 shows the formulation of a dry cocktail concentrate based on spirulina extract and chlorella powder, which due to their composition perform the functions of a biostimulator of metabolic processes in the body, sources of easily digestible protein and energy for the body without weight gain. Due to the introduction of spirulina and chlorella in the optimal ratio for assimilation (2 : 1), it became necessary to regulate the taste, which was carried out by adding lemon extract as a synergistic in gastronomic parameters of other components of the cocktail.

The cocktail, obtained from a dry multicomponent concentrate based on chaga and chia extracts, is a source of dietary fiber, the action of which is aimed at improving the functioning of the gastrointestinal tract and excretion of xenobiotics [16] from the body, thereby increasing the body's immune status. The content of buckthorn bark extract provides effective evacuation from the body of xenobiotics associated with extracts of fungus, psyllium, gum, apple pectin and kaolin.

Dry concentrate based on dry lyophilized microorganisms, which provide a beneficial effect on the body, normalizing the composition and functions of the microflora of the gastrointestinal tract, and oligosaccharides necessary for the life of probiotic microorganisms, designed to make a cocktail with symbiotic functions. The combination given in table. 4 prescription components make it possible to obtain a finished product with a complex positive effect on the body as a whole, by increasing its resistance to harmful environmental factors, unbalanced diet, high levels of stress. The cocktail, made from a dry concentrate based on L-carnitine, chlorogenic acids and green tea extract, activates the breakdown of fats and their assimilation without deposition in the "depot", increases the level of efficiency. The cocktail should be included in the diets of athletes, with an unbalanced diet with insufficient protein intake, with overweight.

Antioxidant properties and increase the body's resistance to infectious diseases is a cocktail made from a dry concentrate based on ascorbic acid and zinc, the formulation of which is shown in table 6. As can be seen from table 6, the organoleptic properties of the cocktail were experimentally adjusted by using a natural flavor "Lemon". quinoline yellow in the ratios that received the highest score during sample tasting.

When enriching dry mixtures with plant complexes, one of the main tasks is to preserve their physiological activity in the finished product, which is achieved through targeted synergism of the main and auxiliary components, as well as the optimal product form – portion stick with metallized tab, which preserves the activity of components throughout shelf life – 12 months.

It is shown that the consumption of cocktails prepared using the developed dry concentrates, taken in

the amount of 2.0–3.5 g, allows to meet the daily requirement for the main deficient micronutrients by 25–90%, while the body receives biologically active substances, the compositions of which are the most easily digestible.

Conclusions and prospects for further development of this area.

1. Based on the results of analytical studies, it is established that dry beverage concentrates are a promising means of eliminating micronutrient deficiency, which is exacerbated by stress, mental and physical stress, as well as under the influence of adverse environmental factors.

2. The expediency of introducing micronutrient cocktails with antioxidant properties into dry concentrates is shown. Physiologically substantiated compositions of micronutrient complexes for enrichment of dry concentrates of cocktails of functional and dietary purpose.

3. Recipes and technology for obtaining dry concentrates of cocktails that provide high consumer properties and a given physiological and functional orientation of finished products have been developed. Formulations of DCM based on chlorella and spirulina algae, with extracts of chia, fungus and pumpkin seeds, with vitamin complex, with L-carnitine, with royal jelly and lactose, with probiotics and oligosaccharides, providing high consumer properties and a ready-made cocktails

4. When assessing the consumer properties of experimental batches of dry concentrates of cocktails, it was found that in terms of safety they meet the requirements of current regulations. Labile components of micronutrient complexes retain high stability during production and storage. The physiological activity of both freshly made and after 12 months of storage, the main components of cocktails obtained from dry concentrates of the developed recipes remained unchanged. The taste and smell are light and pleasant with notes corresponding to the used plant extract or powder and / or flavor.

5. The prospects of using the developed cocktails in the formation of rations of functional and dietary nutrition in organized groups - canteens and cafeterias of industrial enterprises, educational institutions, for people of physical and mental labor, the elderly and athletes.

6. Sets of technical documentation for DCC have been developed, including technical conditions, recipes and technological instructions.

Recipes and technologies for obtaining the developed DCC are accepted for implementation at Biolight LLC.

References

1. Sam Danley Dry beverages ripe for flavor innovation, added functionality. Food Business News. 2019. URL: <https://www.foodbusinessnews.net/articles/16835-dry-beverages-ripe-for-flavor-innovation-added-functionality>.
2. Çopur, Ö. U., İncedayı, B., & Karabacak, A. Ö. Technology and Nutritional Value of Powdered Drinks. Production and

- Management of Beverages. 2019. P. 47–83. doi:10.1016/b978-0-12-815260-7.00002-x. URL: <https://sci-hub.se/10.1016/B978-0-12-815260-7.00002-X>.
3. Donna Berry Dry beverage mixes driving customized nutrition trend. Food Business News. 2019. URL: <https://www.foodbusinessnews.net/articles/14707-dry-beverage-mixes-driving-customized-nutrition-trend>
4. Justyna Bochnak-Niedźwiecka, Urszula Szymanowska, Michał Świeca Studies on the development of vegetable-based powdered beverages – Effect of the composition and dispersing temperature on potential bioaccessibility of main low-molecular antioxidants and antioxidant properties. LWT. Vol. 131. Sep. 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/S0023643820308112>
5. Мандрыка М.Е. Состояние и перспектива производства сухих напитков из натурального сырья. Пиво и напитки. 2004. №6. С. 10-13 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektiva-proizvodstva-suhih-napitkov-iz-naturalnogo-syrya> (дата зверения 19.11.2020)
6. Ершова Т.А., Божко С.Д., Чернышова А.Н. Разработка сухих смесей напитков для спортсменов в период соревнований. Пищевая промышленность. №2. 2018. С. 64-68. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-suhih-smesey-napitkov-dlya-sportsmenov-v-period-sorevnovaniy>
7. Дунченко Н.И., Янковская В.С., Кущёв С.Н. Комплексная оценка качества йогуртных продуктов. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. № 2-3. 2009. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-otsenka-kachestva-yogurtnyh-produktov>
8. Концентрат сухого шипучего напитка: пат. 2511259 РФ: МПК A23L 2/385(2006.01)A23L 2/39(2006.01); заявл. 04.10.2012; опубл. 10.04.2014. Бюл. № 10. 6 с.
9. Двухкомпонентный концентрат для приготовления напитка. пат. 2482752 РФ: МПК A23L2/385; заявл. 13.01.2012; опубл. 27.05.2013 Бюл. № 15. 7 с.
10. Быстрорастворимый сухой напиток: пат. 2491828 РФ: МПК: A23F5/36; заявл. 10.09.2018; опубл. 10.09.2013 Бюл. №25. 14 с.
11. Концентраты поликомпонентные на основе экстрактов черники, голубики, ежевики, малины, черной смородины: пат. 2482753 РФ: МПК A23L2/385 (2006.01), A23L2/00 (2006.01); заявл. 17.11.2011; опубл. 27.05.2013 Бюл. № 15 7 с.
12. Способ производства сухого концентрата для изготовления диетического безалкогольного напитка, содержащего Fe, пергу и витамин С: пат. 2405387 РФ МПК A23L2/385 (2006.01), A23L2/39 (2006.01), A23L1/076 (2006.01); заявл. 12.12.2005; опубл. 10.12.2010 Бюл. № 34. 8 с.
13. Иванец В.Н., Трихина В.В., Спиричев В.Б. Технология производства сухих специализированных напитков с использованием высокоэффективного смесителя. Вестник Южно-уральского государственного университета Серия «Пищевые технологии». Т. 5, №2. 2017. URL: <https://vestnik.susu.ru/food/article/view/6380>
14. Сухой специализированный белково-углеводный продукт для питания спортсменов: пат. 2463800 РФ МПК A23J3/08 (2006.01), A23J1/08 (2006.01), A23L2/39 (2006.01); з. 23.09.2009; оп. 20.10.2012 Бюл. №29 12 с.
15. Сухая белковая смесь для приготовления коктейля для беременных и кормящих женщин: пат. 2438343 РФ МПК A23J3/00 (2006.01), A23L2/39 (2006.01); заявл. 18.10.2010; опубл. 10.01.2012 Бюл. №1 8 с.

