

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**

№ 21'2019

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

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

No. 21'2019

Collection of Scientific papers

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2019

Kharkiv
NTU "KhPI", 2019

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», 2019. — № 21 (1346) 2019. — 96 с. — ISSN 2220-4784 (print), ISSN 2663-8738 (online).

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

Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців галузі.

The main purpose is the publication of scientific works of students, lecturers and employees of higher educational establishments, which promotes the development of technologies of innovative teaching and scientific and technical creativity of students; contributes to the continuous development of the audience as a base of fundamental and professional knowledge, as well as organizational skills, in the process of innovative design and development of industrial technological objects of various levels of complexity.

It's a unique opportunity for companies, organizations and researchers to contribute to the advancement and development of up-to-date and progress scientific and technical issues related of Chemical Engineering.

Мова статей – українська, російська, англійська.

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

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», включений до зовнішніх інформаційних систем, індексується Google Scholar; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

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

Редакційна колегія серії

Головний редактор:

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

Відповідальний секретар:

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

Члени редколегії:

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

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

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

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

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

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

Й. Клемеш, проф., Керівник лабораторії

інтеграції сталого процесу, Вища технічна

техніка у Брно, Чеська Республіка

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

інтеграції сталого процесу, Технологічний

університет Брно, Чеська Республіка

П. Стехлик, PhD, проф., технологічний

університет, Брно, Чеська республіка

З. Краванья, проф., лабораторія системотехники и

устойчивого развития, Марибор, Словения

Ф. Фридлер, проф., Католический университет,

лабораторія Heriberto Cabezas, Будапешт, Венгрія

Л. Пуиджанер, професор, доктор філософії,

Політехнічний університет Каталонії, кафедра

хімічного машиностроєння, Барселона, Іспанія

И. Плазл, проф., факультет хімії и хіміческой

технології, Університет Любляны, Любляна, Словенія

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

Ноттингемський університет, кампус Малайзії, кафедра

хіміческой и екологической инженерии, Малайзія

Консультативна рада

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

НТУ «ХПІ», Україна

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

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

України «Енергетика та ресурсозбереження»

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

нетрадиційних енерготехнологій, Інститут

проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного

НАН України

Editorial staff

Editor-in-chief:

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

Executive secretary:

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

Editorial staff members:

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

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

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

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

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

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

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

Integration Laboratory, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta

strojního inženýrství, Brno, Czech Republic

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

Sustainable Process Integration Laboratory, Brno University of

Technology, Brno, Czech Republic

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

Institute of Process and Environmental Engineering at the Faculty of

Mechanical Engineering, University of Technology, Brno, Czech

Republic

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

Chemical Engineering, Laboratory for Process Systems Engineering

and Sustainable Development, Maribor, Slovenia

Ferenc Friedler, Professor, PhD., Pázmány Péter Catholic

University, Heriberto Cabezas's Lab, Budapest, Hungary

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

Department of Chemical Engineering, Barcelona, Spain

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

Technology, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

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

Nottingham, Malaysia Campus, Dept. of Chemical and

Environmental Engineering, Malaysia

Advisory Board

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

Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

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

University of Urban Economy, vice-president of National

Academy of Sciences of higher education of Ukraine

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

energy technologies Podgorny Institute for Mechanical Engine-

ering's Problems of National Academy of Sciences of Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 7 від 05 липня 2019 р.

В. В. ВЫСОЧИН, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Е. ДЕНИСОВА, Н. Г. БЕЛОУСОВА

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУНТОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ГЕЛИОСИСТЕМ

Исследованы нестационарные процессы теплообмена в гелиосистеме с тепловым насосом и сезонным аккумулятором тепла с 9 грунтовыми вертикальными теплообменниками в процессе периодической, с суточными циклами, зарядки аккумулятора в летний период и разрядки в зимний для различных регионов Украины. Метод исследования – численный. Итерационным методом подбирались условия полного автономного теплоснабжения потребителя по отопительной нагрузке. Обоснована возможность повышения эффективности аккумулятора путем выбора рационального шага куста и температуры теплоносителя в грунтовом теплообменнике. Показано, что при кустовом способе организации сезонного аккумулятора рециркуляция теплоносителя в теплообменниках в период отсутствия солнечной радиации (в пассивной фазе) способствует повышению эффективности закачки тепла в грунт. Граничная скорость теплоносителя на входе в теплообменник в пассивной фазе составляет 0,8 м/с. Такие условия позволяют достичь повышения энтальпии грунта и уменьшения необходимой площади солнечных коллекторов. Этому также способствует рациональная величина температуры теплоносителя на входе в грунтовые теплообменники, которую можно рекомендовать на уровне 50 °С. Рациональные значения шага куста зондов в основном являются функцией теплофизических свойств грунта и могут быть определены по полученной зависимости.

Ключевые слова: сезонный аккумулятор теплоты; гелиосистема; тепловой насос.

В. В. ВИСОЧИН, В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Є. ДЕНИСОВА, Н. Г. БЕЛОУСОВА

ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРУНТОВИХ АКУМУЛЯТОРОВ ГЕЛІОСИСТЕМ

Досліджено нестационарні процеси теплообміну в геліосистемі з тепловим насосом і сезонним акумулятором тепла з 9 ґрунтовими вертикальними теплообмінниками в процесі періодичної, з добовими циклами, зарядки акумулятора в літній період і розрядки в зимовий для різних регіонів України. Метод дослідження – чисельний. Ітераційним методом підбиралися умови повного автономного теплопостачання споживача по опалювальному навантаженні. Обґрунтовано можливість підвищення ефективності акумулятора шляхом вибору раціонального кроку куща і температури теплоносія в ґрунтовому теплообміннику. Показано, що при кущовому способі організації сезонного акумулятора рециркуляція теплоносія в теплообмінниках в період відсутності сонячної радіації (в пасивній фазі) сприяє підвищенню ефективності закачування тепла в ґрунт. Гранична швидкість теплоносія на вході в теплообмінник в пасивній фазі становить 0,8 м/с. Такі умови дозволяють досягти підвищення ентальпії ґрунту і зменшення необхідної площі сонячних колекторів. Цьому також сприяє раціональна величина температури теплоносія на вході в ґрунтові теплообмінники, яку можна рекомендувати на рівні 50 °С. Раціональні значення кроку куща зондів в основному є функцією теплофізичних властивостей ґрунту і можуть бути визначені за отриманою залежністю.

Ключові слова: сезонний акумулятор теплоти; геліосистема; тепловий насос.

V. V. WYSOCHIN, V. R. NIKULSHIN, A. E. DENYSOVA, N. G. BILOUSOVA

EFFICIENCY OF SOLAR GROUND THERMAL STORAGE

Non-stationary processes of heat exchange in seasonal solar ground thermal storage with a heat pump and 9 soil vertical heat exchangers, with daily cycles, storage charging in summer and discharging in winter for various regions of Ukraine are investigated. The research method is numerical. The iterative method selected the conditions for the complete autonomous heating. The possibility of increasing the efficiency of thermal storage by selecting a rational step of pipes and the temperature of the coolant in the ground heat exchanger is shown. In the cluster method of a seasonal battery organizing, recirculation of the coolant in heat exchangers in the case of solar radiation absence (in the passive phase) contributes to an increase of heat supply efficiency of the ground. The boundary velocity of the coolant at the entrance of the heat exchanger in the passive phase is 0.8 m/s. Such conditions make it possible to achieve an increase of the ground enthalpy and to reduce the required area of solar collectors. This also contributes to the rational value of the coolant temperature at the entrance of the soil heat exchangers, which can be recommended at 50 °C. The rational step of pipes in cluster is mainly a function of the thermophysical properties of the ground and can be determined from the obtained formula.

Keywords: seasonal thermal storage; solar system; heat pump.

Введение. Задачам энергосбережения и разработке энергоэффективных технологий уделяется существенное внимание как с точки зрения уже достигнутых результатов, так и в планируемых разработках на будущее [1]. При этом рассматриваются возможности совершенствования систем, использующих как возобновляемые, так и традиционные источники энергии [2].

Анализ состояния вопроса. В силу дефицита традиционных энергетических источников в Украине особое внимание уделяется развитию «зеленой энергетики» [3], что, впрочем, является также характерным и для мировой энергетической политики [4, 5]. Среди возобновляемых источников энергии [6] привлекательным для Украины выступает энергия Солнца [7, 8, 9], которая весьма

эффективно применяется в настоящее время для различных целей [10, 11–19], в том числе и в системах генерации и использования теплоты [20–23]. Гелиосистемы отопления используют сезонные аккумуляторы тепла. Наиболее пригодны для этой цели грунтовые аккумуляторы [24, 25], состоящие из вертикальных многозондных конструкций. Зонды представляют собой трубчатые теплообменники, расположенные в скважинах. Режимы работы теплообменников – температурный и скоростной, отличаются существенной нестационарностью, обусловленной влиянием сопряженных гелиосистемы и потребителя.

© Высочин В.В., Никульшин В.Р., Денисова А.Е., Белоусова Н.Г., 2019

В настоящее время отсутствуют надежные рекомендации по выбору рациональных параметров работы комплексов гелиосистема – многозонный сезонный аккумулятор, в частности, скоростей движения теплоносителей в грунтовых теплообменниках, размеров куста зондов и их температурного режима.

Одним из факторов сдерживания применения грунтовых аккумуляторов является невысокое качество накопленной теплоты, ее низкий потенциал. Это объясняется, в частности, цикличностью производства теплоты в гелиосистеме, что приводит к периодическому падению температурного напора при зарядке аккумулятора и размыванию температурного поля в грунте [24]. Для решения этой проблемы применяют дополнительные аккумуляторы тепла суточного цикла [26], что усложняет систему теплоснабжения и ухудшает ее показатели. Простой, но эффективный способ сглаживания процесса аккумуляции тепла заключается в активизации работы грунтового теплообменника в ночное время в так называемой пассивной фазе [24]. Для многозонных аккумуляторов подобных исследований не проведено. Важно отметить, что численные исследования известных авторов работы грунтовых аккумуляторов проводились на математических моделях, в которых использовалось одномерное уравнение теплопроводности грунта и при отсутствии влияния сопряженных элементов системы [26, 27]. Такая постановка задачи позволяла проводить лишь качественную оценку процессов, так как в реальных условиях имеет место существенная деформация температурного поля в массиве грунта [24], обусловленная утечками тепла в разных направлениях и наложениями полей от разных источников. Так как для практических целей важно установление в высокой степени достоверных режимных параметров, необходимо производить решение таких задач с применением математических моделей более высокой точности.

Цель работы. Повышение эффективности функционирования грунтовых аккумуляторов гелиосистемы за счет рационального непрерывного круглосуточного режима закачки теплоты в грунт.

Методы исследования. Разработка математической модели повышенной информативности на основе трехмерного уравнения теплопроводности в грунте, а также уравнений, описывающих энергетические процессы в сопряженных элементах гелиосистемы в реальных условиях прихода солнечной энергии и потребления тепла в развертке годового цикла.

Для исследования был выбран грунтовой теплообменник коаксиального типа (труба в трубе). Куст аккумулятора состоит из 9 вертикальных параллельно включенных теплообменников.

Учитывались процессы поглощения лучистой энергии в солнечном коллекторе (СК) и переноса тепла в теплообменнике и грунте. Теплообмен в грунтовом теплообменнике описан системой

дифференциальных уравнений энергетического баланса [24]: для теплоносителя внутренней трубы (подающей); для стенки внутренней трубы; для теплоносителя внешней трубы (обратной); для наружной стенки. Теплообмен в грунте описан уравнением нестационарной теплопроводности в прямоугольных координатах в трехмерной постановке. Система уравнений решалась конечно-разностным методом. Материал труб теплообменника – пластик. Диаметр внешних труб теплообменника в соответствии с [24] принимался равным 180 мм. Теплоноситель – вода. Сопряжение грунтового теплообменника с гелиоколлекторами осуществлялось введением в расчетную математическую модель системы уравнений, описывающих условия прихода и преобразования солнечной энергии в гелиоколлекторе [27]. Отбор тепла от аккумулятора осуществлялся посредством теплового насоса (ТН), работа которого в нестационарных условиях описывалась уравнениями, отвечающими термодинамическому циклу преобразования энергии в испарителе и конденсаторе при переменных условиях формирования зон испарения и конденсации.

Анализ работы ТН в нестационарных условиях позволил выявить зависимость между энергозатратами и температурой теплоносителя на входе в испаритель t_0 при заданной расчетной (конструктивной) теплопроизводительности ТН по испарителю Q_0^p , которая имеет вид, кВт:

$$N = 0,0103 + 0,2177 \cdot \Phi_0^p + \frac{\Phi_0^p \cdot \vartheta_0}{113,907 + 3,517\Phi_0^p},$$

где $\vartheta_0 = t_0 / t'_0$; t'_0 – базовая температура теплоносителя, $t'_0 = 10^\circ\text{C}$; $\Phi_0^p = Q_0^p / Q'_0$; Q'_0 – базовая теплопроизводительность ТН, $Q'_0 = 1$ кВт.