16. Polyvanov Y., Kogan A., Suprunenko K., Kondratjuk N., Haviadova Y. Creation of innovative products with controlled metabolic function. Матеріали III Міжнародної конференції студентів та аспірантів «Сучасні технології харчових виробництв» Дніпро14-15 травня 2020 р. С.121-124

References (transliterated)

- Sam Danley Dry beverages ripe for flavor innovation, added functionality. Food Business News. 2019. URL: <https://www.foodbusinessnews.net/articles/16835-dry-beverages-ripe-for-flavor-innovation-added-functionality>.
- Çopur, Ö. U., İncedayı, B., & Karabacak, A. Ö. Technology and Nutritional Value of Powdered Drinks. Production and Management of Beverages. 2019. P. 47–83. doi:10.1016/b978-0-12-815260-7.00002-x. URL: <https://sci-hub.se/10.1016/B978-0-12-815260-7.00002-X>.
- Donna Berry Dry beverage mixes driving customized nutrition trend. Food Business News. 2019. URL: <https://www.foodbusinessnews.net/articles/14707-dry-beverage-mixes-driving-customized-nutrition-trend>
- Justyna Bochnak-Niedźwiecka, Urszula Szymanowska, Michał Świeca Studies on the development of vegetable-based powdered beverages – Effect of the composition and dispersing temperature on potential bioaccessibility of main low-molecular antioxidants and antioxidant properties. LWT. Vol. 131. Sep. 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820308112>
- Mandryka M.E. The state and prospects of the production of dry drinks from natural raw materials. Beer and drinks. 2004. №. 6. P. 10-13 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektiva-proizvodstva-suhih-napitkov-iz-naturalnogo-syrya>
- Ershova T.A., Bozhko S.D., Chernyshova A.N Development of dry mixtures of drinks for athletes during the competition. Food industry. № 2. 2018.P. 64-68. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-suhih-smesey-napitkov-dlya-sportsmenov-v-period-sorevnovaniy>
- Dunchenko N.I., Yankovskaya V.S., Kushchev S.N. Comprehensive assessment of the quality of yoghurt products. Proceedings of higher educational institutions. Food technology. №. 2-3. 2009. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-otsenka-kachestva-yogurtnyh-produktov>
- Concentrate of dry effervescent drink: Pat. 2511259 RF: IPC A23L 2/385 (2006.01) A23L 2/39 (2006.01); decl. 04.10.2012; publ. 10.04.2014. Bul. No. 10. 6 p.
- Two-component beverage concentrate. pat. RF 2482752: IPC A23L2 / 385; declared 01/13/2012; publ. 05/27/2013 Bulletin No. 15. 7 p.
- Instant dry drink: Pat. 2491828 RF: IPC: A23F5 / 36; decl. 09/10/2018; publ. 10.09.2013 Bul. №. 25. 14 p.
- Multicomponent concentrates based on extracts of bilberry, blueberry, blackberry, raspberry, black currant: RF Pat. 2482753 RF: IPC A23L2 / 385 (2006.01), A23L2 / 00 (2006.01); declared 11/17/2011; publ. 05/27/2013 Bul. №. 15 7 p.
- Method for the production of dry concentrate for the manufacture of a dietary soft drink containing Fe, bee bread and vitamin C: RF Pat. 2405387 RF IPC A23L2 / 385 (2006.01), A23L2 / 39 (2006.01), A23L1 / 076 (2006.01); declared 12.12.2005; publ. 10.12.2010 Bul. №. 34.8 p.
- Ivanets V.N., Trikhina V.V., Spirichev V.B. The technology for the production of dry specialized drinks using a highly efficient mixer. Bulletin of the South Ural State University Series "Food Technologies". T. 5, №. 2. 2017. URL: <https://vestnik.susu.ru/food/article/view/6380>
- Dry specialized protein-carbohydrate product for nutrition of athletes: RF Pat. 2463800 RF IPC A23J3 / 08 (2006.01), A23J1 / 08 (2006.01), A23L2 / 39 (2006.01); declared 09/23/2009; publ. 20.10.2012 Bul. №. 29 12 p.
- Protein powder mixture for making a cocktail for pregnant and lactating women: RF Pat. 2438343 RF IPC A23J3 / 00 (2006.01), A23L2 / 39 (2006.01); declared 10/18/2010; publ. 10.01.2012 Bul. №. 1 8 p.
- Polyvanov Y., Kogan A., Suprunenko K., Kondratjuk N., Haviadova Y. Creation of innovative products with controlled metabolic function. Proceedings of the III International Conference of Students and Postgraduates "Modern technologies of food production" Dnipro May 14-15, 2020 P.121-124

Надійшла (received) 19.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кондратюк Наталія Вячеславівна (Кондратюк Наталья Вячеславовна, Kondratyuk Natalia Vyacheslavovna) – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м.Дніпро, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0919-8979>; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com

Петухов Микита Олегович (Петухов Никита Олегович, Petukhov Nikita Olegovich) – директор ТОВ «БІО ЛАЙТ»

Супруненко Катерина Євгенівна (Супруненко Екатерина Евгеньевна, Suprunenko Katerina Evgenievna) – асистент кафедри харчових технологій Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м.Дніпро, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8741-5449>; e-mail: suprunenko.katerina90@gmail.com

Поливанов Єгор Андрійович (Поливанов Егор Андреевич, Polyvanov Yehor Andriiovych) – студент ДНУ імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; e-mail: mr.egor.pv@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-4999-5187

Карпенко Сергій Олександрович (Карпенко Сергей Александрович, Karpenko Sergiy Oleksandrovich) – студент ДНУ імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; e-mail: karpenkosergiyh51@gmail.com

A. O. AGEICHEVA, S. I. BUKHALO, A. Y. VYPOVSKA, N. G. PSYCHIKINA**ICT USAGE PECULIARITIES IN STARTUP PROJECTS TRANSLATION**

The role of the translator in the startup project is analyzed. It has been proven that translation is an important and necessary element of a startup project for establishing relationships with potential clients around the world. The success of a project depends on the translation of many types of documentation: application, presentations, website, CVs, financial calculations, required audio and video materials, agreements and other types of legal and economic documentation. The translator as a member of the startup team needs to understand the key topic and main trends of the industry in order to efficiently translate the project. It was found that the translator works with the special patent, legal and economic documentation depending on the field and the main purpose of the project. The tasks of linguists will be solved more successfully with the help of modern information and computer technologies. The usage of information and computer technology in the translation process was explored. It is determined that it is important for a startup project translator to understand all the features of using the software, choose the appropriate programs or online tools and develop a strategy for the project translation process. The results of this work are very important and necessary for further study of the features of the ICT usage in the startup projects translation, in particular, the final projects of the Startup School of Poltava Polytechnic.

Keywords: startup project, types of documentation, usage peculiarities, technology in the translation process

A. O. АГЕЙЧЕВА, С. І. БУХКАЛО, А. Є. ВИПОВСЬКА, Н. Г. ПШИЧКИНА**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІКТ В ПЕРЕКЛАДІ СТАРТАП-ПРОЄКТІВ**

Досліджена роль перекладача в стартап-проекті. Доведено, що переклад – це важливий та необхідний елемент стартап проекту для налагодження відносин з потенційними клієнтами по всьому світу. Успіх представлення проекту залежить від перекладу багатьох видів документації: заявки, презентацій, веб-сайту, резюме, фінансових прорахунків, необхідних аудіо– та відеоматеріалів, угод та інших видів юридичної та економічної документації. Перекладачу як учаснику стартап команди необхідно розумітися в тематиці та головних тенденціях індустрії, щоб якісно та ефективно зробити переклад проекту. З'ясовано, що перекладач працює зі спеціальною патентною, юридичною та економічною документацією залежно від галузі та основної мети проекту. Завдання лінгвістів будуть успішніше вирішуватися за допомогою сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій. Дослідженню використання інформаційних та комп'ютерних технологій у процесі перекладу. Визначено, що перекладачу стартап проекту важливо розуміти всі особливості використання програмного забезпечення, вибрати належні програми чи онлайн-інструменти та розробити стратегію перекладацького процесу у проекті. Результати даної роботи є дуже важливими та необхідними для подальшого дослідження особливостей використання ІКТ у перекладі стартап-проектів, зокрема, фінальних проектів Стартап школи Полтавської політехніки.

Ключові слова: стартап-проект, складові визначення документації, особливості розробки стратегії, комплексні результати.

A. A. АГЕЙЧЕВА, С. И. БУХКАЛО, А. Е. ВЫПОВСКАЯ, Н. Г. ПШИЧКИНА**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИКТ В ПЕРЕВОДЕ СТАРТАП-ПРОЕКТОВ**

Исследована роль переводчика в стартап-проекты. Доказано, что перевод – это важный и необходимый элемент стартап проекта для налаживания отношений с потенциальными клиентами по всему миру. Успех представления проекту зависит от перевода многих видов документации: заявки, презентаций, веб-сайта, резюме, финансовых просчетов, необходимых аудио- и видеоматериалов, соглашений и других видов юридической и экономической документации. Переводчику как участнику стартап команде необходимо разбираться в тематике и главных тенденциях индустрии, чтобы качественно и эффективно сделать перевод проекта. Выяснено, что переводчик работает со специальной патентной, юридической и экономической документации в зависимости от отрасли и основной цели проекта. Задача лингвистов будут успешно решаться с помощью современных информационных и компьютерных технологий. Исследованию использования информационных и компьютерных технологий в процессе перевода. Определено, что переводчику стартап проекта важно понимать все особенности использования программного обеспечения, выбрать соответствующие программы или онлайн-инструменты и разработать стратегию переводческого процесса в проект. Результаты данной работы очень важны и необходимы для дальнейшего исследования особенностей использования ИКТ в переводе стартап-проектов, в частности, финальных проектов Стартап школы Полтавской политехники.

Ключевые слова: стартап-проект, составляющие документации, особенности стратегии разработки, комплексные результаты.

Introduction.

In the XXI century digital technologies and globalization processes are redefining the place of translation in business and intercultural communication. At the same time, innovations are what big business companies are looking for, and what talented young people want to surprise the whole world with. The existence of startup schools and competitions is increasing rapidly [1].

A translator in the startup team is an important tool for conveying the main idea of the project as well as finding the desired investor around the world. The main focus of this paper is on the various ICT tools analysis for a quality translator work in a startup project [2].

The latest research and published works analysis.

Translation as part of a complex process is a subject of interest to localization professionals, marketers, managers and educators. According to Bert Esserlink, author of one of the first localization manuals, the project translation includes such types of work as project management; translation of web content; translation and computer typesetting of documentation; translation and arrangement of multimedia elements; checking the functionality of localized software or web applications [4].

© Ageicheva A.O., Bukhalo S.I., Vypovska, A.Y. Pshychkina N.G., 2020

Examining the work of online business strategy specialist John Yunker [9], we can conclude that the translator is actively involved in the following stages of project preparation: translation of business strategies, documentation and certificates, website localization, its testing, technical support and project promotion on the market.

Business analyst Donald DePalma, analyzing the entry of companies into the international market, singles out translation as "an absolutely necessary element of business, but too often underestimated" [3].

Computer technologies are able to help a translator in a startup team work efficiently and quickly. Today scientists and linguists pay a lot of attention to the usage of information and computer technology in the translation process.

Machine translation algorithms were described by linguists John Catford, Martin Kay [6], John Hutchins [8], as well as the world's largest corporations like Google, Skype and Microsoft. The American Translators Association constantly explores the usage of ICT in translations.

Identification of previously unsettled parts of the general problem.

Startup projects, being a part of world business, in which competition is the strongest today, always want to introduce and actively use innovative technologies that optimize the production process or solve our daily life issues.

Most of the success depends on translation of the application, presentation, agreements and other types of legal and economic documentation, but the translation process has a number of peculiarities and difficulties [5].

Today translators actively use in their work special software tools that allow to partially automate the translation process and ensure the unity of the terminological base, the so-called CAT systems.

CAT-systems (from the English abbreviation CAT - computer-assisted translation) or computer-assisted translation systems are a general name for tools and technologies that facilitate the translation process.

CAT systems include: systems using translation memory technology (Translation Memory or TM technologies), means of creating and maintaining terminological dictionaries (Terminology management), and Interactive machine translation MT technologies [7].

Modern CAT systems tend to be highly functional by combining several technologies, such as TM technology and terminology management technology. It should be noted that if in literary translation the use of software tools is not always justified, then in technical translation, the use of modern technologies allows not only to significantly speed up the translation process, but also is of great importance for the effective organization of the translation process [8].

The main purposes of this paper are:

1. To make the analysis of Poltava Polytechnic Startup School final projects translation;
2. To define the role of a translator in a startup project team;
3. To identify the peculiarities of startup projects translation;
4. To determine the ICT usage in startup project translation process.

The main part.

The formation of the innovative economy in Ukraine is largely determined by the development of knowledge-intensive high-tech industries (High Technology), which are an indicator of the technological systems integrated development in modern conditions and are characterized by high growth potential, investment attractiveness, product orientation for export, providing a high share of exported products and reducing dependence on energy exports resources. The increase in the innovative activity of complex systems is inextricably linked with the emergence of new innovative companies-groups (startups) at all levels of education in higher educational institutions.

In the future, successfully implemented Start-up projects on the market are the basis for the development of the High Technology industry and one of the most effective elements of accelerating innovation processes in the economy.

On October 8, 2018, the first Startup school in Poltava region was opened in Poltava Polytechnic (former PoltNTU). This Startup School was established jointly with the Innovation Holding Sikorsky Challenge in order to develop innovative entrepreneurship and technology transfer in Poltava region.

On June 19, 2019 there was the first graduation of the PoltNTU Startup school. 46 graduates, among them students, young scientists and scientists of the university, presented 12 projects of economic, technical, ecological and humanitarian directions. Some projects were presented in English, as foreign guests were invited to the event. What is more there were foreign trainers from the USA and Israel during the classes, so the translation was an important part of both the educational process and final presentation.

The general idea was to teach that a startup company has an innovative nature of its activities, a multiple increase in profits within a fairly short period of time from the moment the project was launched.

The goal of the classes is to form a student's holistic understanding of the organization and management of the start-up project implementation process in accordance with the priorities of the national economy development, the acquisition of the necessary practical skills for organizing the management of specific projects, which will speed up the process of creating a business and avoid common mistakes (Table 1).

Table 1. The results of the innovative skills formation among students of NUPP Startup School

№	Acquired innovative skills
1	Ability for independent research activities (analysis, development, comparison, systematization, abstraction, modeling, data validation, decision making, etc.).
2	Willingness to generate and use new ideas.
3	Methodological knowledge and research skills that ensure the solution of problems of technological, technical, organizational and managerial, production and economic, innovation, information and analytical, expert and consulting activities.
4	Ability for continuous self-education.

The objectives of comprehensive training:

- are to develop the ability to turn a startup idea into a working business by developing innovative projects and their presentation;
- analyzing the possibilities of bringing start-up projects to the investment stage, which largely determines the success of its implementation;
- determination of an effective program of implemented start-up projects using innovative technologies for their Internet promotion,
- attracting investments of different levels provided by specialized Internet sites, as well as provided

by specialized Internet sites, as well as crowdfunding sites (Table 2).

It is necessary to study the basic concepts of a start-up project and methods of its implementation, while the models for a startup project implementation can be represented as:

- 1) types and forms of implementation, methods of their assessment;
- 2) process study and analysis of a startup project and various options evaluation for its implementation;
- 3) the development organisation and implementation of a startup project (Table 3).

Table 2. The results of the innovative abilities formation of NUPP Startup School students

№	Acquired innovative abilities
1	Formation of goals and objectives of making innovative decisions.
2	Willingness to independently acquire new knowledge and skills, including areas of knowledge not directly related to the field of activity
3	Methodological knowledge and research skills in order to use the basic laws of economics, fundamental economic knowledge in professional activities.
4	Be able to take into account social and moral and ethical norms in social and professional activities.
5	Be capable of varieties of collaboration at all stages of complex activities.
6	Possess communication skills to work in an interdisciplinary and international environment.
7	Use one of the foreign languages as a means of business communication.
8	Form and argue their own judgments and professional position.
9	Analyze and make decisions on scientific, economic, social, ethical problems arising in professional activities.
10	Logically, reasonably and clearly build oral and written speech, use the skills of public speech, discussion and polemics.
11	Team work, lead and obey.
12	Show initiative and creativity, including in non-standard situations.
13	To adapt to new situations of social and professional activity, to implement the accumulated experience, their capabilities.

Table 3. Basic concepts for a startup project implementation

№	Description of the startup project components
1	Special components of a startup project are identifying their basic concepts and methods of analysis.
2	General description of project risks. Organization of work on assessment, analysis and risk management. Expert and rating assessment of project risks.
3	Consideration of the uncertainty factor in assessing the effectiveness of investments.
4	Analysis of the sensitivity and sustainability of the project. Ways and methods to reduce the magnitude of risks. Taking into account risk factors when planning an investment project.

The integrated design methodology involves the use of active teaching methods, in particular, conducting business games and round tables, group discussions on the practice of making specific economic decisions at domestic and foreign enterprises.

General requirements for projects can be designated as follows:

1. High stage of project readiness (availability of a business plan, financial model, design estimates and permits); availability of a project team;

2. Availability of documents confirming the prerequisites of the financial model (including independent marketing and technological expertise);

3. Loans are paid at the expense of the project cash flow.

In any case, an innovative solution requires the necessary investments for their implementation and analysis of the effectiveness of their use.

The economic efficiency of innovative projects is determined in three stages:

1) pre-project efficiency assessment – the best option for using investments from several alternative ones is determined;

2) assessment of project efficiency – calculated after the stage of completion of project development. Especially in cases where there are deviations from the specified technical and economic parameters or when the production of new equipment is transferred to another organization;

3) the actual economic effect - determines the real value of the economic effect as a result of the development and use of the innovation.

Such a calculation by stages of the life cycle has the following goals:

1) systematic clarification of the expected effect in the process of work, since conditions and requirements

for the implementation of the developed innovative project may change;

2) ensuring the possibility of stopping work, which in the process of research turned out to be unpromising or ineffective;

3) ensuring operational control over the effective work of scientific organizations at all stages of project and the possibility of preventing distorted data on the size of the economic effect of innovative developments.

Analysis of the innovative solutions effectiveness involves the implementation of the following stages: determination of the necessary investments and their distribution by stages of the life cycle of innovations, years and alternatives; determination of cash flows (incomes) and their same distribution by years and variants (Fig. 1); calculation of quantitative indicators of the effectiveness of an innovative project.