Область определения зависимости:

$$Q_0^p = (2 \dots 10) \text{ кВт}, t_0 = (10 \dots 45) ^\circ\text{C}.$$

Условия работы СК определялись периодом, который начинался 15 апреля (окончание отопительного сезона) и заканчивался через 6 месяцев. Для исследования приняты современные плоские СК.

В результате решения системы уравнений принятой математической модели определялись температурные поля в теплообменнике и грунтовом массиве, теплосодержание массива грунта, температура и скорость циркулирующего в гелиосистеме теплоносителя в период сезонной работы гелиосистемы.

Итерационным расчетом процесса закачки тепла определялась общая площадь СК, производительность которых отвечала условию удовлетворения тепловой нагрузки потребителя в реальной развертке теплового графика.

Закачка тепла производилась в две фазы, одна из

которой – дневная (активная), когда работают СК, вторая – ночная (пассивная), когда остаточный тепловой потенциал теплоносителя передается грунту в режиме интенсивного теплообмена при вынужденном движении в контуре: опускная – подъемная трубы.

Активная фаза во всех рассмотренных случаях протекает при непрерывном изменении скорости теплоносителя, обусловленном необходимостью поддержания постоянной температуры теплоносителя на входе в теплообменники зондов при переменной производительности СК.

В пассивной фазе скорость теплоносителя остается постоянной. Полученные данные показывают, что воздействие на условия проведения пассивной фазы путем увеличения скорости теплоносителя приводит к росту количества накопленного в грунте тепла. Например, при высоте зондов 10 м и теплофизических свойствах грунта, соответствующих морфологии глины с коэффициентом температуропроводности $a = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, это изменение в конце стадии закачки составляет около 25 %. При этом заметно, что темп роста рассматриваемой функции снижается с увеличением скорости теплоносителя.

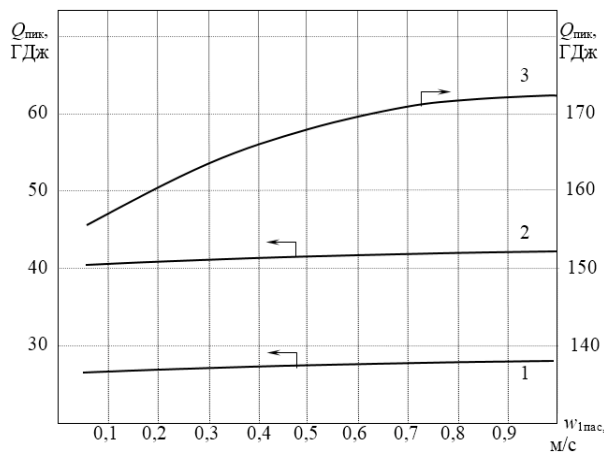


Рис. 1. Зависимость максимального количества накопленного в грунте тепла за сезон закачки от скорости теплоносителя на входе в теплообменник в пассивной стадии, длины зонда и теплофизических свойств грунта: 1 – $h_{\text{то}}=10 \text{ м}$, $a=2,78 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$; 2 – $h_{\text{то}}=10 \text{ м}$, $a=5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$; 3 – $h_{\text{то}}=50 \text{ м}$, $a=5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

На рис. 1 представлены данные по влиянию скорости теплоносителя в пассивной стадии на максимальное количество тепла (пиковое – $Q_{\text{пик}}$), накопленного в грунте за сезон закачки. Для зондов небольших размеров (высота $h_{\text{то}} = 10 \text{ м}$) влияние скорости на $Q_{\text{пик}}$ невелико. Это обстоятельство имеет место для разных грунтов. С увеличением высоты зонда влияние скорости теплоносителя возрастает (кривая 3), и для зонда с $h_{\text{то}} = 49 \text{ м}$, например, в рассматриваемых пределах изменения скорости достигает 10 %.

Темп изменения данной целевой функции для разных скоростей w_{1nac} отличен. С ростом w_{1nac} изменение $Q_{\text{пик}}$ уменьшается, асимптотически приближаясь к предельному значению. Можно выделить рубежные значения скорости $w_{1nac} = (0,7 \dots 1,0) \text{ м/с}$, когда изменение $Q_{\text{пик}}$ становится несущественным.

Для технико-экономического обоснования важными показателями являются размеры активной площади СК, необходимой для осуществления рациональной работы системы приемник солнечной энергии – теплообменник грунтового аккумулятора. Показательным для оценки выбора площади СК является отношение суммарной площади солнечных коллекторов к пиковому количеству тепла, накопленного в грунте – $A_{\text{сум}}/Q_{\text{пик}}$. Назовем этот показатель удельной площадью СК, необходимой для зарядки грунтового аккумулятора.

На рис. 2 представлены данные по влиянию скорости теплоносителя в пассивной стадии на показатель $A_{\text{сум}}/Q_{\text{пик}}$. С увеличением скорости удельная площадь $A_{\text{сум}}/Q_{\text{пик}}$ уменьшается.

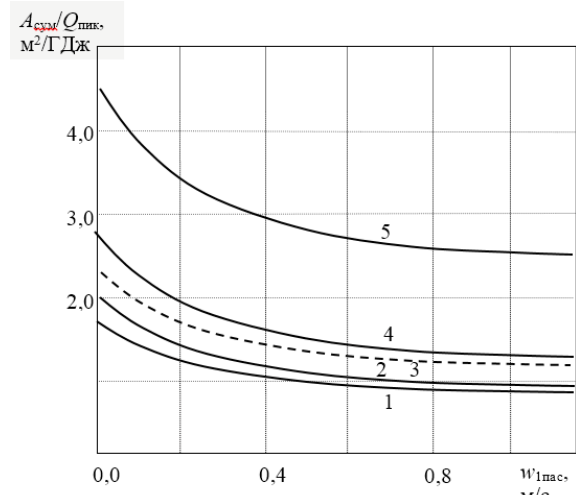


Рис. 2. Зависимость относительной (удельной) площади солнечных коллекторов от скорости теплоносителя на входе в теплообменник в пассивной стадии и шага между зондами, м: 1 – 6; 2 – 4; 3 – 4; 4 – 3; 5 – 2. Кривая 3 – длина зонда 49 м, остальные кривые – длина зонда 10 м.

При этом можно выделить область скоростей, где их влияние невелико. Она соответствует величинам $w_{1nac} = (0,7 \dots 0,8) \text{ м/с}$, что согласуется с результатами анализа, проведенного выше. Такая зависимость характерна для зондов различной длины и при разном шаге в кусте.

Анализ данных на рис. 2 показывает, что показатель $A_{\text{сум}}/Q_{\text{пик}}$ зависит также от шага расположения зондов в кусте. Наименьшей удельной площадью обладает гелиоаккумулирующая система при большом шаге ($S = 6 \text{ м}$), с уменьшением шага $A_{\text{сум}}/Q_{\text{пик}}$ возрастает. Увеличение шага приводит к

росту теплосодержания массива $Q_{\text{пик}}$. В конце полугодического периода закачки тепла пиковое количество тепла возрастает в 2...3 раза при увеличении шага от 2 м до 6 м в рассматриваемых условиях. Это явление объясняется интенсификацией теплообмена за счет увеличения температурного напора между теплоносителем зонда и грунтом, так как рост шага приводит к снижению температуры массива грунта в межзондовом пространстве. Однако зависимость пикового количества тепла от расстояния между зондами нелинейна.

С увеличением шага рост $Q_{\text{пик}}$ уменьшается, асимптотически приближаясь к некоторому уровню.

Рубежными для данных условий можно считать значения $S = (5...6)$ м, превышение которых мало отражается на величине функции $Q_{\text{пик}}$. Однако увеличение шага приводит к изменению уровня температур в грунте. Принимая t_c качестве индикаторной температуры на среднем расстоянии между зондами и на глубине равной полувысоте зонда, получим (грунт – глина), что на 180 суток зарядки для куста с шагом 2,0 м t_c составляет 47°C, для 4,0 м – 37,3 °C, а для 6,0 м – 25,9 °C. Уровень температуры грунта определяет качество энергии в аккумуляторе, дальнейшая трансформация которой в ТН отражается на его эффективности.

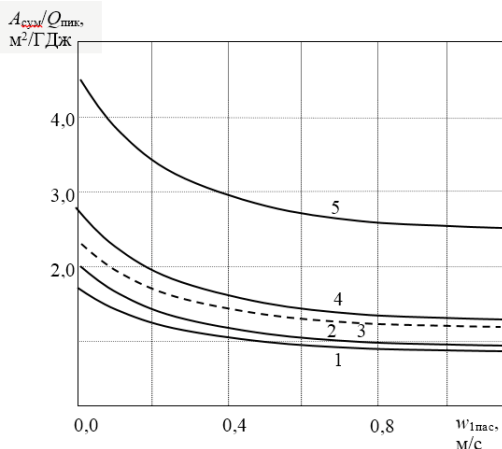


Рис. 3. Изменение сезонных энергозатрат на привод ТН в зависимости от температуры теплоносителя на входе в зонды t_{in} , мощности ТН и шага зондов; обозначения – шаг, м/мощность, кВт; грунт – известняк: 1 – 6/(10...20); 2 – 4/(10...20); 3 – 4/5; глина: 4 – (4...6)/(5...20)..

На рис. 3 приведены данные по общесезонным энергозатратам на привод ТН в зависимости от ряда факторов, в том числе и шага зондов. Увеличение шага приводит к росту затрат энергии, что объясняется снижением температуры грунта и связанное с этим увеличение температурного подъема в ТН. Примечательно, что энергозатраты формируются при зимнем отборе тепла из аккумулятора, качество теплоты в котором (температурный потенциал) зависит от условий летней закачки. Как следует из рис. 3, зимние энергозатраты на ТН возрастают с увеличением

температуры теплоносителя на входе в зонды в летний период. Такая закономерность наблюдается в различных условиях, как при изменении свойств грунта, так и шага зондов.

Важно отметить, что в этой закономерности влияние факторов также опосредованное. Температура относится к летним факторам условий закачки аккумулятора, а работа ТН осуществляется в зимний период, при разрядке аккумулятора.

Для обобщенного анализа такой закономерности используем показатель $A_{\text{сум}}/Q_{\text{пик}}$. Влияние на нее температуры теплоносителя показано на рис. 4. Как видно, с увеличением температуры теплоносителя относительная площадь солнечных коллекторов растет, что вполне согласуется с общими представлениями. Такая зависимость наблюдается в разных грунтах. Таким образом, полученные данные показывают целесообразность снижения температуры теплоносителя. Из рис. 4 также следует, что увеличение шага зондов уменьшает площадь СК.

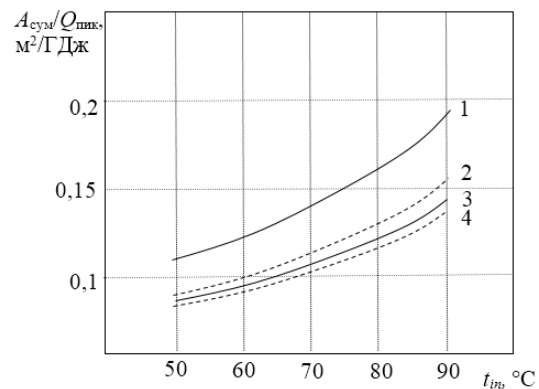


Рис. 4. Зависимость относительной (удельной) площади солнечных коллекторов от температуры теплоносителя на входе в теплообменник при зарядке аккумулятора, типа грунта и шага между зондами, м: 1 – 4; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 6. Кривые 1 и 3 – известняк, 2 и 4 – глина.

На рис. 5 показана зависимость расчетной отопительной нагрузки, которая может быть удовлетворена в полной мере за счет накопленного в аккумуляторе тепла, от температуры теплоносителя.

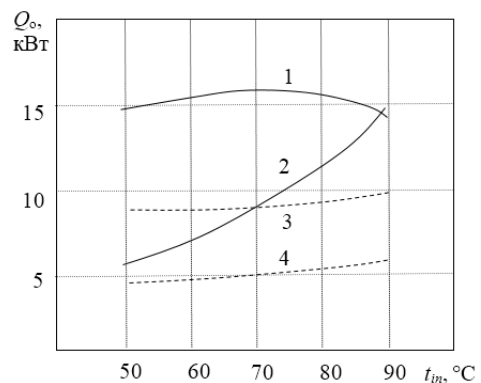


Рис. 5. Зависимость расчетной отопительной нагрузки потребителя от температуры теплоносителя на входе в теплообменник.