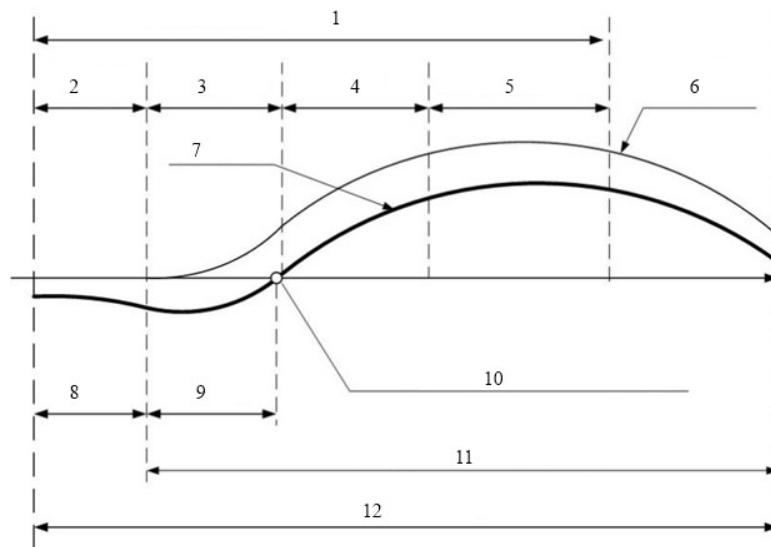


Figure 1. The main stages of the innovation process: 1 – innovation and marketing, 2 – creation of innovation, 3 – implementation, 4 – growth, 5 – slowdown in growth, 6 – sales volume, 7 – profit, 8 – research and development, 9 – investment, 10 – the moment of investment increase, 11 – innovation commercialization, 12 – innovation life cycle

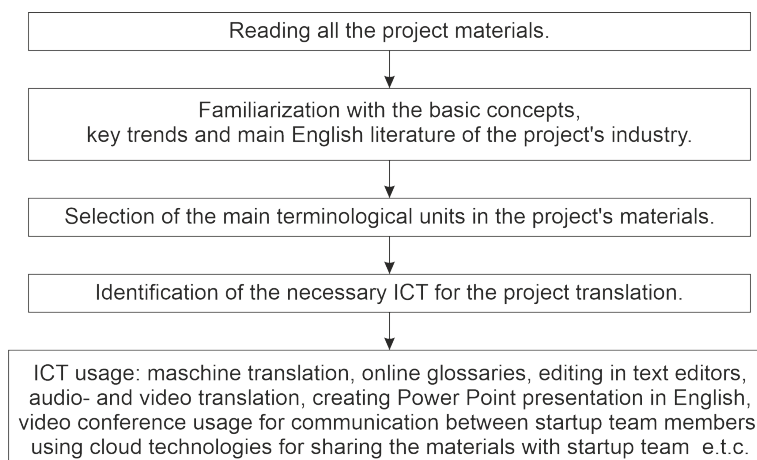


Figure 2. Selected strategy for startup project translation

At the same time, attention should be paid to the following features of calculating indicators of the effectiveness of innovative projects. The value of money changes over time, money today is always more valuable than money tomorrow. Three factors always affect the change in the value of money over time: missed opportunities – a person who gave money to another deprives himself of some benefits, and this deprivation must be paid for. Resources invested in one project cannot be invested in another; inflation that exists in all countries but is different in size; investor risk, as the debt may not be returned for various reasons/ Translation of a startup project is not only the translation of an impressive speech to investors about how a startup solves a specific problem and makes life easier. Here is a list of necessary translations for a good and effective presentation of a startup project (based on the recommendations of the trainers during the startup school classes):

- Financial model (The document containing the forecast calculations of the financial indicators of the project, the calculation of future income and expenses.);
- Valuation document (A document that provides the estimated values for the current project cost estimate);
- Technology Roadmap (A project plan showing the milestones for its launch. A common version of the document is a plan for bringing a new product or changing an existing one - from concept development to commercial release.);
- Investor deck (A presentation document that fully discloses information about the project, including a forecast of the project's financial performance, as well as an offer for investors.);
- CV for investor (Brief information about the key persons of the project. The project team is one of the most important elements of its investment attractiveness.);
- Media plan (A detailed plan for media marketing expenses required for the successful implementation of the project. The document is important for the investor, because marketing spending is one of the most controversial in terms of economic benefits);
- Management model (A document defining the distribution of roles for project management after the investment transaction.);
- Exit Strategy (Determination of the most attractive option for the future implementation of the business in terms of maximizing the return on investment.);
- Elevator pitch (A short presentation. Used to present a project to investors in a limited time environment.).

Taking into account the peculiarities of literature and documentation for the final presentation of startup projects in English, we have selected for ourselves the following scheme of work (Figure 2).

Most of the attention and effort was spent on translating project presentations. It was a great honor to present talented youth with their great ideas. It was very important to make a translation with the following characteristics:

Clarity: clear and logical presentation;

Emotionality: grab the audience's attention;

Informativeness: to provide listeners with information about key project features; present material in an accessible form, but with all the necessary terms and concepts;

Memorable: people should later remember about the startup project and its main purposes.

The most important thing in a startup presentation is to expand and clarify the essence of the idea, without turning the presentation into a booklet that needs to be read long and thoughtfully.

The need for translation has always existed and will not disappear in the future, but the ways of its implementation are evolving with the progress of civilization. Translation today can be presented in two ways: human-made and computer-generated. In both cases, people do not abandon technology, because even the usage of a dictionary and text editor for translation not only involves digital technology, but also simplify the translation process and improve its result. Human always plays the main role in translation. However, the computer can also perform translation. Besides, it can even "learn" to do it better, based on neural technology of machine translation and machine learning. Due to the increasing technical support of the translation process, translation clients, translators, teachers and researchers must find the best way for human and computer to work together on complex translation projects.

Having figured out the main features of the materials that need to be translated and correctly conveyed in English, we started to select the necessary ICTs for translation. During the automated translation process, much attention is paid to productivity. For example, "an interpreter can translate about 2,000 words in one working day. A skillful combination of well-structured source material, translation memory and machine translation can increase productivity by 50% "[8, p. 268]. Automated translation systems are a collective concept, which means all the technical tools that allow translators to improve productivity and ensure quality results. These include computer dictionaries, terminology management software, translation memory creation, translation execution, and machine translation editing. For example, the tools for creating and maintaining terminological dictionaries make it possible to ensure the uniformity of terminology within a single project or in a specific subject area and, thus, guarantee high quality translation. The most popular today are TM technologies that allow to save previously translated text fragments in the system memory. Translation memory technology uses a fuzzy algorithm to search for words in different forms, for example, in a different case, and find phrases in a different word order. The system compares the fragment the translator is working on with the content of the database and provides the translator with the comparison results.

According to our observations, the use of Translation memory technology allows to reduce the volume of translated technical text by an average of 30%

(sometimes in individual texts - up to 50 percent or more), ensuring a high level of uniformity and quality of translation. At the same time, modern TM systems work with texts in a variety of formats.

Many linguists use online translators such as Promt, Google, Transneed, online dictionaries Multitran, Lingvo, MrTranslate and other online resources to automate their translation activities. Many companies develop programs for offline use. During our startup projects translation we used general and specialized Lingvo dictionaries. They usually do a good translation, correctly interpret most words, dialect expressions, technical and legal terms. The explanation is simple – ABBYY Lingvo is constantly improving its own products and collaborating with the best translators.

If the Internet is used correctly, it is an inexhaustible source of useful information for a translator. This is an opportunity to find an explanation of unknown concepts and terms, compare the terminology of different languages (for example, by simply switching languages in Wikipedia), and check the compatibility of words and the permissibility of using a word in a particular context. In addition, on the Internet we can find thematic forums for translators, where professionals share their experience, help others and get help from colleagues themselves.

Translators often work with text recognition software. Thanks to these programs, it is possible to convert PDF, JPG or BMP images to text format. Of course, the result obtained often requires additional manual correction; however, these labor costs are not comparable to those that translators had before the appearance of such text recognition programs. The most famous software product in this series is ABBYY Fine Reader.

Creating a good presentation in English, as well as translating the required documentation is the way to the success of a startup project during the final. A presentation should tell about your company or product in order to interest the audience and convince them to cooperate with you. It is better to create a presentation in special services, since they often have all the necessary functionality and ready-made templates for structure and design. To design a presentation for a startup project, we used Microsoft PowerPoint. This offline program is included in the basic Microsoft Office suite on Windows. Different users actively use it to create presentations: from schoolchildren who make out reports on geography in it, to all kinds of lecturers and speakers who complement their presentations with visual reinforcement. Benefits are ease of use - even a child can understand this service, the interface is intuitive and familiar; and multi-platform: Microsoft PowerPoint works on Windows, as well as on Android and iOS smartphones.

The vector of the Ukrainian startups market development is determined primarily by the level of the state development as a whole. Ukraine's startup projects are

aimed at the domestic consumer and are significantly inferior in scale to projects in other countries, which makes it impossible to use them internationally. However, there are cases when Ukrainian companies develop projects for foreign consumers, using Ukraine only as a so-called "construction site". Venture capital is also very underdeveloped in Ukraine. Thus, it can be noted that the market of startups in Ukraine is in its infancy and is determined by the almost complete lack of competition. The almost complete absence of competition in Ukraine makes it possible today to open new interesting projects with minimal risk. Ukraine has the potential to develop the market of startup projects, but this requires both to regulate the legal framework and increase the level of education, which should direct further comprehensive innovation.

Conclusions and ideas for further investigation.

Translation and presentation of some projects in English was part of the Startup School final of Poltava Polytechnic. Startup projects in the economic, humanitarian, environmental and technical areas were presented.

The projects included a lot of professionalisms, terms and other special vocabulary. ICTs were the part of the workflow, they helped to make the translation quickly, efficiently and correctly arrange all the required files in a short time. It is very important in all the ICT diversity to choose the most appropriate programs and technologies separately for each startup project, taking into account its direction and main idea. ICTs are developing rapidly, so large powerful corporations are looking for innovations to simplify translation process.

However, translation automation systems by themselves do not guarantee quality; they only offer effective tools that translators need to be able to use correctly. These are high requirements for the professional competence of translators, editors and project managers, since the effectiveness of CAT tools directly depends on the quality of their work.