Видно, что увеличение температуры теплоносителя приводит к росту отопительной нагрузки (рис. 5: глубины зонда и шага между зондами, м: 1 – 6; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 4; кривые 1 и 2 – глубина зонда 49 м, 3 и 4 – 24 м; грунт – известняк). Рассматривая эту зависимость совместно с рис. 4, видим, что этот рост обусловлен увеличением поверхности СК. Вместе с тем, как следует из рис. 5, увеличение тепловой производительности системы проявляется при умеренных величинах шага зондов. При шаге зонда 6 м влияние температуры теплоносителя уже не проявляется. Подобное влияние наблюдается и в зависимости по влиянию температуры теплоносителя на энергозатраты в ТН.

Таким образом, можно выделить области рациональных размеров шага размещения зондов и величины температуры теплоносителя.

Обсуждение результатов эксперимента. Обобщение полученных данных позволяет выработать рекомендации по ведению режима работы гелиоаккумулирующей системы теплоснабжения. Рациональные условия работы системы включают: в дневное время – переменный закон изменения скорости теплоносителя в грунтовых теплообменниках в соответствии с тепловой производительностью СК при ограничении по максимальному значению (2 м/с); в ночное время – рециркуляция теплоносителя в контуре теплообменника из подающей и обратной труб с постоянной скоростью на входе, равной $w_{1nac} = 0,7...0,8$ м/с.

Из полученных данных следует, что шаг между зондами оказывает существенное влияние на удельные показатели гелиосистемы. С ростом шага показатель $A_{сум} / Q_{пик}$ уменьшается, однако при этом снижается температурный потенциал грунтового массива. С учетом этих обстоятельств возможен рациональный выбор шага кустового аккумулятора.

Как показал анализ полученных данных, широта местности и глубина зондов относятся к факторам, влиянием которых можно пренебречь для этой функции, так как зафиксированные отклонения от обобщающей линии носят случайный характер и не позволяют выявить статистически рациональную связь. Закономерно устойчивым фактором влияния является температуропроводность грунта.

Поэтому окончательно принята однофакторная зависимость. Рост температуропроводности грунта приводит к увеличению оптимального шага. Это связано с зависимостью аккумулялирующей способности массива грунта от его теплофизических свойств. Обобщающее расчетное соотношение для различных регионов найдено в виде

$$S^{opt} = 1 / \left[0,25 - 5,69 \cdot 10^{-6} \exp(a_{гр} \cdot 10^7) \right].$$

Область определяющих параметров
 $h = 10...49$ м, $a_{гр} = (2,78...9,61) 10^{-7}$ м²/с.

С учетом рассмотренных факторов можно выбрать рациональное значение температуры теплоносителя на входе в теплообменник равным 50 °С.

Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления.

1. При кустовом способе организации сезонного аккумулятора рециркуляция теплоносителя в теплообменниках в период отсутствия солнечной радиации (в пассивной фазе) способствует повышению эффективности закачки тепла в грунт.

2. Граничная скорость теплоносителя на входе в теплообменник в пассивной фазе составляет $w_{1nac} = 0,7...0,8$ м/с. Поддержание граничных скоростей позволяет достичь повышения энтальпии грунта и уменьшить относительную площадь солнечных коллекторов $A_{сум} / Q_{пик}$. Уменьшению этого показателя также способствует рациональная величина температуры теплоносителя на входе в грунтовые теплообменники, которую можно рекомендовать на уровне 50 °С.

3. Рациональные значения шага куста зондов в основном являются функцией теплофизических свойств грунта и могут быть определены по полученной зависимости.

Список литературы

1. Салько А. Энергосбережение и энергоэффективность в Украине. Достижения и планы // Электрик. 2018. № 11–12. С. 26–28.
2. Білодід В.Д. Прогнозна структура теплоснабження України на період до 2040 року // Проблеми загальної енергетики. 2016. № 1 (44). С. 24–33.
3. Балусева О.В., Кумачова О.С. Особливості комплексної державної політики розвитку "зеленої" економіки в Україні в умовах системних змін // Інвестиції: практика та досвід. 2016. № 24. С. 130–135.
4. Шилов А. Развитие "зеленых" технологий в европейской и мировой энергетике // Электрик. 2016. № 12. С. 20–23.
5. Пришляк Н.В. Відновлювальна енергетика в Індії: сучасний стан та перспективи розвитку // Інвестиції: практика та досвід. 2018. № 21. С. 15–20.
6. Нікульшин В.Р., Височин В.В. Нетрадиційні джерела енергії: навч. посібник. Одеса: КПЦ Білка, 2016. 208 с.
7. Мусяненко Д. Солнечная энергетика – "наступает" // Бизнес и безопасность. 2018. № 1. С. 97–98.
8. Алехина С. Солнечная энергетика в Украине: итоги и перспективы // Радиоаматор. 2017. № 1. С. 38–39.
9. Єлісеєва О.К., Хазан П.В. Економіко-статистичний аналіз сонячної енергетики регіонів України // Статистика України. 2016. № 4. С. 51–58.
10. Рощина Н.В., Борданова Л.С. Аналіз процесу впровадження систем виробництва сонячної енергії для приватних домогосподарств в Україні // Інвестиції: практика та досвід. 2018. № 19. С. 24–27.
11. Бухкало С.И., Селихов Ю.А., Воробьев В.М. Вопросы энерго- и ресурсосбережения при использовании полимерных материалов в гелиосистемах // Интегр. технології та енергозбереження. 2002. № 2. С. 17–20.

12. Бухкало С.И., Селихов Ю.А., Воробьев В.М., Костин В.М. Автономная система горячего водоснабжения с полимерными гелиоколлекторами // *Интегр. технології та енергозбереження*. 2003. № 1. С. 21–25.
13. Бухкало С.И., Селихов Ю.А., Воробьев В.М. Вопросы энерго- и ресурсосбережения при использовании полимерных материалов в гелиосистемах // *Интегр. технології та енергозбереження*. 2003. № 2. С. 9–12.
14. Селихов Ю.А., Ведь В.Е., Бухкало С.И., Костин В.М. Конструкционные особенности увеличения эффективности работы гелиоустановок. Экологические и ресурсосбережение. – Киев: Типография НАН Украины, № 3, 2004. – с. 70–75.
15. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
16. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Денисова А.Є., Демидов І.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. 2-ге видання, перероблене. – К.: ЦНЛ, 2016. – 470 с.
17. Селихов Ю.А., Селихова Л.Ю., Бухкало С.И. Полимерная композиция, Патент Украины, № 72078 А, Бюл. № 10, 2004.
18. Селихов Ю.А., Селихова Л.Ю., Селихова Н.В., Бухкало С.И. Двоконтурна геліоводонагрівна установка, Патент України, № 64198 А, Бюл. № 2, 2004.
19. Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Горбунова О.В. Оценочный расчет возможности использования системы солнечных коллекторов как альтернативного источника энергии // *Интегр. технології та енергозбереження*. 2016. № 5. С. 134–138.
20. Климчук О.А. Інтегровані системи переривчастого теплопостачання для адміністративних установ та навчальних закладів (теоретичні основи, аналіз, оптимізація): дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.06. Одеса, 2018. 370 с.
21. Куц Г.О., Станиціна В.В., Коберник В.С. Порівняльна оцінка вартості теплової енергії від діючих та прогнозованих теплогенеруючих джерел для систем теплопостачання країни // *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 3(46). С. 12–18.
22. Селихов Ю. А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А. Энергетический метод расчета оптимизации работы одноконтурной солнечной установки для горячего водоснабжения // *Интегр. технології та енергозбереження*. 2017. № 1. С. 9–13.
23. Селихов Ю.А., Коцаренко В.А., Горбунов К.А., Горбунова О.В. Оптимизация работы солнечной установки для горячего водоснабжения и отопления зданий // *Интегр. технології та енергозбереження*. 2016. № 5. С. 15–20.
24. Высочин В.В., Громовой А.Ю. Роль грунтового теплообменника в сглаживании неравномерности работы гелиосистемы // *Праці Одеського політехн. ун-ту*. Одеса, 2013. Вип. 2(41). С. 148–152.
25. Накорчевский А.И., Басок Б.И. Оптимальная конструкция грунтовых теплообменников // *Промышленная теплотехника*. 2005. Т.27, № 6. С. 27–31.
26. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беяева Т.Г. Проблемы грунтового аккумулирования теплоты и методы их решения // *Промышленная теплотехника*. 2003. Т.25, № 6. С. 42–50.
27. Высочин В.В. Математическая модель гелиосистемы с сезонным аккумулятором тепла // *Праці Одеського політехн. ун-ту*. Одеса, 2011. Вип.2 (36). С. 125–129.

References (transliterated)

1. Sal'ko A. Jenergosberezhenie i jenergojeffektivnost' v Ukraine. Dostizhenija i plany [Energy saving and energy efficiency in Ukraine. Achievements and Plans] // *Jelektrik [An electrician]*. 2018. No. 11–12, pp. 26–28.
2. Bilodid V.D. Prognozna struktura teplozabezpechennja Ukrai'ny na period do 2040 roku [Forecast structure of heat supply of Ukraine for the period up to 2040] // *Problemy zagal'noi' energetyki [Problems of general energy]*. 2016. No. 1 (44), pp. 24–33.
3. Balujeva O.V., Kumachova O.S. Osoblyvosti kompleksnoi' derzhavnoi' polityky rozvytku "zelenoi'" ekonomiky v Ukrai'ni v umovah systemnyh zmin [Features of a comprehensive state policy on the development of a "green" economy in Ukraine under conditions of systemic changes] // *Investyicii': praktyka ta dosvid [Investments: practice and experience]*. 2016. No. 24. pp. 130–135.
4. Shilov A. Razvitie "zelenyh" tehnologij v evropejskoj i mirovoj jenergetiki [The development of "green" technologies in the European and world energy] // *Jelektrik [An electrician]*. 2016. No. 12. pp. 20–23.
5. Pryshljak N.V. Vidnovljuval'na energetyka v Indii': suchasnyj stan ta perspektyvy rozvytku [Renewable Energy in India: Current State and Development Prospects] // *Investyicii': praktyka ta dosvid [Investments: practice and experience]*. 2018. No. 21. pp. 15–20.
6. Nikul'shyn V.R., Vysochyn V.V. Netradycijni dzhерелa energii': navch. Posibnyk [Unconventional energy sources: teach. manual]. Odesa: KPC Bilka, 2016. 208 p.
7. Musienko D. Solnechnaja jenergetika – "nastupaet"[Solar energy - "comes"] // *Biznes i bezopasnost' [Business and Security]*. 2018. No. 1. pp. 97–98.
8. Alehina S. Solnechnaja jenergetika v Ukraine: itogi i perspektivy [Solar energy in Ukraine: results and prospects] // *Radioamator [Radioamator]*. 2017. No. 1. pp. 38–39.
9. Jelisjejeva O.K., Hazan P.V. Ekonomiko–statystychnyj analiz sonjachnoi' energetyki regioniv Ukrai'ny [Economic-statistical analysis of solar energy in the regions of Ukraine] // *Statystyka Ukrai'ny [Statistics of Ukraine]*. 2016. No. 4. pp. 51–58.
10. Roshhyna N.V., Bordanova L.S. Analiz procesu vprovadzennja system vyrobnyctva sonjachnoi' energii' dlja pryvatnyh domogospodarstv v Ukrai'ni [Analysis of the implementation process of solar energy production systems for private households in Ukraine] // *Investyicii': praktyka ta dosvid [Investments: practice and experience]*. 2018. no. 19. pp. 24–27.
11. Bukhhalo S.I., Selihov Ju.A., Vorob'ev V.M. Voprosy jenergo- i resursosberezhenija pri ispol'zovanii polimernyh materialov v geliosistemah // *Integr. tehnologii ta energozberezhenija*. 2002. № 2, pp. 17–20.
12. Bukhhalo S.I., Selihov Ju.A., Vorob'ev V.M., Kostin V.M. Avtonomnaja sistema gorjachego vodosnabzhenija s polimernymi geliokollektorami // *Integr. tehnologii ta energozberezhenija*. 2003. No 1, pp. 21–25.
13. Bukhhalo S.I., Selihov Ju.A., Vorob'ev V.M. Voprosy jenergo- i resursosberezhenija pri ispol'zovanii polimernyh materialov v geliosistemah // *Integr. tehnologii ta energozberezhenija*. 2003. No 2, pp. 9–12.
14. Selihov Ju.A., Ved' V.E., Bukhhalo S.I., Kostin V.M. Konstrukcionnye osobennosti uvelichenija jeffektivnosti raboty gelioustanovok. Jekotehnologii i resursosberezhenie. – Kiev: Tipografija NAN Ukrainy, No 3, 2004. – pp. 70–75.

15. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
16. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Denisova A.C., Demidov I.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. 2-ge vidannja, pereroblene. – K.: CNL, 2016. – 470 p.
17. Selihov Ju.A., Selihova L.Ju., Bukhhalo S.I. Polimerna kompozicija, Patent Ukraini, № 72078 A, Bjul. № 10, 2004.
18. Selihov Ju.A., Selihova L.Ju., Selihova N.V., Bukhhalo S.I. Dvokonturna geliovodonagrivna ustanovka, Patent Ukraini, № 64198 A, Bjul. № 2, 2004.
19. Selihov Ju.A., Kocarenko V.A., Gorbunov K.A., Gorbunova O.V. Ocenocnyj raschet vozmozhnosti ispol'zovanija sistemy solnechnyh kollektorov kak al'ternativ-nogo istochnika jenerгии // Integr. tehnologii' ta energoberezhennja. 2016. № 5, pp. 134–138.
20. Klymchuk O.A. Integrovani systemy pereryvchastogo teplopostachannja dlja administratyvnyh ustanov ta navchal'nyh zakladiv (teoretychni osnovy, analiz, optymizacija): dys. ... d-ra tehn. nauk: 05.14.06. [Integrated systems of intermittent heat supply for administrative institutions and educational institutions (theoretical bases, analysis, optimization): diss. ... Dr. tech. sciences: 05.14.06. Odessa] Одеса, 2018. 370 p.
21. Kuc G.O., Stanycina V.V., Kobernyk V.S. Porivnjal'na ocinka vartosti teplovoi' energii' vid dijuchyh ta prognozovanyh teplogenerujuchyh dzherel dlja system teplopostachannja kraj'ny [Comparative assessment of the cost of heat energy from current and projected heat sources for the country's heat supply systems] // Problemy zagal'noi' energetyky [Problems of general energy]. 2016. no. 3(46). pp. 12–18.
22. Selihov Ju.A., Kocarenko V.A., Gorbunov K.A. Jenergeticheskij metod rascheta optimizacii raboty odnokonturnoj solnečnoj ustanovki dlja gorjachego vodosnabzhenija [Energy method for calculating the optimization of a single-circuit solar system for hot water supply] // Integr. tehnologii' ta energoberezhennja [Integr. technology and energy saving]. 2017. No. 1. pp. 9–13.
23. Selihov Ju.A., Kocarenko V.A., Gorbunov K.A., Gorbunova O.V. Optimizacija raboty solnečnoj ustanovki dlja gorjachego vodosnabzhenija i otoplenija zdanij [Optimization of the solar system for hot water and heating buildings] // Integr. tehnologii' ta energoberezhennja [Integr. technology and energy saving]. 2016. no. 5. pp. 15–20.
24. Vysochin V.V., Gromovoj A.Ju. Rol' gruntovogo teploobmennika v sglazhivanii neravnomernosti raboty geliosistemy [The role of the ground heat exchanger in smoothing the unevenness of the solar system] / Praci Odes'kogo politehn.un [Proceedings of Odessa Polytechnic University] Odesa, 2013. Vol. 2(41), pp. 148–152.
25. Nakorchevskij A.I., Basok B.I. Optimal'naja konstrukcija gruntovyh teploobmennikov [Optimum design of ground heat exchangers] // Promyshlennaja teplotehnika [Industrial heat engineering]. 2005. T.27, no. 6. pp. 27–31.
26. Nakorchevskij A.I., Basok B.I., Beljaeva T.G. Problemy gruntovogo akumulirovanija teploty i metody ih reshenija [Problems of ground heat storage and methods for their solution] // Promyshlennaja teplotehnika [Industrial heat engineering]. 2003. T.25, no. 6. pp. 42–50.
27. Vysochin V.V. Matematicheskaja model' geliosistemy s sezonnym akumuljatorom tepla [Mathematical model of a solar system with a seasonal heat accumulator] // Praci Odes'kogo politehn.un-tu [Proceedings of Odessa Polytechnic University]. Odesa, 2011. Vol.2 (36). pp. 125–129.

Поступила (received) 15.07.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

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

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

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

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

Білоусова Надія Георгїївна (Белоусова Надежда Георгиевна, Bilousova Nadiia Georgiivna) – Одеський національний політехнічний університет, завідувач лабораторією кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4386-7101>; e-mail: wywka3@i.ua

**Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О. П. АРСЕНЬЄВА, О. Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, С. К. КУСАКОВ,
О. А. ВАСИЛЕНКО, П. Ю. АРСЕНЬЄВ, А. П. ЮЗБАШЬЯН**

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ ТА ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ У СТРІЧКОВО-ПОТОЧНИХ КАНАЛАХ ПАНЕЛЬНИХ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Приведені результати дослідження тепловіддачі та гідравлічного опору у стрічково-поточних каналах панельних пластинчастих теплообмінників. Отримані базові рівняння у критеріальній формі для розрахунку тепловіддачі та коефіцієнту гідравлічного опору одиниці довжини каналу. Описана експериментальна модель та експериментальна установка. Відмічена важлива роль пластинчато-панельних теплообмінників у рекуперації тепла викидних газів.

Ключові слова: рекуперація тепла; пластинчато-панельний теплообмінник; експериментальна установка; канал стрічково-поточного типу.

**Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, О. П. АРСЕНЬЄВА, А. Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, С. К. КУСАКОВ,
А. А. ВАСИЛЕНКО, П. Ю. АРСЕНЬЄВ, А. П. ЮЗБАШЬЯН**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЛЕНТОЧНО-ПОТОЧНЫХ КАНАЛАХ ПАНЕЛЬНЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Приведены результаты исследования теплоотдачи и гидравлического сопротивления в ленточно-поточных каналах панельных пластинчатых теплообменников. Получены базовые зависимости в критериальной форме для расчета теплоотдачи и коэффициента гидравлического сопротивления единицы длины канала. Описана экспериментальная модель и экспериментальная установка. Отмечена важная роль пластинчато-панельных теплообменников в рекуперации тепла сбросных газовых потоков.

Ключевые слова: рекуперация тепла; пластинчато-панельный теплообменник; экспериментальная установка; канал ленточно-поточного типа.

**L. L. TOVAZHNYANSKYI, O. P. ARSENYEVA, O. YU. PEREVERTAYLENKO, S. K. KUSAKOV, O. A. VASILENKO,
P. YU. ARSENYEV, A. P. YUZBASHYAN**

INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN WAVED-FORM CHANNELS OF PANEL-PLATE HEAT EXCHANGERS

The results of experimental investigation of heat transfer and pressure drop in waved-form channels of panel-plate heat exchangers are presented. The experimental pattern of panel-plate heat exchanger and experimental unit is described. The basic equations for film heat transfer and friction coefficient were obtained in dimensionless form. It is underlined that proposed construction of panel-plate heat exchanger is optimal for waste gaseous flows heat recuperation when another flow is liquid, for example, water flow. The original waved-form channel for gaseous flow is proposed. Such panel-plate heat exchangers will be an effective tool for use of high temperature waste heat integration in a number of processes and then for polluting emission decrease.

Key Words: heat recuperation; panel-plate heat exchanger; experimental unit; waved-form channel.

Вступ. Підвищення рівня рекуперації тепла у промисловому та муніципальному секторі є ключовим моментом у зниженні енергоспоживання за рахунок вторинних ресурсів [1]. Особливо це стосується потоків вторинних енергоресурсів, які мають високий температурний потенціал, але низькі значення теплофізичних характеристик. До таких енергоресурсів можна віднести викидні гази промислових печей, димові гази, деякі викидні парогазові суміші тощо [2].

Цим енергоресурсам притаманні такі спільні характеристики:

- великі об'єми швидкості руху газових потоків;
- низькі значення допустимих втрат тиску на здоляння гідравлічного опору теплообмінного обладнання;
- низькі значення теплофізичних властивостей (щільність, питома теплоємність), які входять до критерію Прандтля у критеріальному рівнянні тепловіддачі, тому потоки мають низькі коефіцієнти тепловіддачі;
- газові потоки часто бувають забруднені твердими частинками;

- при охолодженні таких потоків нижче точки роси має місце конденсація вологи та можливе утворення крапель сірчистої та сірчаної кислоти.

Вищезгадані викидні гази є значною частиною вторинних енергоресурсів, які можна використати, щонайменше, шляхом прямої рекуперації тепла. Для рекуперації тепла подібних потоків потрібно розробити технологію рекуперації та визначити використання рекуперованого тепла.

Теплообмінне обладнання є ключовим фактором технології рекуперації. Від його ефективної роботи залежить зниження енергоспоживання технологічних процесів.

Аналіз останніх досягнень та постановка проблеми. Теплообмінні апарати типу калориферів, що застосовуються зараз для рекуперації тепла викидних газових потоків, мають низку суттєвих недоліків: низьку теплову ефективність, неповну герметичність, підвищені затрати праці на очищення поверхні теплообміну зі сторони газового потоку,

© Товажнянський Л.Л., Арсеньєва О.П., Перевертайленко О.Ю., Кусаков С.К., Василенко О.А., Арсеньєв П.Ю., Юзбашьян А.П., 2019

низьку корозійну стійкість, що унеможливило їх застосування нижче точки роси для димових газів.

Підвищення енергоефективності промислових процесів потребує використання нових підходів [3], які повинні використовувати сучасні принципи інтеграції теплових процесів [4] добре зарекомендованих у підвищенні енергетичної ефективності багатьох промислових процесів, як показано в роботі [5] на прикладі виробництва фосфорних добрив та в роботі [6] при оптимізації енергоспоживання на промисловому майданчику з різними споживачами теплової енергії. Це має бути доповнено використанням високоефективного теплообмінного обладнання нових конструкцій.

Пластинчасті теплообмінні апарати з гофрованою поверхнею теплопередачі є ефективним засобом рекуперації тепла завдяки високій ефективності теплопередачі, компактності та наявності пластин, виконаних з корозійностійких матеріалів [7]. Ці теплообмінники відмінно себе зарекомендували у різних галузях промисловості [8]. Для розширення їх впровадження розроблено різні види спеціальних конструкцій, таких як зварні [9] та з каналами перемінного профілю для конденсаційних процесів [10]. Розрахунок таких теплообмінників ведеться на базі математичного моделювання [11] з використанням емпіричних кореляційних рівнянь [12], напівемпіричних [13] та теоретичних [14] співвідношень. Це дозволило розробити методи розрахунку складних конденсаційних процесів [15] та враховувати вплив забруднень поверхні теплопередачі [16]. Беручи до уваги специфічні риси потоків викидних газів, такі теплообмінники та методи їх розрахунку у даному випадку роботи з викидними газами потребують модифікації. Потрібні пластинчасті теплообмінники спеціальної конструкції, які можуть забезпечити ефективну роботу з викидними газами.

Однією з таких спеціальних конструкцій є так звані «надувні» пластинчасті теплообмінники (у

англомовній літературі – pillow plate heat exchangers), які зараз набувають все більше значення для систем рекуперації викидного тепла [17]. Канали для проходження робочих середовищ формуються за допомогою подачі тиску між двома металевими листами, які попередньо точково зварені. Недолік такої конструкції полягає у тому, що для рекуперації тепла потоку викидних газів часто застосовують потік рідини, в основному, води; цей потік має значно менші об'ємні швидкості, ніж потік викидного газу, тому застосування теплообмінників з однаковими об'ємами сусідніх каналів є недоцільним.

Оптимальним рішенням було створення пластинчасто-панельного теплообмінного апарату з різною формою каналів: стрічково-поточних для газового потоку та змієвикових для потоку рідини.

Метою даної роботи є дослідження тепловіддачі від газового потоку до тепло передаючої стінки у каналі стрічково-поточного типу та коефіцієнта гідравлічного опору руху газового потоку у такому каналі, а також одержання відповідних рівнянь, які є базовими для розрахунків пластинчасто-панельних теплообмінників для охолодження або підігріву газових потоків.

Експериментальна частина

Експериментальна установка була створена на базі аеродинамічної труби розімкненого типу, у якості робочого тіла використовувалося повітря, яке подавалося на експериментальну модель у канали стрічково-поточного типу крізь конфузори, а виводилося після експериментальної моделі крізь дифузори. Інше робоче середовище – вода – подавалося у змієвикові канали експериментальної моделі. Експериментальна модель являла собою натурний зразок пластинчасто-панельного апарату та складалася з п'яти панелей. Кожна панель складалася з двох пластин, зварених попарно. Загальний вид пластини представлений на рис. 1.

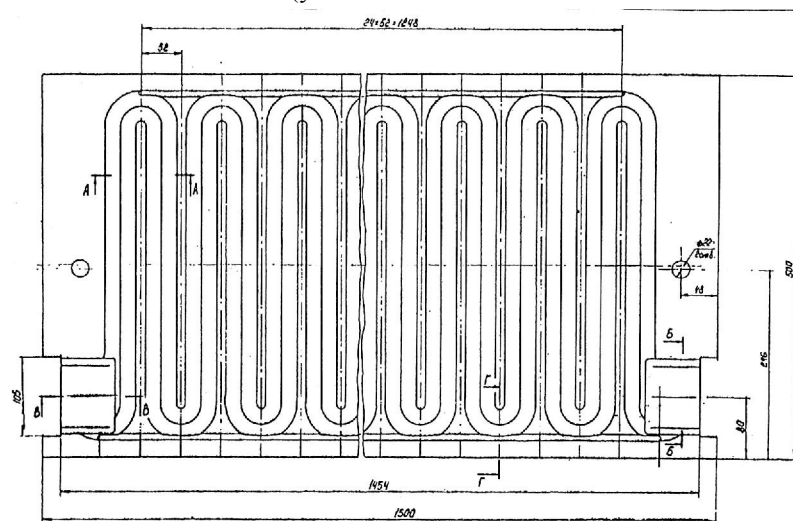


Рис. 1. Загальний вид пластини теплообмінника

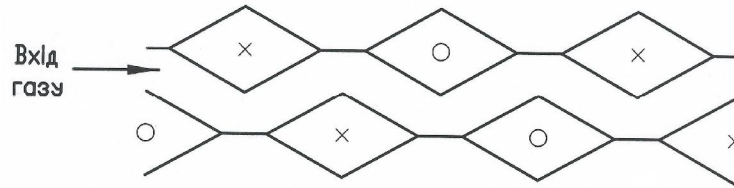
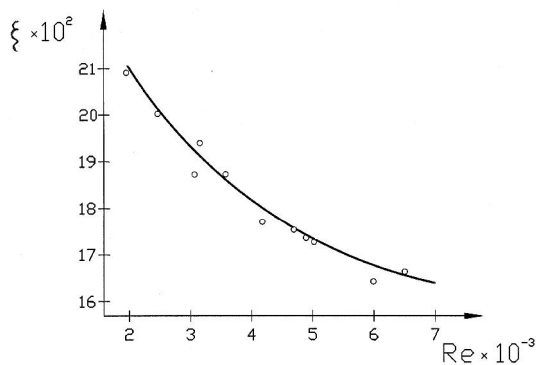


Рис. 2. Канал стрічково-поточного виду

Сусідні панелі попарно зварені таким чином, що утворюється змієвиковий канал для потоку з меншою об'ємною швидкістю, у даному випадку, для води. Сусідні панелі збирають у пакет таким чином, що змійовики сусідніх панелей контактують один з іншим, а між панелями утворюється канал стрічково-поточного типу. Вид цього каналу представлений на рис.2. Геометричні характеристики такого каналу є наступними:

- площа поперечного перерізу – 0,0046 м²;
- еквівалентний діаметр – 0,0193 м;
- загальна приведена довжина каналу – 1,47 м;
- приведена довжина гофрованої частини каналу – 1,00 м;

Рис. 3. Експериментальні дані для коефіцієнтів гідравлічного опору (ξ) для усього каналу, включаючи вхідні та вихідні ділянки.

На рис. 3 представлені дані для усього каналу, включаючи вхідні та вихідні ділянки, а на рис. 4 представлені дані для гофрованої частини стрічково-поточного каналу.

Відповідне узагальнення експериментальних даних дозволило отримати рівняння у критеріальній формі для розрахунку коефіцієнтів гідравлічного опору одиниці приведеної довжини каналу.

Рівняння для усього каналу, включаючи вхідні та вихідні ділянки, було отримано у наступному вигляді:

$$\xi = 0,847 Re^{-0,185} \quad (1)$$

де Re – критерій Рейнольдса.
Згідно зміні значень лінійної швидкості потоку

- ширина пластини – 0,5 м.

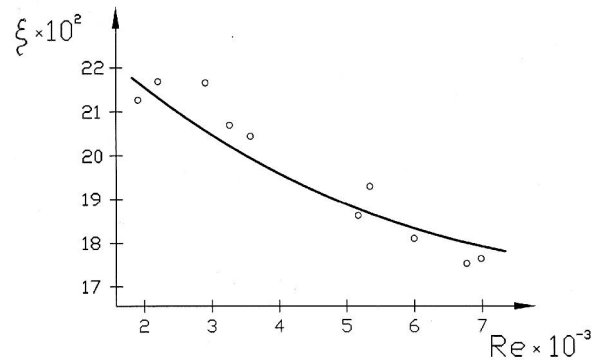
Гарячим теплоносієм була вода, яка нагрівалася у окремому кожухотрубному теплообміннику насиченою водяною парою.

Схема руху потоків в каналах експериментальної моделі – загальна протиточна.

Експерименти проводилися при тиску повітря на вході в пакет не більше 1,1 бар, а лінійні швидкості потоку повітря у каналах знаходилися у діапазоні 1,3 – 5,3 м/с.

Обговорення результатів

Експериментальні дані для коефіцієнтів гідравлічного опору та узагальнюючі їх криві представлені на рис. 3 та рис. 4.

Рис. 4. Експериментальні дані для коефіцієнтів гідравлічного опору (ξ) для гофрованої частини стрічково-поточного каналу.

повітря у каналі стрічково-поточного типу значення критерію Рейнольдса змінювалися у діапазоні $1700 < Re < 7000$.

Рівняння для гофрованої частини каналу було отримано у наступному вигляді:

$$\xi = 0,47 Re^{-0,104} \quad (2)$$

Узагальнення експериментальних даних з тепловіддачі графічно проілюстровано на рис. 5 у вигляді $Ko=f(Re)$, де

$$Ko = Nu/Pr^{0,43} \quad (3)$$

де Nu – критерій Нусельта,
 Pr – критерій Прандтля.

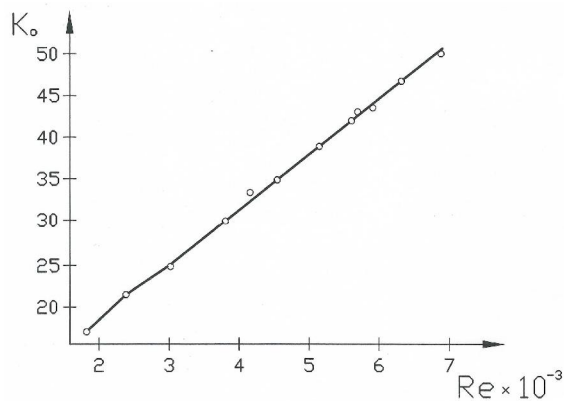


Рис. 5. Експериментальні дані для тепловіддачі

Результати з тепловіддачі повітря у каналах стрічково-поточного типу пластинчатого панельного теплообмінника після їх узагальнення дозволили отримати наступне рівняння у критеріальній формі:

$$Nu = 0,053 Re^{0,77} Pr^{0,43} \quad (4)$$

Втрати тиску та тепловіддача у водяних каналах розраховується згідно загальних методик для труб не круглого поперечного перерізу з поворотами.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Отримані базові рівняння у критеріальній формі для розрахунку тепловіддачі та гідравлічного опору у каналах стрічково-поточного типу панельних пластинчатих теплообмінників. Отримані рівняння дозволяють розробити методику розрахунку теплообмінних апаратів такого типу для рекуперації тепла викидних газових потоків та парогазових сумішей для різних технологічних процесів, включаючи процеси харчової промисловості [18, 19, 20], а також при виконанні курсових проектів студентами [21].

Список литературы

- Klimes J.J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L. (2015) Compact heat exchangers for energy transfer intensification: Low grade heat and fouling mitigation. CRC Press, Boca Raton, FL, USA
- Arsenyeva O.P., Čuček L., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Savchenko Y.A., Kusakov S.K., Matsegora O.I., 2016b, Utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. 10(1), pp. 131–138.
- Klemeš, J. J., Varbanov, P. S., & Kapustenko, P. (2013). New developments in Heat Integration and intensification, including Total Site, waste-to-energy, supply chains and fundamental concepts. *Applied Thermal Engineering*, 1(61), 1–6.
- Клемеш, Й., Костенко, Ю. Т., ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л. Л., Капустенко, П. А., Ульев, Л. М., Перевертайленко, А. Ю., Зулин, Б. Д. (1999). Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки. *Теорет. основы хим. технологии*, 33(4), 420–431.
- Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Ulyev, L., Boldyryev, S., & Arsenyeva, O. (2010). Process integration of sodium hypophosphite production. *Applied thermal engineering*, 30(16), 2306–2314.
- Nemet A, Varbanov P.S, Kapustenko P, Boldyryev S, Klemeš J.J. Capital cost targeting of total site heat recovery. *Chem Eng Trans* 2012;29:1447–52.
- ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л. Л., Капустенко, П. А., Хавин, Г. Л., & Арсеньева, О. П. (2004). Пластинчатые теплообменники в промышленности. Харьков: НТУ «ХПИ».
- Kapustenko, P., Boldyryev, S., Arsenyeva, O., & Khavin, G. (2009). The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), 951–958.
- Arsenyeva, O. P., Tovazhnyansky, L. L., Kapustenko, P. O., Khavin, G. L., Yuzbashyan, A. P., & Arsenyev, P. Y. (2016). Two types of welded plate heat exchangers for efficient heat recovery in industry. *Applied Thermal Engineering*, 105, 763–773.
- Arsenyeva, O., Tovazhnyansky, L., Kapustenko, P., Perevertaylenko, O., & Khavin, G. (2011). Investigation of the new corrugation pattern for low pressure plate condensers. *Applied Thermal Engineering*, 31(13), 2146–2152.
- Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Khavin G. Mathematical modelling and optimal design of plate-and-frame heat exchangers, *Chem. Eng. Trans.* 18 (2009) 791–796.
- Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Khavin G., 2011, The generalized correlation for friction factor in crisscross flow channels of plate heat exchangers, *Chemical Engineering Transactions*, 25, 399–404.
- Kapustenko P., Arsenyeva O., Dolgonosova O., 2011, The heat and momentum transfers relation in channels of plate heat exchangers, *Chemical Engineering Transactions*, 25: 357–362.
- Arsenyeva, O. P., Tovazhnyansky, L. L., Kapustenko, P. O., & Demirskiy, O. V. (2014). Generalised semi-empirical correlation for heat transfer in channels of plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 70(2), 1208–1215.
- Tovazhnyansky, L.L., Kapustenko, P.O., Nagorna, O.G., & Perevertaylenko, O.Y. (2004). The simulation of multicomponent mixtures condensation in plate condensers. *Heat transfer engineering*, 25(5), 16–22.
- Gogenko A.L., Anipko O.B., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O. Accounting for fouling in plate heat exchanger design, *Chem. Eng. Trans.* 12 (2007) 207–212.
- Arsenyeva O.P., Piper H., Zibart A., Olenburg A., Kenig E.Y. (2018) Heat Transfer and Pressure Loss in Small-Scale Pillow-Plate Heat Exchangers. *Chemical Engineering Transactions*, v.70, p.799–804
- ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.И., КАПУСТЕНКО П.А., ХАВИН Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение. НТУ «ХПИ», Харьков, 2005, – 460 с.
- ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.И., КАПУСТЕНКО П.О., АРСЕНЬЕВА О.П., ОЛЬХОВСЬКА О.І., ОРЛОВА Є.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. – 832 с.
- ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.И., ЗІПУННІКОВ М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
- БУХКАЛО С.И. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПИ». С. 217.

References (transliterated)

- Klimes J.J., Arsenyeva O., Kapustenko P., Tovazhnyansky L. (2015) Compact heat exchangers for energy transfer intensification: Low grade heat and fouling mitigation. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