References (transliterated)

1. Bukhhalo S.I. Deyaki koncepciyi stalogo rozvy'tku ukrayiny` Informacijni tehnologiyi: nauka, tekhnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy` dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 172.
2. Bukhhalo S.I. Osnovni vlasty`vosti plivkovogo polimernogo pokry'ttya geliokolektoriv. Informacijni tehnologiyi: nauka, tekhnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy` dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 173.
3. Govorov P.P., Bukhhalo S.I., Kindinova A.K., Govorova K.V. Algory`tm tehnologiyi sy'stemy` bakteriy'cy'dny'x ustanovok znezarazhennya vody`. Informacijni tehnologiyi: nauka, tekhnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy` dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020,

- 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 182.
4. Govorov P.P., Buxkalo S.I., Kindinova A.K., Govorova K.V. Zagal'ni zakonomirnosti sy'stemy bakteriy'cy'dny'x ustanovok znezarazhennya vody. Informacijni tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 181.
5. Kalinichenko D.V., Buxkalo S.I., Miroshny'chenko N.M. ta in. Opy'sovy'j algory'tm procesiv kry'stalizaciyi czukru. Informacijni tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 207.
6. Mal'ceva A.O., Buxkalo S.I., Iglin S.P., ta in. Zagal'ni umovy' procesiv kry'stalizaciyi czukru. Informacijni tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 233.
7. Ol'xov's'ka V.O., Kravchenko O.S., Buxkalo S.I. Skladovi algory'tmu poshuku racional'ny'x zakonomirnostej roboty' obladnannya. Informacijni tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 249.
8. Agejcheva A.O., Agejcheva O.O. Moshly'vi pry'chy'ny' zny'zhennya fil'tracijn'y'x xaraktery'sty'k pry'vy'bijnoyi zony' plastu. Informacijni tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 150.
9. Kapustenko P., Klemeš J.J., Arsenyeva O., Fedorenko O., Kusakov S., Bukhhalo S. The Utilisation of Waste Heat from Exhaust Gases after Drying Process in Plate Heat Exchanger. Chemical Engineering Transactions, 81, 589–594. DOI:10.3303/CET2081099
10. Buxkalo S.I., Agejcheva A. O., Agejcheva O. O., Babash L. V., Pshychkina N. G. Metody'chni aspekty' reformuvannya dy'stancijnogo navchannya v sy'stemi vy'shhoyi osvity'. Visnyk NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – No. 5(1359), – pp. 3–10. DOI: 10.20998/2220-4784.2020.05.01
11. DePalma D. Business without Borders. A Strategic Guide to Global Marketing / A. Donald DePalma. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2002. 267 p.
12. Esselink B. A Practical Guide to Localization / Bert Esselink. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Company, 2000. 488 p.
13. Esselink B. A Practical Guide to Software Localization / Bert Esselink. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing Company, 1998. 309 p.
14. Hutchins J. y H. Somers: An Introduction to Machine Translation. London : Academic Press, 1992.
15. Lagoudaki E. The Value of Machine Translation for the Pro-fessional Translator. AMTA-2008. MT at work: Proceedings of the Eighth Conference of the Association for Machine Translation in the Americas, Waikiki, Hawaii, 21–25 October, pp. 262–269.
16. Martin Kay. The Proper Place of Men and Machines in Language Translation. Machine Translation 12: 3–23, 1997. Proceedings of the Eighth Conference of the Association for Machine Translation in the Americas, Waikiki.
17. S. Bukhhalo. The system and models of complex treatment of industrial effluents. Informacijni tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 170.
18. Yunker J. Beyond Borders. Web Globalization Strategies / John Yunker. Boston ; Indianapolis; London; New York; San Francisco : New Riders, 2003. 552 p.
19. Zetzsche J. Machine Translation Revisited. Translation Journal. Volume 11, No. 1, January, 2007.
20. Buxkalo S.I., Iglin S.P., Ol'xov's'ka O.I., Ol'xov's'ka V.O. ta in. Pry'klad postanovy' zadachi ekspery'mentu Informacijni tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVIII mizhnarodnoyi naukovo-prakty'chnoyi konferenciyi MicroCAD-2020, 28-30 zhovtnya 2020 r.: u 5 ch. Ch. II./za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 171.
21. Mishhenko A. Lokalizaciya ta internacionalizaciya perekladu u konteksti mizhkul'turnoyi komunikaciyi / A. Mishhenko // Naukovi zapy'sky' KDPU. Seriya: Filologichni nauky' (movoznavstvo). Kirovograd : KDPU im. V. Vy'ny'chenka, 2012. Vy'p. 104, ch. I.S. 151–158.
22. Shejko A. M. Perevod markety'ngovyy'x tekstov: slozhnomy' y' osobennosty'. Homo Loquens. Voprosy ly'ngvy'sty'ky' y' translyatologiy'y'. 2016. Vup. 9, pp. 147–157.

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Агейчева Анна Олександрівна (Агейчева Анна Александровна, 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

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

Виповська Анастасія Євгенівна (Выповская Анастасия Евгеньевна, Vypovska Anastasiia Yevheniivna) – магістрантка кафедри германської філології та перекладу, Національний університет «Полтавська політехніка імені Ю.Кондратюка»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-0767>; e-mail: nvypovska@gmail.com

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

e-mail: pshychkina@ukr.net

*І. Г. ЗЕЗЕКАЛО, І. О. ІВАНИЦЬКА, О. О. АГЕЙЧЕВА***ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИН ЗАКОЛЬМАТОВАНИХ У ПРОЦЕСІ ЇХ БУРІННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕТОДОМ КИСЛОТНИХ ОБРОБОК**

Проаналізовано причини зниження проникності, що відбувається в процесі спорудження свердловин та експлуатації. Визначено причини зниження проникності призабойної зони пласта порід-колекторів, що відбуваються у процесі буріння, цементування, вторинного розкриття та освоєння свердловин. Досліджено основні принципи проведення кислотної обробки для інтенсифікації видобутку вуглеводневої сировини закольматованих продуктивних пластів в процесі їх буріння. Наведено рішення для кислотної обробки. Розглянуто спеціалізовані продукти для стимуляції. Проведено аналіз підвищення якості кислотних обробок за рахунок використання нових робочих агентів й удосконалення технології проведення.

Ключові слова: призабойна зона пласта, соляно-кислотна обробка, хімічні методи, забруднення.

*И. Г. ЗЕЗЕКАЛО, И. А. ИВАНИЦКАЯ, А. А. АГЕЙЧЕВА***ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИН ЗАКОЛЬМАТИРОВАННЫХ В ПРОЦЕССЕ ИХ БУРЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТОДОМ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК**

Проанализированы причины снижения проницаемости, что происходит в процессе сооружения скважины и эксплуатации. Определены причины снижения проницаемости призабойной зоны пласта пород-коллекторов, происходящие в процессе бурения, цементирования, вторичного вскрытия и освоения скважин. Исследованы основные принципы проведения кислотной обработки для интенсификации добычи углеводородного сырья закольматированных продуктивных пластов в процессе их бурения. Приведены решения для кислотной обработки. Рассмотрены специализированные продукты для стимуляции. Проведен анализ повышения качества кислотных обработок за счет использования новых рабочих агентов и совершенствование технологии проведения.

Ключевые слова: призабойная зона пласта, соляно-кислотная обработка, химические методы, загрязнение.

*I. H. ZEZEKALO, I. O. IVANYTSKA, O. O. AHEICHEVA***FORMATION DAMAGE WELLS PRODUCTIVITY RECOVERY IN THE PROCESS OF THEIR DRILLING AND OPERATION BY ACID TREATMENTS METHOD**

Decrease in permeability that occurs during the construction of the well and operation are analyzed. The reasons for the decrease in the permeability of the bottom-hole zone in the reservoir rocks that occur in the process of drilling, cementing, reopening and development of wells are determined. The basic principles of acid treatment for intensification of hydrocarbon raw material extraction of sealed productive strata in the process of their drilling are investigated. The solution for acid treatment is given. Specialized products for stimulation are considered. Acid treatments quality increasing through new working agent's usage and improving the technology analysis is performed.

Keywords: bottom-hole formation zone, hydrochloric acid treatment, chemical methods, pollution.

Вступ.

За останні роки актуальність проблеми збереження потенційної продуктивності свердловин істотно зросла, в тому числі й у зв'язку з залученням до експлуатації крім традиційно експлуатованих пластів, ще й залучення пластів складно побудованих покладів з низько проникними властивостями, які раніше не використовувалися.

В Україні багато розвіданих великих родовищ, такі як Мачуське, Загорянське, Сагайдацьке, Семиренківське, Яблунівське, основні поклади вуглеводнів яких пов'язані зі значними глибинами, а продуктивні пласти представлені колекторами різного літологічного складу.

Відомо, що слабкими темпами відроджується буріння розвідувальних свердловин за умови зростаючої ролі видобутку вуглеводневої сировини в

сучасних кризових умовах. До того ж, основна частина родовищ перейшла в остаточну стадію розробки, що характеризується перерозподілом тисків у продуктивних пластах, реструктуризацією залишкових запасів, збільшенням частки важко видобувних запасів нафти, що вимагає нових підходів до їх вилучення.