2. Arsenyeva O.P., Čuček L., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Savchenko Y.A., Kusakov S.K., Matsgora O.I., 2016b, Utilisation of waste heat from exhaust gases of drying process. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 10(1), pp. 131–138.
3. Klemeš, J.J., Varbanov, P.S., & Kapustenko, P. (2013). New developments in Heat Integration and intensification, including Total Site, waste-to-energy, supply chains and fundamental concepts. *Applied Thermal Engineering*, 1(61), pp. 1–6.
4. Klemesh, J., Kostenko, Ju. T., Tovazhnyansky, L. L., Kapustenko, P. A., Ul'ev, L. M., Perevertajlenko, A. Ju., Zulin, B. D. (1999). *Primenenie metoda pinch-analiza dlja proektirovanija jenergosberegajushih ustanovok neftepere-rabotki. Teoret. osnovy him. tehnologii*, 33(4), pp. 420–431.
5. Tovazhnyansky, L., Kapustenko, P., Ulyev, L., Boldyryev, S., & Arsenyeva, O. (2010). Process integration of sodium hypophosphite production. *Applied thermal engineering*, 30(16), pp. 2306–2314.
6. Nemet A, Varbanov P.S., Kapustenko P, Boldyryev S, Klemeš J.J. Capital cost targeting of total site heat recovery. *Chem Eng Trans* 2012;29, pp. 1447–52.
7. Tovazhnyansky, L. L., Kapustenko, P. A., Havin, G. L., & Arsen'eva, O. P. (2004). *Plastinchatye teploobmenniki v promyshlennosti*. Harkov: NTU «HPI».
8. Kapustenko, P., Boldyryev, S., Arsenyeva, O., & Khavin, G. (2009). The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), pp. 951–958.
9. Arsenyeva, O. P., Tovazhnyansky, L. L., Kapustenko, P. O., Khavin, G. L., Yuzbashyan, A. P., & Arsenyev, P. Y. (2016). Two types of welded plate heat exchangers for efficient heat recovery in industry. *Applied Thermal Engineering*, 105, pp. 763–773.
10. Arsenyeva, O., Tovazhnyansky, L., Kapustenko, P., Perevertaylenko, O., & Khavin, G. (2011). Investigation of the new corrugation pattern for low pressure plate condensers. *Applied Thermal Engineering*, 31(13), pp. 2146–2152.
11. Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Khavin G. Mathematical modelling and optimal design of plate-and-frame heat exchangers, *Chem. Eng. Trans.* 18 (2009), pp. 791–796.
12. Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Khavin G., 2011, The generalized correlation for friction factor in crisscross flow channels of plate heat exchangers, *Chemical Engineering Transactions*, 25, pp. 399–404.
13. Kapustenko P., Arsenyeva O., Dolgonosova O., 2011, The heat and momentum transfers relation in channels of plate heat exchangers, *Chemical Engineering Transactions*, 25: pp. 357–362.
14. Arsenyeva, O.P., Tovazhnyansky, L.L., Kapustenko, P.O., & Demirskiy, O.V. (2014). Generalised semi-empirical correlation for heat transfer in channels of plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 70(2), pp. 1208–1215.
15. Tovazhnyansky, L.L., Kapustenko, P.O., Nagorna, O.G., & Perevertaylenko, O.Y. (2004). The simulation of multicomponent mixtures condensation in plate condensers. *Heat transfer engineering*, 25(5), pp. 16–22.
16. Gogenko A.L., Anipko O.B., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O. Accounting for fouling in plate heat exchanger design, *Chem. Eng. Trans.* 12 (2007), pp. 207–212.
17. Arsenyeva O.P., Piper H., Zibart A., Olenburg A., Kenig E.Y. (2018) Heat Transfer and Pressure Loss in Small-Scale Pillow-Plate Heat Exchangers. *Chemical Engineering Transactions*, v.70, pp. 799–804.
18. Tovazhnyansky L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.A., Havin G.L. *Osnovnye tehnologii pishhevyh proizvodstv i jenergosberezhenie*. NTU «KhPI», Khar'kov, 2005, – 460 p.
19. Tovazhnyansky L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O., Arsen'eva O.P., Ol'hov'ska O.I., Orlova E.I. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah*. Pidruchnik. K.: CNL, 2011. 832 p.
20. Tovazhnyansky L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. *Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi)*: Pidr. K.: CNL, 2013. 352 p.
21. Bukhhalo S.I. *Viznachennja zagal'noi tehnologii kompleksnih kursiv proektiv*. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dop. XXVII Mizhn. n-prakt. konf.(MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019: Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Harkiv: NTU «KhPI», p. 217.

Надійшла (received) 19.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Товажнянський Леонід Леонідович (Товажнянский Леонид. Леонидович, Tovazhnyansky Leonid Leonidovich) – почесний ректор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9000-3824>; e-mail: cfe.ukraine@gmail.com

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

Перевертайленко Олександр Юрійович (Перевертайленко Александр Юрьевич, Perevertaylenko Oleksandr Yuriyovich) – старший науковий співробітник кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4054-6588>; e-mail: pau@kpi.kharkov.ua

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

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

Арсеньєв Павло Юрійович (Арсеньев Павел Юрьевич, Arsenyev Pavlo Yuriyovich) – аспірант кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1911-8362>; e-mail: spavlo.arsenyev@kpi.kharkov.ua

Юзбашьян Анна Петрівна (Юзбашьян Анна Петровна, Yuzbashyan Anna Petrivna) асистент кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4468-5094>; e-mail: anya4ever@ukr.net

V. I. SKALOZUBOV, V. M. SPINOV, D. V. SPINOV, D. S. PIRKOVSKIY, T. V. GABLAYA

CONDITIONS FOR PREVENTION OF WATER HAMMERS AT START-UP OF EMERGENCY FEED PUMPS WITH A STEAM DRIVER OF NUCLEAR POWER PLANTS

A promising approach to accident management in nuclear power plants with a complete loss of long-term power supply is an emergency feed pump with a steam driver from a steam generator. The main advantages of this approach in relation to the known systems of passive heat removal with natural circulation are the fundamental possibility of fully compensating for the failure of design safety systems with electric pumps, as well as the absence of the need to remove the safety system elements to a greater height beyond the containment / container. However, the use of steam driven emergency pumps requires a deep study of their reliability. One such issue is the qualification of reliability when starting an emergency pump with a steam driver. An original method for modeling the conditions for the occurrence of a water hammer when starting a steam-driven pump is proposed. The conditions for the prevention of water hammer due to the inertia of the pressure-flow characteristics of emergency feed pumps with a steam driver from the steam generator are determined. The results obtained can be used in the design of emergency feed pumps with a steam driver from a steam generator subject to additional experimental qualifications.

Key words: emergency feed pump with steam driver; water hammer; nuclear power plant

В. І. СКАЛОЗУБОВ, В. М. СПІНОВ, Д. В. СПІНОВ, Д. С. ПІРКОВСЬКИЙ, Т. В. ГАБЛАЯ

УМОВИ ЗАПОБІГАННЯ ГІДРОУДАРАМ ПРИ ПУСКУ АВАРІЙНИХ ПОЖИВНИХ НАСОСІВ З ПАРОПРИВОДОМ ЯДЕРНИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК

Вихідною подією важких аварій і руйнівних вибухів на АЕС Fukushima-Daiichi в 2011 році було повна втрата тривалого електропостачання внаслідок спільного впливу позапроектних цунамі і землетрусу. Уроки Фукусімської аварії визначили необхідність подальшого розвитку систем безпеки ядерних енергоустановок, які не потребують електроживлення. Перспективним підходом управління аваріями з повною втратою тривалого електропостачання є розробка аварійних живильних насосів з пароприводом від парогенератора. Основні переваги такого підходу щодо відомих систем пасивного відведення тепла, заснованих на принципі природної циркуляції, полягають в наступному: існує принципова можливість повної компенсації відмови проектних аварійних електронасосів для виконання функцій безпеки щодо відведення тепла від реактора і підтримки необхідного рівня в парогенераторі; відсутня необхідність розташування елементів систем безпеки на великій висоті за межами гермооболонки реактора. Перспективним підходом управління аваріями на ядерних енергоустановках з повною втратою тривалого електропостачання є аварійний живильний насос з пароприводом від парогенератора. Основні переваги такого підходу по відношенню до відомих систем пасивного відведення тепла з природною циркуляцією – принципова можливість повної компенсації відмови проектних систем безпеки з електронасосами, а також відсутність необхідності виведення елементів систем безпеки на велику висоту за межі гермооболонки/контейнента. Однак, застосування аварійних насосів з пароприводом вимагає глибокого вивчення їх надійності. Одним з таких питань є кваліфікація надійності при пуску аварійного насоса з пароприводом. Запропоновано оригінальний метод моделювання умов виникнення гідроудару при пуску насоса з пароприводом. Визначено умови запобігання гідроударів і амплітуд тиску внаслідок інерційності напірної характеристики аварійних живильних насосів з пароприводом від парогенератора ядерної енергоустановки. Напір тиску в трубопроводній системі аварійного живильного насоса з пароприводом залежить від тиску в парогенераторі. Умови виникнення гідроударів відповідають перевищенню напору тиску що розвивається при пуску аварійного живильного насоса з пароприводом необхідного напору при сталому (робочому) режимі. Амплітуда тиску гідроударів визначається умовами переходу кінетичної енергії гальмування потоку в енергію імпульсу гідроудару. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні аварійних живильних насосів з пароприводом від парогенератора за умови додаткової експериментальної кваліфікації.

Ключові слова: аварійний живильний насос з пароприводом; гідроудари; ядерна енергоустановка

В. В. СКАЛОЗУБОВ, В. М. СПІНОВ, Д. В. СПІНОВ, Д. С. ПІРКОВСКИЙ, Т. В. ГАБЛАЯ

УСЛОВИЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРОУДАРОВ ПРИ ПУСКЕ АВАРИЙНЫХ ПИТАЮЩИХ НАСОСОВ С ПАРОПРИВОДОМ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Перспективным подходом к управлению авариями на атомных электростанциях с полной потерей долгосрочного энергоснабжения является аварийный питающий насос с паровым приводом от парогенератора. Основными преимуществами этого подхода по отношению к известным системам пассивного отвода тепла с естественной циркуляцией являются принципиальная возможность полной компенсации отказа конструкции систем безопасности с электронасосами, а также отсутствие необходимости удаления системы безопасности элементы на большую высоту за пределы защитной оболочки/контейнера. Однако использование паровых аварийных насосов требует глубокого изучения их надежности. Одним из вопросов является квалификация надежности при запуске аварийного насоса с паровым приводом. Предложен оригинальный метод моделирования условий возникновения гидравлического удара при запуске парового насоса. Условия для предотвращения гидравлического удара за счет инерции характеристик давления потока аварийного питательного насоса с водителем пара из парогенератора определяются. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аварийных подающих насосов с паровым приводом от парогенератора при условии дополнительной экспериментальной квалификации.

Ключевые слова: аварийный питающий насос с пароприводом; гидроудары; ядерная энергоустановка.

Relevance.

The initial event of severe accidents and destructive explosions at Fukushima-Daiichi NPPs in 2011 was the complete loss of long-term power supply (CLLPS) due to the combined effects of beyond-design tsunamis and an earthquake [1, 2]. The lessons of the Fukushima accident determined the need for further development of the safety systems of nuclear power plants (NPPs) that do not require electrical power.

A promising approach to managing accidents with CLLPS is the development of emergency feed pumps with a steam driver from a steam generator (EFPSDSG) [3]. A schematic diagram of the connection EFPSDSG is shown in Fig. 1.

Steam from the steam generator enters the steam driver of the central pump, which feeds the feed water

© Skalozubov V.I., Spinov V.M., Spinov D.V., Pirkovskiy D.S., Gablaya T.V., 2019

from the hydraulic containers of the design emergency electric pumps directly to the steam generator. Exhaust steam enters the deaerator. The main advantages of this approach with respect to the known systems of passive heat removal based on the principle of natural circulation are as follows:

- The principal possibility of fully compensating for the failure of the design of emergency electric pumps to fulfill the safety functions of removing heat from the reactor and maintaining the required level in the steam generator.
- No need to locate security system elements at high altitude outside the containment of the reactor.

However, the design and implementation of EFPSDSG requires a deep study of their performance and reliability. One of these questions is the analysis of the conditions for the occurrence of water hammers (WH) during the launch of the EFPSDSG.

The occurrence of WH is accompanied by a pulsed high-amplitude hydrodynamic effect and can significantly affect the performance and reliability of the safety systems of nuclear power plants. A lot of research has been devoted to the study of state-owned facilities in heat engineering equipment and pipelines (for example, [4-10] [1, 2] [1, 2] and others). However, the issues of causes and effects of WH caused by the operation of pumping equipment have not been studied enough.

Using the example of reciprocating electric pumps, the authors of [11] showed that the inertia of the pressure-flow characteristics of pumps, which leads to aperiodic or oscillatory hydrodynamic instability in the system, can be a possible cause of the hydraulic pump.

The purpose of the proposed work is to analyze the conditions for the occurrence of the WH when the EFPSDSG is launched due to the inertia of its pressure-flow characteristics.

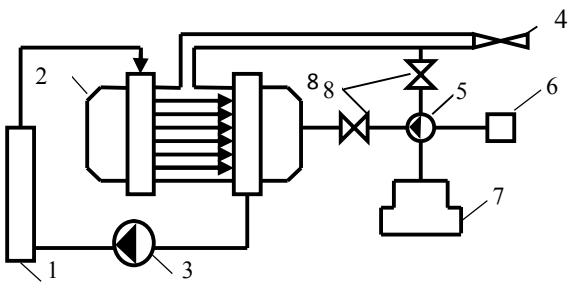


Fig. 1. Connection diagram of the emergency feed pump with steam driver: 1 – reactor; 2 – steam generator; 3 – the main circulation pump; 4 – quick-closing check valve of the turbine; 5 – feed pump with steam driver; 6 – hydraulic capacity; 7 – deaerator; 8 – valve

Basic provisions of the method of modeling a water hammer when starting an emergency feed pump with a steam driver from a steam generator (EFPSDSG).

At the initial moment of the start-up of the EFPSDSG ($t = 0$), the feed water mass flow rate is: $G = 0$ and the pump pressure is maximum: $\Delta P = \Delta P_m$ (Fig. 2).

In the absence of the influence of the inertia of the pressure-flow characteristics of the pump (PFC) on the change of parameters for some time (t_s), the EFPSDSG system will turn into a stable steady state with flow G_s and a corresponding pressure of the pump $\Delta P_s(G_s)$. By inertia of PFC is meant the delay in the response time of the pump head pressure to the change in the flow rate in the system: with an increase in flow rate (G), the corresponding changes in the pump head pressure (ΔP) do not occur instantaneously, but with a certain delay time Δt (Fig. 2).