Ефективність спорудження свердловин безпосередньо пов'язана з якістю викриття продуктивних об'єктів, яка в свою чергу залежить від збереження або покращення максимально можливої проникності колекторів. Якість викриття продуктивних об'єктів на нафтогазоконденсатних родовищах безпосередньо пов'язана з якістю буріння.

© Зезекало І.Г., Іваницька І.О., Агейчева О.О., 2020

Аналіз стану питання.

Спорудження свердловини – це дороговартісний і складний процес. При бурінні свердловин застосовуються якісні багатокомпонентні бурові розчини, але і вони подекуди негативно впливають на колектори. Тому в свердловинах із тривалим терміном експлуатації, а також у результаті капітального ремонту продуктивні горизонти кольматуються, що значно знижує дебіти і за умови використання неякісних бурових розчинів дебіт взагалі падає до нуля.

Проблема кольматації колекторів досить поширена – для її вирішення провідні фахівці України та світу розробляють нові методи й технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів.

Аналіз основних досягнень і літератури.

Аналіз значної кількості джерел дозволив визначити основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесі їх буріння та експлуатації методом кислотних обробок [1–6].

Мета дослідження.

Визначення основних принципів проведення кислотної обробки для інтенсифікації видобутку вуглеводневої сировини закольматованих продуктивних пластів в процесі їх буріння.

Постановка проблеми.

Так, лише на території Дніпровсько-Донецької западини близько двадцяти свердловин на високоперспективних розвіданих родовищах не дають продукцію в результаті кольматації продуктивних пластів при бурінні. У той час, коли геофізичні дослідження у свердловині показують, що фільтраційно-ємнісні характеристики колектора високо ефективні, горизонти є продуктивними в сусідніх свердловинах, але в результаті репресії на пласт виникає значне проникнення твердої фази у пласт, утворення емульсій та полімеризація, що призводить до засмічення привибійної зони пласта і свердловина виявляється мало дебітною або взагалі не дає продукції.

Виклад основного матеріалу. Виклад основного матеріалу.

На сьогодні відкриваються нафтогазові поклади із складними колекторами за хімічним складом, щільними, низько проникними та малопористими. Погіршення фільтраційних властивостей продуктивного колектора може бути викликане безліччю причин, основними з-поміж яких є:

- ✓ поглинання рідини глушіння свердловини продуктивним пластом;
- ✓ набухання глинистого матеріалу породи внаслідок контакту з фільтратом рідини глушіння свердловини;
- ✓ утворення стійких водонафтогазових емульсій у зоні контакту рідини глушіння свердловини з пластовими флюїдами (ефект Жамена);
- ✓ утворення асфальтосмолопарафінових відкладень і малорозчинних осадів при зміні

термодинамічних параметрів пласта;

✓ зниження проникності ПЗП по нафті в результаті гідрофілізації порового простору породи-колектора внаслідок її контакту з фільтратом рідини глушіння свердловини та ін.

До того, як продуктивні горизонти нафтогазового родовища піддаються розкриттю свердловинами, фізичні параметри пласта, такі як тиск, температура, розподіл флюїдів у поклади, перебувають у сталому (стабільному) стані, досягнутому за довгий час з початку формування покладів. Як тільки пласт піддається зовнішньому впливу (первинне і вторинне розкриття бурінням, глушіння свердловин), сталий стан у ньому порушується.

Основними причинами кольматації продуктивного пласта є неправильний підбір розчину, людський фактор, недотримання технології приготування, обробки та очистки промивальної рідини. Високоперспективні свердловини нічого не продукують та поповнюють фонд недіючих свердловин. Глинисті бурові розчини на водній основі, калієві розчини, стабілізовані соленасичені розчини здебільшого призводять до забруднення привибійної зони пласта (ПЗП) твердою фазою і фільтратом [7]. Багато науковців досліджували питання відновлення свердловин [8]. Успішне відновлення може призвести до відмінних результатів. Так, наприклад, на Яблунівському родовищі свердловина №4 була закольматована в процесі буріння і не давала продукції, але після обробки кислотним розчином свердловина дала 800 тис. кубів газу на добу [9].

Щоб уникнути глибокого проникнення фільтратів бурових розчинів в пласт, часто застосовують добавки різноманітних загусників – полімерів. Застосовуються такі загусники: метилакрилат, карбоксиметилцелюлоза (КМЦ), поліакриламід (ПАА), акрилонитрил, ГПАН, сайдріл, дк-дріл та ін. Так само іноді застосовують допоміжні добавки – гідрофобізатори та інгібітори. Перевагою БР на полімерній основі є те, що в процесі буріння полімер частково фільтрується на межі «свердловина – пласт», утворюючи практично непроникну кірку, яка захищає пласт і знижує можливість глибокого проникнення в нього фільтрату бурового розчину [10].

Під час використання неякісних бурових розчинів на полімерній основі зниження проникності нафтогазових пластів може відбуватися в декілька разів і може бути навіть до повної кольматації.

Основною проблемою зниження дебітних характеристик на нафтогазових родовищах України в процесі їх капітального ремонту є використання рідини глушіння та інших технологічних реагентів при репресії на пласт. Так, за статистикою 80–90-х років XX століття зниження продуктивності свердловин після капітального ремонту становила близько 30%. Причини кольматації продуктивних

пластів і механізм кольматації подібні до проблем, які відбуваються під час буріння.

Сучасні технології вказують на такі переваги розкриття продуктивних пластів на депресії:

- збереження і навіть покращення природних ФСХ продуктивних пластів, завдяки притоку пластової рідини в процесі розкриття;
- виключення негативного впливу на продуктивний горизонт бурового й цементного розчинів, які використовують у традиційних технологіях, а також надлишкових тисків під час буріння і кріплення;
- збільшення рівня вилучення нафти завдяки підвищенню проникності ПЗП (скін-ефект);
- збільшення дебіту свердловин, результатом чого є скорочення строків окупності їх будівництва;
- залучення в розробку низькорентабельних нафтових покладів і родовищ, а також продуктивних горизонтів, які могли бути пропущені під час традиційної технології розкриття [11].

Незважаючи на всі зазначені переваги, технологія розкриття продуктивних пластів на депресії поки що не знайшла широкого застосування в Україні, у зв'язку з великим ризиком викиду вуглеводнів, який супроводжується вибухом і пожежею; високою вартістю буріння, що залежить від виду розчину, особливо для горизонтальних свердловин; не завжди виходить витримати депресію, що при відсутності глинистої кірки може призвести до швидкого й сильного погіршення стану незахищеного продуктивного пласта; складність моделювання та прогнозування поведінки (аерованих) бурових рідин.

Інтенсифікація видобутку (розкольматація) кислотним розчином є поширеним методом для відновлення природної проникності колекторських пластів. Але ця проблема потребує ретельного вивчення та є недостатньо дослідженою в Україні.

Питанню кислотної обробки для інтенсифікації видобутку вуглеводневої сировини закольматованих продуктивних пластів в процесі їх буріння присвячено багато наукових досліджень: Michael J. Economides, Kenneth G. Nolte, M. Economides, H.A. Nasr-El-Din, M.A. Sayed та інші [1-6, 12].

Розкольматація продуктивного пласта після буріння свердловин для відновлення першочергової характеристики пласта може здійснюватися двома способами: хімічне вилучення та механічне вилучення. Так, наприклад, застосування хімічного вилучення розчинами 20% сульфомінової кислоти; 5% NaOH та 5% Na₂CO₃ (Полімерна) дає позитивні результати. Механічний спосіб полягає у використанні перед кислотною обробкою, під час останньої промивки свердловини, перед викликом притоку в складі бурового розчину використовувати абразивні рідини, які мають високі тиксотропні властивості та абразивну складову. Пропонують використовувати в'язкопружні очищувачі в невеликому об'ємі приблизно 4–6 м³. У їхній склад, крім реагентів, що утворюють структуру

(КМЦ+хромпик+ПАА), вводяться крупнозернистий пісок або пропант. Промивка відбувається 1–2 цикли. Використання під час останніх СПО шкребків, які випускаються промисловістю (система СК) або виготовляються в умовах механічних майстерень підприємства.

Висока закольматованість глибоких свердловин вимагає спеціального складу кислоти, яка повинна бути стабільною та ефективною за таких складних умов. Ці умови роблять складним можливість дренажу каналів та зменшує проникність кислоти в колекторські пласти. Протягом останніх років у сфері розвитку технологій кислотних обробок були досягнуті значні успіхи, але разом з тим не можна забувати і негативний досвід у цій сфері.

Незважаючи на очевидні її переваги, успішність операцій застосування кислотних складів до цього часу залишається на низькому рівні. Оптимальна технологія кислотної обробки, що забезпечує максимальний ефект передовсім підбирається з урахуванням причин забруднення ПЗП, прийняттям до уваги таких параметрів пласта, як: гранулометричний і мінералогічний склад порід; фільтраційно-ємнісні властивості; температура; хімічний склад пластових флюїдів. Правильно підібрана рецептура кислотного складу повинна призвести до бажаного результату – очищення ПЗП від забруднень, відновленню її проникності і, як наслідок, забезпечення продуктивності свердловини, відповідної локальним можливостям пласта.

За даними дослідно-промислової експлуатації свердловин покладів, продуктивний розріз яких складено породами колекторами, можна зробити висновки, що за умови невисокої пористості і проникності, значного ефекту можна досягти проведенням робіт з інтенсифікації, використовуючи різноманітні варіації кислотних обробок і боротьбою з кольматацією. За умови обробки свердловин застосовувались та випробовувались найбільш ефективні рецептури та високопроникні розчинники. Аналізуючи дані можна зазначити, що за умови правильно підібраної рецептури розчину і використання декольматаційних рідин, дебіти малопродуктивних свердловин у продуктивних відкладах можливо збільшити в декілька разів, а іноді й на декілька порядків.

На сьогодні для інтенсифікації припливу з продуктивних пластів часто вдаються до використання технології соляно-кислотного впливу не проводячи декольматаційних робіт. Однак виходячи з того, що продуктивні пласти, де проводяться ці обробки привибійної зони, вже є обводненими або проста соляно-кислотна технологія не дає відчутних результатів, потрібне застосування унікально нових складів робочих агентів.

Нові композиції розчинів повинні вирішувати такі завдання:

- 1) підвищення відстані проникнення кислоти;
- 2) декольматацію ПЗП;
- 3) збільшення здатності до виносу продуктів

реакції;

4) низька корозійна активність по відношенню до обладнання;

5) адаптація до мінералізованості пластової води.

Завдяки високій розчинній здатності, соляна кислота – є найбільш поширеним реагентом у процесі проведення КО в колекторах. Існує два фактора ризику, що виникають під час застосування соляної кислоти: висока швидкість реакції в пласті, що ускладнює проведення обробки і висока корозійна активність. Для зниження рівня корозійної активності в кислотний склад додають органічні кислоти та інгібітори [14]. Для зменшення корозії труб під час транспортування через них кислот застосовують різні інгібітори. Наприклад, такі як Формалін, Унікол ПБ-5, Інгібітор U-1-A, Технічний Утропін та Інгібітор БА-6 (B-1,D-2). Ці інгібітори застосовуються під час інгібування кислоти високої концентрації і кислотних розчинів для обробки свердловин з високими пластовими температурами та тисками. Використання цих інгібіторів є ефективним. У доповненні до цього низька розчинна здатність органічних кислот дозволяє знизити рівень нерівномірності фронту реакції кислотного складу в породі.

Ураховуючи вищевказаний опис властивостей органічних кислот, існує практика створення кислотних складів на основі соляної кислоти з додаванням органічних кислот для досягнення помірного рівня утворення високопроникних каналів в ПЗП, що в результаті позитивно впливає на збільшення продуктивності свердловини. Органічні кислоти використовуються для проведення обробки привибійної зони (ОПЗ) в колекторах багато років. Досвід показує, що використання висококонцентрованих органічних кислот не буде ефективним внаслідок можливого випадання нерозчинних осадів у процесі реакції реагенту і породи. Допустимими концентраціями для мурашиної й оцтових кислот є 13% і 9% відповідно [13].

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

Отже, застосована для обробки пласта кислота, не повинна викликати утворення нерозчинних осадів. Також для ефективної кислотної обробки використовуваний склад повинен мати такі властивості:

- повільна швидкість реагування з породоутворювальними мінералами, що особливо важливо за високих пластових температур;
- низький міжфазний натяг на межі «вуглеводень – кислотний склад»; мала корозійна активність;
- сумісність із пластовими флюїдами;
- інгібуюча дія у відношенні до глин; технологічність під час застосування.

Це дослідження дозволяє зробити такі висновки: багато свердловин, які в результаті буріння,

капітального ремонту свердловині після довготривалої експлуатації не дають продукції з причини повної або часткової кольматації.

Недолік кислотних розчинів на основі соляної кислоти це велика швидкість реагування і складність потрапляння кислоти до колектора через кольматційну плівку.

Необхідно змодельовати та дослідити механізми декольматації, розробити ефективний склад для відновлення глибоких свердловин, збільшити канали, а також зменшити корозійний вплив. Відомо багато кислотних компонентів і очищувальних матеріалів, але для конкретних умов глибини і складу породи потрібно розробляти індивідуальну рецептуру технологічних рідин та технології для обробки ПЗП і відновлення продуктивності свердловин.

Список літератури

1. Rady, A. Iron Precipitation in Calcite, Dolomite and Sandstone Cores [Електронний ресурс] / A. Rady, H.A. Nasr-El-Din. *SPE Russian Petroleum Technology Conference*. 2015. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/176574-RU>
2. Saber, Mohamed R. A New Technique to Increase the Performance of Organic Acids to Stimulate Carbonate Reservoirs at High Acid Concentrations [Електронний ресурс] / Saber Mohamed.R, Ahmed I. Rabie and H.A. Nasr-El-Din//*SPE* 175192. 2015. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/175192-MS>
3. Sarma,D.K. Application of Self-Diverting Acid System for Stimulation of Multilayered Wells in Carbonate Reservoir: A Case Study [Електронний ресурс] / D.K.Sarma., Y.R.L.Rao., B.Mandal and P.K.Bhargava. *SPE 154554, SPE oil and gas India conference and exhibition*. 2012. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/154554-MS>
4. Sayed, M. A. A New Emulsified Acid to Stimulate Deep Wells in Carbonate Reservoirs: Coreflood and Acid Reaction Studies [Електронний ресурс] / M. A. Sayed., H. A. Nasr-El-Din., J. Zhou., L.Zhang and S. Holt. *SPE 151062, The North Africa Technical Conference and Exhibition*. 2012. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/151062-MS>
5. Sayed, M. A. A New Emulsified Acid to Stimulate Deep Wells in Carbonate Reservoirs [Електронний ресурс] / M. A. Sayed., H. A. Nasr-El-Din., J. Zhou., S. Holt and H. Al-Malki. *SPE 151061, international symposium and exhibition on formation damage control*. 2012. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/151061-MS>
6. Sayed, M. A. Reaction Rate of Emulsified Acids and Dolomite [Електронний ресурс] / M. A. Sayed and H. A. Nasr-El-Din. *SPE 151815, international symposium and exhibition on formation damage control*. 2012. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/151815-MS>
7. Коцкулич Я. С. Аналіз ефективності промивальних рідин для первинного розкриття продуктивних пластів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2012. № 1. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvif_2012_1_5.
8. Рудий М.І. Технології дії на при вибійну зону пласта видобувних свердловин із використанням поверхнево-активних речовин. *Нафтова і газова промисловість*. 2009. № 1. С. 45-48.
9. Dmytrenko, V. I., & Zezekalo, I. H. Вплив вуглекислотних солей амонію на фільтраційні властивості порід привибійної зони пласта. *Prospecting and development of oil and gas fields*, (1(70), 70-76. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-1\(70\)-70-76](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-1(70)-70-76)

10. Rabie, A.I. Sodium Gluconate as a New Environmentally Friendly Iron Controlling Agent for HP/HT Acidizing Treatments [Електронний ресурс] A.I. Rabie, H.A. N. ElDin. *SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference*. 2015. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/172640-MS>.
12. Михайлов В.А. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Книга VIII. Теоретичне обґрунтування ресурсів нетрадиційних вуглеводнів осадових басейнів України. К.: НІКА-ЦЕНТР, 2014. – 280 с.
12. Nitters, G. Structured Approach to Advanced Candidate Selection and Treatment Design of Stimulation Treatments [Електронний ресурс] /G.Nitters, L.Roodhart, H.Jongma,V.Yeager,M.Buijse,D.Fulton,J.Dahl and E.Jantz. *SPE* 63179. 2000. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/63179-MS>
13. Rabie, A.I. Effect of Acid Additives on The Reaction of Stimulating Fluids During Acidizing Treatments [Електронний ресурс] / Ahmed I. Rabie and H.A. Nasr-El-Din. *SPE* 175827. 2015. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/175827-MS>
- Sayed., H. A. Nasr-El-Din., J. Zhou., S. Holt and H. Al-Malki. SPE 151061, international symposium and exhibition on formation damage control. 2012. Access mode: <https://doi.org/10.2118/151061-MS>
6. Sayed, M. A. Reaction Rate of Emulsified Acids and Dolomite [Електронний ресурс] / M. A. Sayed and H. A. Nasr-El-Din. SPE 151815, international symposium and exhibition on formation damage control. 2012. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/151815-MS>
7. Kotskulych Ya. S. Analiz efektyvnosti promyvalnykh ridyn dlia pervynnoho rozkryttia produktyvnykh plastiv. Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu. 2012. № 1. Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvif_2012_1_5.
8. Rudyi M.I. Tekhnolohii dii na pry vybiinu zonu plasta vydobuvnykh sverdlodyn iz vykorystanniam poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn. Naftova i hazova promyslovist. 2009. No. 16 – pp. 45-48.
9. Dmytrenko, V. I., & Zezekalo, I. H. Vplyv vuhlekyslotnykh solei amoniu na filtratsiini vlastyvoli porid pryvybiinoi zony plasta. Prospecting and development of oil and gas fields, (1(70)), 70-76. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-1\(70\)-70-76](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2019-1(70)-70-76)
10. Rabie, A.I. Sodium Gluconate as a New Environmentally Friendly Iron Controlling Agent for HP/HT Acidizing Treatments [Електронний ресурс] A.I. Rabie, H.A. N. ElDin. *SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference*. 2015. Режим доступу: <https://doi.org/10.2118/172640-MS>
11. Mykhailov V. A. Netradytsiini dzhерела vuhlevodniv Ukrainy. Knyha VIII. Teoretychne obgruntuвання resursiv netradytsiinykh vuhlevodniv osadovykh baseiniv Ukrainy. K.: NIKA-TsENTR, 2014. – 280 p.
12. Nitters, G. Structured Approach to Advanced Candidate Selection and Treatment Design of Stimulation Treatments [Electronic resource] /G.Nitters, L.Roodhart, H.Jongma,V.Yeager,M.Buijse,D.Fulton,J.Dahl and E.Jantz. *SPE* 63179. 2000. Access mode: <https://doi.org/10.2118/63179-MS>
13. Rabie, A.I. Effect of Acid Additives on The Reaction of Stimulating Fluids During Acidizing Treatments [Electronic mode] / Ahmed I. Rabie and H.A. Nasr-El-Din. *SPE* 175827. 2015. Access: <https://doi.org/10.2118/175827-MS>