The parameter Δt is determined by the design and technical characteristics of the system EFPSDSG and the pressure in the steam generator (P_v). In general, the parameter Δt can be determined on the basis of operational tests and / or on experimental installations that meet the criteria for hydrodynamic similarity [12].

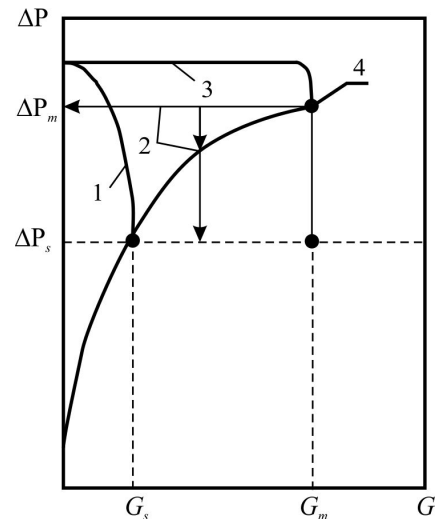


Fig. 2. Formation of the hydraulic impact conditions at the start-up of the EFPSDSG: $\Delta P, \Delta P_m, \Delta P_s$ – current, maximum, stable pressure of the pump pressure; G, G_m, G_s – current, maximum, stable mass flow rate of feed water; 1 – design PFC pump; 2, 3 – changes in the flow rate and pressure head of the pump, respectively, during the inertial delay of the PFC reaction; 4 – water hammer conditions.

If $\Delta t > t_s$, then the flow after reaching a stable value G_s continues to increase under the influence of the maximum pressure ΔP_m (Fig. 2). The system EFPSDSG goes into an unstable hydrodynamic state. When the maximum possible flow rate is reached (G_m), the system tends to move to a steady state (Fig. 2). The value G_m is determined by the conditions for achieving the loss of pressure on the hydraulic resistance (proportional G^2) and the counter-pressure in the steam generator to the pressure head ΔP_m . As a result, the feed water flow is braked. The kinetic energy of the flow deceleration is

transformed into the energy of the pressure impulse of the water hammer (WH).

The main conservative assumptions in modeling the conditions for occurrence of WH in the EFPSDSG system are as follows:

1. It is considered that the time of the inertial lag of PFC is longer than the time to achieve a stable state:

$$\Delta t > t_s \quad (1)$$

2. The characteristic time of pressure change P_V , determined by emergency processes directly in the steam generator, is much less Δt :

$$\frac{\Delta P_V}{dt} \Delta t \ll P_{Vo}, \quad (2)$$

where P_{Vo} - the initial pressure in the volume of the steam generator.

3. Processes rely isothermal.

4. The feed water in the pipeline of the EFPSDSG system is considered as a concentrated hydrodynamic system. The effects of the distribution of hydrodynamic parameters is neglected.

5. When the flow is braked, the kinetic energy is transferred to the energy of the impulse of pressure PG. When estimating the maximum amplitude of the pressure of the PG, it is conservatively assumed that the flow is completely braked.

Taking into account the accepted assumptions of the equation of motion and conservation of energy of feed water during the start-up of EFPSDSG

$$\frac{L}{\Pi} \cdot \frac{dG}{dt} = \Delta P - \Delta P_{VG} - \frac{\xi}{\rho \Pi^2} \cdot G^2 \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{G^2}{2 \rho \Pi^2} + i \right) = 0 \quad (4)$$

$$G(t=0) = 0; i(t=0) = i_0, \quad (5)$$

where L , Π - the length and area of the bore of the pipeline system EFPSDSG; $\Delta P_{VG} = P_V - P_G$ - pressure drops in the steam generator and hydraulic tanks of feed water; ξ - coefficient of total hydraulic resistance of the system; ρ - density of feed water; i - specific (per unit mass) feed water enthalpy.

The maximum pressure amplitude at a water hammer follows from equation (4):

$$\delta P_A = \int_0^{t_0} \frac{dt}{d\tau} \cdot d\tau = \int_0^{t_0} \frac{dP}{di} \cdot \frac{di}{d\tau} \cdot d\tau = - \int_0^{t_0} \frac{dP}{di} \cdot \frac{G}{\rho \Pi^2} \cdot \frac{dG}{d\tau} \cdot d\tau, \quad (6)$$

where P is the pressure at the pump inlet; t_0 - time of full flow deceleration.

The maximum possible flow G_m follows from the solution of equation (3) under conditions (5) and $\Delta P = \Delta P_m$ over the time interval $t \in \{0, \Delta t\}$:

$$G_m = \sqrt{\frac{a(\Delta P_m)}{b}} \cdot \frac{\exp\left[2\sqrt{a(\Delta P_m) \cdot b} \cdot \Delta t\right] - 1}{\exp\left[2\sqrt{a(\Delta P_m) \cdot b} \cdot \Delta t\right] + 1}, \quad (7)$$

where $a = \Pi \cdot (\Delta P - \Delta P_{VG}) / L$; $b = \xi / (\rho \Pi \cdot L)$ (8)

In the general case, the time of complete deceleration of the flow with WH, taking into account (3) and $\Delta P = \Delta P_s$, follows from the solution of the equation:

$$G_m = a(\Delta P_s) \cdot t_0 - a(\Delta P_s) \cdot \int_0^{t_0} \left\{ \frac{\exp\left[2\sqrt{a(\Delta P_s) \cdot b} \cdot \tau\right] - 1}{\exp\left[2\sqrt{a(\Delta P_s) \cdot b} \cdot \tau\right] + 1} \right\} d\tau \quad (9)$$

Approximate solution (9):

$$t_0 \approx G_m / a(\Delta P_s) \quad (10)$$

Then, the maximum pressure amplitude WH (6) at full flow braking:

$$\delta P_A = \frac{1}{\rho \Pi^2} \cdot \frac{dP}{di} \cdot \sqrt{\frac{a(\Delta P_s)}{b}} \cdot \int_0^{t_0} G(\Delta P_s, \tau) \cdot [b \cdot G^2(\Delta P_s, \tau) - a(\Delta P_s)] \cdot d\tau \quad (11)$$

Analysis of the above results showed that the conditions for the absence of WH with the maximum pressure amplitude in the EFPSDSG system are:

$$\frac{\Delta t}{t_s} < 1 \text{ и } \frac{\Delta P_m}{\Delta P_s} < 1,3 \quad (12)$$

The obtained conditions (12) are proposed to be taken into account when designing EFPSDSG nuclear power plants.

Conclusions.

1. A promising approach to managing accidents on nuclear power plants with complete loss of long-term power supply is an emergency feed pump with a steam driver from a steam generator. The main advantages of this approach in relation to the known systems of passive heat removal with natural circulation are the fundamental possibility of fully compensating for the failure of design safety systems with electric pumps, as well as the absence of the need to remove the safety system elements to a greater height beyond the containment / container. However, the use of steam driven emergency pumps requires a deep study of their reliability. One such issue is the qualification of reliability when starting an emergency pump with a steam driver.

2. An original method for modeling the conditions for the occurrence of a water hammer when starting a steam-driven pump is proposed. The conditions for the prevention of water hammer due to the inertia of the pressure-flow characteristics of emergency feed pumps with a steam driver from the steam generator are determined.

3. The obtained results can be used in the design of emergency feed pumps with a steam driver from a steam generator, subject to additional experimental qualifications.

References

1. IAEA. International Fact Finding Expert Mission Of The Fukushima Daiichi NPP Accident Following The Great East Japan Earthquake and Tsunami: IAEA Mission Report. – IAEA. 2011, 160 p.
2. Скалозубов В.И., Оборский Г.А., Козлов И.Л., Ващенко В.Н. Комплекс методов переоценки безопасности атомной энергетики с учетом уроков экологических катастроф в Чернобыле и Фукусиме // Монография. – Одесса: Астропринт. 2013, – 244 с.
3. Королев А.В., Деревянко О.В. Композиционная конструкция турбоприводов насосного агрегата для резервной подпитки парогенераторов АЭС // Праці Одеського політехнічного університету. - № 1 (43). 2014, с. 93–97
4. Brennen C.E. Hydrodynamics of pumps. Cambridge University Press, 2011.
5. Jelali M., Kroll A. Hydraulic servo-systems: modelling, identification and control. Springer Science & Business Media, 2012.
6. Paszota Z. The operating field of a hydrostatic drive system parameters of the energy efficiency investigations of pumps and hydraulic motors. Polish Maritime Research, 2009, Vol. 16, № 4, pp. 16-21.
7. Johansson A., Ovander J., Palmberg J.O. Experimental verification of cross-angle for noise reduction in hydraulic piston pumps/Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 2007, Vol. 221, № 3, pp. 321–330.
8. Zettel A. M. et. al. Method and apparatus to monitor operation of an auxiliary hydraulic pump in a transmission. U.S. Patent, no. 7544151, 2009.
9. Tianyi Z., Jili Z., Liangdong M. On-line optimization control method based on extreme value analysis for parallel variable-frequency hydraulic pumps in central air-conditioning systems. Building and Environment. 2012, Vol. 47, pp. 330–338.
10. Derakhshan S., Nourbakhsh A. Theoretical, numerical and experimental investigation of centrifugal pumps in reverse

operation. Experimental Thermal and Fluid Science. 2008, Vol. 32, № 8, pp. 1620-1627.

11. Mazurenko A.S., Skalozubov V.I., Kozlov I.L., Pirkovskiy D.S. Determining The Conditions For The Hydraulic Impacts Emergence At Hydraulic Systems. // Problemele Energetichi Regionale. Termoenergetica. - № 2 (34). 2017.
12. Мазуренко А.С., Скалозубов В.И., Пирковский Д.С., Чулкин О.А. Анализ применимости результатов экспериментальных исследований гидродинамики к насосным системам тепловых и ядерных энергоустановок // Ядерная энергетика та довілля. - № 1 (19). 2017, – с. 49–52.

References (transliterated)

1. IAEA. Fukushima Daiichi NPP: International Facts Finding Expert Review: Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami: IAEA Mission Report. - IAEA. 2011, 160 p.
2. Skalozubov V.I., Oborsky G.A., Kozlov I.L., Vashchenko V.N. The complex of methods for the reassessment of the safety of nuclear energy taking into account the lessons of environmental disasters in Chernobyl and Fukushima // Monograph. - Odessa: Astroprint. 2013, 244 p.
3. Korolev A.V., Derevyanko O.V. Composite design of turbodrivers pumping unit for backup powering of steam generators of nuclear power plants // Pratsi Odessa National Polytechnic University. - № 1 (43). 2014, pp. 93–97
4. Brennen C.E. Hydrodynamics of pumps. Cambridge University Press, 2011.
5. Jelali M., Kroll A. Hydraulic servo systems: modeling, identification and control. Springer Science & Business Media, 2012.
6. Paszota Z. Polish Maritime Research, 2009, Vol. 16, No. 4, pp. 16–21.
7. Johansson A., Ovander J., Palmberg J.O. Investigation of the Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 221, No. 3, pp. 321–330.
8. Zettel A.M. Method of hydraulic pump in a transmission. U.S. Patent, no. 7544151, 2009.
9. Tianyi Z., Jili Z., Liangdong M. On-line air-conditioning systems. Building and Environment. 2012 Vol. 47, pp. 330–338.
10. Derakhshan S., Nourbakhsh A. Theoretical, numerical pumps for reverse operation. Experimental Thermal and Fluid Science. 2008 Vol. 32, No. 8, pp. 1620–1627.
11. Mazurenko A.S., Skalozubov V.I., Kozlov I.L., Pirkovskiy D.S. Determining The Conditions For The Emergency At Hydraulic Systems. // Problemele Energetichi Regionale. Termoenergetica. - № 2 (34). 2017.
12. Mazurenko A.S., Skalozubov V.I., Pirkovskiy D.S., Chulkin O.A. Analysis of the applicability of the results of experimental studies of hydrodynamics to pump systems of thermal and nuclear power plants // Nuclear power engineering and technology. No. 1 (19). 2017, pp. 49–52.