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Зезекало Іван Гаврилович (Зезекало Иван Гаврилович, Zezekalo Ivan Havrylovych) – доктор технічних наук, професор кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна.

e-mail: 2012nadra@gmail.com

Іваницька Ірина Олександрівна (Иваницкая Ирина Александровна, Ivanytska Iryna Oleksandrivna) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізики та хімії, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна.

e-mail: irina.ivanytska@gmail.com

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

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0140-9604>;

e-mail: ageicheva@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 характеристики частинок; 15) технології високого тиску; 16) інженерія полімерних реакцій; 17) агломерація; 18) інтенсифікація процесів; 19) термодинаміка та транспортні властивості; 20) дизайн та якість.

Українська асоціація хімічної і харчової інженерії (CFE-UA) являється структурно складовою частиною EFCE. Вчені України представлені в робочих групах – 2 (проф. П.О. Капустенко, НТУ «ХП»), – 4 (проф. А.А. Фокін, НТУУ «КП»), та – 15 (академік АА. Долинський, ІТ НАН України).

З ціллю підвищення визнання досягнень української хімічної і харчової інженерії вченими Європейської спільноти задачами CFE-UA вважаються: 1) підвищення рівня цитування наукових робіт у міжнародних науково-метричних базах; 2) зміцнити представництво України в робочих групах та секціях EFCE делегатами від асоціації CFE-UA за означеними напрямками; 3) сприяти безкоштовній публікації наукових розробок членів асоціації у провідних європейських журналах; 4) публікація матеріалів рекламного напрямку виробників та розробників хімічної і харчової продукції у виданнях; 5) надання регулярної інформації про проведення різного рівня міжнародних конференцій, форумів та семінарів в Україні та Європі; 6) утворення сприятливих умов для участі молодих вчених у Європейських конференціях за рахунок, наприклад, зниження суми організаційних внесків; 7) сприяння підвищенню професійного та етичного рівня своїх членів шляхом надання їм безкоштовної методологічної і консультативної допомоги, організація і проведення лекцій, семінарів та інших заходів; 8) надання майданчиків і площ для проведення занять, тренувальних заходів і оздоровчих практик; 9) розробка пропозицій до державних програм, законодавчих актів, спрямованих на розвиток і удосконалення громадського суспільства в Україні, Євросоюзу 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

ФП 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 вивчалися: 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 відображати 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 відображати 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 1).
- 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 вважаються одним ключовим словом.

Анотація з УДК, ПІБ авторів та переліком ключових слів надається українською, російською та англійською мовами (кегель 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 загальноновживаних (в тому числі в англомовних 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>Денисова А. Є., Лужанська Г. В., Іванова Л. В., Жайворон О. С., Бодюл О. С.</i> Вдосконалення систем теплолокалізації на засадах енергозбереження	3
<i>Lisachuk G. V., Ved M. V., Kryvobok R. V., Zakharov A. V., Voloshchuk V. V., Maistat M. S.</i> Development technology of electrical conductance ceramics	12
<i>Солодовнікова Л. М., Тарасов В. О., Зубер В. М., Сорока Ю. М., Сізова Н. Д.</i> Методичні аспекти оцінки і зниження рівня радононебезпеки сховищ РАВ	17
<i>Бухкало С. І., Ольховська В. О.</i> Загальні можливості підвищення енергоефективності комплексних систем переробки плодоовочевої сировини	24

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

<i>Німець Н. М., Брусенцева Т. В., Цапко Н. С.</i> Комплексний аналіз деяких моделей екологічної безпеки супутньо-пластових вод нафтоконденсатних родовищ	35
<i>Пріщенко О. П., Черногор Т. Т.</i> Використання тензорів при аналізі особливостей фізичних властивостей твердих тіл	42
<i>Єфімов О. В., Тютюник Л. І., Каверцев В. Л., Гаркуша Т. А., Мотовільнік А. В., Ліфишиць П. В.</i> Аналіз сучасних методів і підходів до математичного моделювання та оптимізації параметрів технологічних процесів в енергетичному устаткуванні енергоблоків ТЕС і АЕС	49
<i>Черемська Н. В.</i> Застосування кореляційної теорії неоднорідних випадкових полів до поширення хвиль в статистично неоднорідних середовищах	54

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

<i>Касьяненко Л. М., Демидов І. М., Мольченко С. М., Демидова А. О.</i> Використання епоксидованої соняшникової олії для одержання біомастильних матеріалів	61
<i>Kondratiuk N. V., Polyvanov Ye. A., Vienko O. Yu., Honcharenko I. P.</i> Scientific aspects of development and enrichment of dry mixtures for the production of gluten-free culinary products	66
<i>Півень О. М., Демидов І. М., Мольченко С. М., Березка Т. О.</i> Оптимізація рецептурного складу та деяких споживчих властивостей гречаних цукерок	71
<i>Kondratiuk N. V., Petukhov N. O., Suprunenko K. Ye., Polyvanov Ye. A., Karpenko S. A.</i> Innovative approaches in the creation of technologies of dry concentrates cocktails with increased content biologically active substances	77

ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

<i>Ageicheva A. O., Bukhhalo S. I., Vypovska A. Y., N. G. Pshychkina</i> ict usage peculiarities in startup projects translation	83
<i>Зезекало І. Г., Іваницька І. О., Агейчева О. О.</i> Основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесі їх буріння та експлуатації методом кислотних обробок	90
ІНФОРМАЦІЯ	95
ЗМІСТ	98

CONTENT

<i>Denysova A. E., Luzhanska G. V., Ivanova L. V., Zhaivoron O. S., Bodiul O. S.</i> Improvement of thermal trapping systems on the principles of energy saving	3
<i>Lisachuk G. V., Ved M. V., Kryvobok R. V., Zakharov A. V., Voloshchuk V. V., Maistat M. S.</i> Development technology of electrical conductance ceramics	12
<i>Solodovnikova L. M., Tarasov V. A., Zuber V. M., Soroka Yu. N., Sizova N. D.</i> Methodological aspects of assessment and reduction radon danger storage radioactive waste	17
<i>Bukhkalov S. I., Olkhovska V. O.</i> General possibilities increasing energy efficiency of complex systems	24

MODELING AS A TOOL OF INNOVATION

<i>Nimets N., Brusentseva T. V., Tsapko N.</i> Comprehensive analysis some models environmental safety of related foundation waters oil-and-gas condensate fields	35
<i>Prishchenko O. P., Chernogor T. T.</i> The use tensors in the analysis features of the physical properties solids	42
<i>Efimov O.V., Tiutiunyk L.I., Kavertsev V. L., Harkusha T. A., Motovilnik A. V., Lifshits P. V.</i> Analysis modern methods and approaches to simulation modeling optimization of process parameters in power equipment thermal power plants and nuclear power plants	49
<i>Cheremskaya N. V.</i> Application of the correlation theory of inhomogeneous random fields to wave propagation in statistically heterogeneous environment	54

ENERGY AND RESOURCE SAVING AS PROBLEMS AND TECHNOLOGIES OF INNOVATIONS

<i>Kasianenko L., Demidov I., Molchenko S., Demidova A.</i> Using epoxy sunflower oil of obtaining biolubricants	61
<i>Kondratiuk N. V., Polyvanov Ye. A., Vienko O. Yu., Honcharenko I. P.</i> Scientific aspects of development and enrichment of dry mixtures for the production of gluten-free culinary products	66
<i>Piven O.M., Demydov I.M., Molchenko S.M., Berezka T.O.</i> Optimization of recipe composition and some consumer properties of buckwheat candies	71
<i>Kondratiuk N.V., Petukhov N.O., Suprunenko K.Ye., Polyvanov Ye.A., Karpenko S.A.</i> Innovative approaches in the creation of technologies of dry concentrates cocktails with increased content biologically active substances	77

INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH DIFFERENT PURPOSES

<i>Ageicheva A.O., Bukhkalov S.I., Vypovska A.Y., N. G. Pshychkina</i> ict usage peculiarities in startup projects translation	83
<i>Zezekalo I.H., Ivanytska I.O., Ageicheva O.O.</i> Formation damage wells productivity recovery in the process of their drilling and operation by acid treatments method	90
INFORMATION	95
CONTENT	98

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХП»
СЕРІЯ: ІННОВАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАУКОВИХ РОБОТАХ
СТУДЕНТІВ**

Збірник наукових праць

№ 6'2020

Головний редактор: канд. техн. наук, чл.-кор. НАН вищої освіти України, проф. С.І. Бухкало

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 23.10.20 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