Received 17.07.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Скалозубов Володимир Іванович (Скалозубов Владимир Иванович, Skalozubov Volodymyr Ivanovich) – доктор технічних наук, професор, Науковий керівник, Міжвідомчий центр фундаментальних наукових досліджень в галузі енергетики та екології НАН України, м. Одеса, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2361-223X>, e-mail: skalozubov@opu.ua

Спінов Владислав Михайлович (Спинов Владислав Михайлович, Spinov Vladislav Mykhailovich) – кандидат технічних наук, Науковий співробітник, Міжвідомчий центр фундаментальних наукових досліджень в галузі енергетики та екології НАН України, м. Одеса, Україна; ORCID <http://orcid.org/0000-0001-8597-4153>, e-mail: sssvm@ukr.net

Спінов Дмитро Владиславович (Спинов Дмитрий Владиславович, Spinov Dmitriy Vladislavovich) – молодший науковий співробітник, Міжвідомчий центр фундаментальних наукових досліджень в галузі енергетики та екології НАН України, м. Одеса, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3184-5674>, e-mail: sssvm@ukr.net

Пірко́вський Денис Сергійович (Пирковский Денис Сергеевич, Pirkovskiy Denis Sergeevich), аспірант, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, м. Одеса, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6638-9499>, e-mail: boume92@ukr.net

Габляя Таїсія Володимирівна (Габляя Таисия Владимировна, Gablaya Taisiya Vladimirovna) – завідувач лабораторією центра безпеки атомної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3184-5674>, e-mail: gablaiya@i.ua

С. І. БУХКАЛО, О. І. ОЛЬХОВСЬКА, М. М. ЗІПУННИКОВ, В. О. ОЛЬХОВСЬКА, М. А. СІРКУ

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕГЕНЕРАЦІЇ ЕТИЛОВОГО СПИРТУ У ВИРОБНИЦТВІ ПЕКТИНУ

У матеріалах статті розглянуті можливості для визначення загальної технології, процесів і апаратів стадії регенерації етилового спирту у виробництві пектину. Розробки проведені з метою вибору сучасних високоефективних науково-обґрунтованих технологій регенерації: 1) різновидів технології та їх закономірностей з урахуванням специфічних особливостей стадій регенерації; 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. Проблема регенерації етилового спирту розглядається у вигляді складних комплексних процесів, їх досліджень, аналізу енерго- і ресурсозберігаючих складових.

Ключові слова: технологія пектину; регенерація етилового спирту; науково обґрунтовані методи.

С. И. БУХКАЛО, О. И. ОЛЬХОВСКАЯ, Н. Н. ЗИПУННИКОВ, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ, М. А. СЫРКУ

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ЭТИЛОВОГО СПИРТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕКТИНА

В материалах статьи рассмотрены возможности для определения общей технологии, процессов и аппаратов стадии регенерации этилового спирта в производстве пектина. Разработки проведены с целью выбора современных высокоэффективных научно-обоснованных технологий регенерации: 1) разновидностей технологии и их закономерностей с учетом специфических особенностей стадий регенерации; 2) на различных стадиях проектирования и обоснования моделей оборудования. Представлены примеры и некоторые особенности возможных решений, которые основаны на экспериментальных данных разработки механизмов процессов и их научного обоснования в виде объектов технологии. Проблема регенерации этилового спирта рассматривается в виде сложных комплексных процессов, их исследований и анализа энерго- и ресурсосберегающих составляющих.

Ключевые слова: технология пектина; регенерация этилового спирта; научно обоснованные методы.

S. I. BUKHALO, O. I. OLKHOVSKA, M. M. ZIPUNNIKOV, V. O. OLKHOVSKA, M. A. SYRKU

ANALYSIS THE POSSIBILITIES OF REGENERATION ETHYL ALCOHOL IN PECTIN PRODUCTION

The materials presented of innovative development opportunities determining the general technology, processes and apparatus of the ethyl alcohol regeneration stage in pectin production. The developments have been carried out with the aim of selecting modern highly efficient science-based regeneration technologies: 1) types of technology and their regularities, taking into account specific features of regeneration 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. The materials are devoted to the results of researches of properties of technical and technological innovations of modern systems as object studies the possibility of complex properties in the development system increasing the economic efficiency of new sources. A review of the literature and the necessary articles written on the subject: as technologies and economies develop and become more complex, energy needs increase greatly; types and evidence-based methods of new material resource, as well as the possibility of calculating the basic set of main economic indicators are classified; identified possible areas of work in obtaining the necessary information and results.

Keywords: pectin technology; regeneration of ethyl alcohol; scientifically sound methods.

Вступ. Виробництво пектину – динамічно зростаючий багатотоннажний бізнес з щорічним приростом на 3–4%. Потреба у пектині загалом велика, особливо на забруднених радіонуклідами землях України – спостерігається стабільне зростання обсягу споживання пектину в країні. Цьому сприяє існуюча в інших країнах індустрія пектину, що дозволяє одержувати всілякі його модифікації. Але, на жаль, можна констатувати, що власне виробництво пектину в Україні, практично, відсутнє – увесь пектин, представлений на нашому ринку – імпортований. Пектинові речовини в великих або менших обсягах містяться у багатьох частинах рослин – в листах, стеблах, коріннях, плодах та насінні. Локалізовані вони в різних частинах рослинної клітини та виконують різні функції. Розчинний пектин міститься у клітинному соку, соку вакуолей, міжклітинній тканині, а також є запасною речовиною. Пектинові речовини мають велике значення при зберіганні та консервуванні рослинних продуктів.

Під дією пектолітичних ферментів та не ферментативних гідролітичних процесів нерозчинні форми пектинів переходять у розчинні, в результаті чого в процесі дозрівання, зберігання плодів та овочів, та їх промислової переробки тканина розм'якшується [1–7, 14]. Промислові види пектинів класифікують за ступенем етерифікації (СЕ) – відношенню кількості метоксильних груп до всіх кислотних залишків у молекулі на дві групи:

1) високоетерифіковані – СЕ дорівнює 50 % або більше;

2) низькоетерифіковані – СЕ менш ніж 50%.

Найвища СЕ, яка може бути досягнута при екстракції пектину з природної сировини, перебуває у межах 75–80%. Пектинові речовини, отримані з різних рослинних джерел, являють собою порошки без запаху і слизувати на смакові відчуття, від світло-кремового до коричневого кольору.

© Бухкало С.І., Ольховська О.І., Зіпунніков М.М., Ольховська О.І., Сірку М.А., 2019

Цитрусові пектини звичайно світліше яблучних. У вологій атмосфері пектини можуть сорбувати до 20% води. У надлишку води – розчиняються. Области застосування пектину тільки у харчовій технології мають досить різноманітні приклади: драглеутворювач при виготовленні желеино-пастильних виробів у кондитерській промисловості; добавки лікувально-профілактичної дії для деяких сортів хлібобулочних та макаронних виробів; у хлібопеченні з метою поліпшення якості хліба – для випічки сортів, що не черствіють, для виробництва конфітурів, джемів і інших видів продуктів консервної промисловості; в якості емульгатора при виготовленні майонезу та рідких маргаринів у масложировій промисловості; в якості стабілізатора при виготовленні різних купажованих соків з м'якоттю; у виготовленні морозива, йогуртів, сирів (для збільшення їх водопоглинальної здатності) та інших продуктів молочної промисловості; при вживанні в їжу у вигляді розчинів, гелів, киселів, мусів; у виготовленні дієтичного і лікувально-профілактичного харчування для дітей і дорослих у харчово-концентратній промисловості та ін.

Загальна характеристика процесу виробництва. У більшості випадків іноземні виробники для одержання пектину використовують класичну технологію. Вона базується на застосуванні сильних кислот (HCl , HNO_3 , H_3PO_4 , H_2SO_4), хлористого алюмінію, гідроокису амонію, суміші спирту з кислотою та спиртів різних концентрацій. Процес протікає при підвищених температурних режимах (45–120 °C) у кислому середовищі при pH 0,5–2,0 з коливаннями часу екстракції і гідролізу від 3 до 6 годин і загальним циклом процесу до 12 і

більше годин.

За традиційною технологією після стадії підготовки гідролізатів розчинений пектин переводять в тверду фазу, яка випадає в осад, шляхом зміни складу розчину. Для цієї мети можуть застосовуватися ряд з'єднань: етиловий спирт або солі полівалентних металів. Спиртовий метод виділення пектину ґрунтується на властивості пектину не розчинятися в етиловому спирті при концентрації останнього вище 45%. Після висадження пектин піддається, як мінімум, чотирьох кратному промиванню спиртом, очищаючись при цьому від низькомолекулярних баластних речовин, спиртонеосаджених полісахаридів з низькою молекулярною масою. При спиртовому осадженні пектинових речовин частина домішок, розчинених в екстракті соосаджується разом з пектином. Багаторазова промивка осаду 96 % спиртом призводить до отримання пектинового препарату з відносно високим ступенем чистоти. Отримання пектину цим методом має ряд недоліків. Так, наприклад, 1) пектиновий гідролізат отримують у вигляді розведеного розчину вмістом пектину до 0,3%, який концентрують за традиційною технологією на вакуум-випарних апаратах при тривалому нагріванні, що призводить до додаткової деструкції полімерних ланцюгів; 2) застосовується велика кількість етанолу в якості осаджувача (до 50:1); 3) енергоємна регенерація спирту ректифікацією (табл. 1: 1 – люкс; 2 – екстра; 3 – вищої очистки; 4 – першого сорту). Відзначається, що осадження пектину етиловим спиртом при рівні кислотності 1,7–1,9 дозволяє досягти найбільшого виходу.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники ректифікованого спирту

| Показник | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-----------------|------|------|------|
| Вміст етилового спирту, %, не менше | 96,3 | 96,5 | 96,2 | 96,0 |
| Проба на чистоту з сірчаною кислотою | Витримує | | | |
| Проба на окиснюваність, хв при 20 °C, не менше | 22 | 20 | 15 | 10 |
| Масова концентрація альдегідів, в перерахунку на оцтовий, в безводному спирті, мг/л, не більше | 2 | 2 | 4 | 10 |
| Масова концентрація сивушного масла, в перерахунку на суміш ізоамілового та ізобутилового спиртів (3: 1), в безводному спирті, мг/л, не більше | 2 | 3 | 4 | 15 |
| Масова концентрація ефірів, в перерахунку на уксусноетиловий, в безводному спирті (БС), мг / л, не більше | 18 | 25 | 30 | 50 |
| Вміст метилового спирту, %, не більше | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,05 |
| Масова концентрація вільних кислот (без CO_2) в БС, мг/л, не більше | 8 | 12 | 15 | 20 |
| Вміст фурфуролу | Не допускається | | | |

Таблиця 2 – Фізико-хімічні властивості пектинів з різної рослинної сировини

| Показник | Гарбуз | Яблука АРА 103 | Яблука АРА 104 | Цитруси АРА 105LV |
|--|-----------|----------------|----------------|-------------------|
| Масова доля вологи, % | 7,3 | 8,6 | 7,8 | 8,1 |
| Масова доля пектинових речовин, %, * | 80,8±0,4 | 59,1±0,5 | 49,5±0,1 | 49,4±0,3 |
| Масова доля полігалактуронової кислоти, %, * | 80,65 | 72,92 | 59,38 | 55,48 |
| Масова доля фенольних речовин, мг ЕГК/г | 1,04±0,05 | 2,41±0,01 | 1,48±0,01 | 0,014±0,02 |
| Ступінь етерифікації, % | 72,3±0,6 | 70,6±0,3 | 64,0±0,5 | 58,9±0,4 |
| Динамічна в'язкість 1 % розчину при T=23 °C, сПз | 37,90 | 18,10 | 12,00 | 7,04 |

Більшість підприємств, що випускають пектин за традиційною технологією у якості осаджувача використовують етиловий спирт. Така технологія виробництва пектину – у якості осаджувача – етанол, потребує наявності енергоємного відділення ректифікації спирту для його регенерації і повернення в виробничий цикл.

Однією з інноваційних технологій є ферментативний спосіб витягу пектину. Гідроліз рослинної сировини проводять за допомогою мультиензимної композиції комплексу пектолітичних ферментів, що дає можливість одержувати пектини з різними молекулярними масами: високо- і низькоетерифікованими з різними властивостями, з метою їх застосування в різних галузях народного господарства. Доцільний вибір ферментів дозволяє виділити пектин без розщеплення домішок сировини, що підвищує його якість, полегшує його очищення, збільшує вихід [267]. Така технологія вигідно відрізняється від класичної: заміна кислотного гідролізу сировини ферментативним, тобто використанням біокатализаторів, пом'якшує тепловий режим процесу (замість 95°C гідроліз протікає при 50–60 °C); зберігає біологічно-активні властивості пектину; знімає особливі вимоги до матеріалу устаткування та дозволяє використовувати стандартизоване устаткування; забезпечує сприятливі умови праці та організацію екологічно чистого проведення процесу, а також дозволяє знизити витрати на організацію виробництва.

Слід підкреслити, що незалежно від вибору способу виробництва і технології отримання пектину треба враховувати особливості фізико-хімічних властивостей пектину (таблиця 2, ДСТУ 29186–91), * – у перерахунку на фактичну масу сировини [268].

Молекула пектинових речовин у водяних розчинах перебуває в колоїдній формі, має негативний заряд і оточена полярними диполями води. Дія органічних коагулянтів зводиться до переорієнтації диполів гідратної оболонки навколо пектинових молекул на полярні молекули органічного розчинника, що приводить до звузнення гідратної оболонки й, отже, до зближення ядер колоїдів, тобто молекул пектинових речовин між собою, встановленню міжмолекулярних зв'язків і, як наслідок, до спонтанного осадження пектину з розчину. Проведені дослідження [269, 270] по добору оптимального органічного коагулянту для пектину різного походження показали перевагу використання етилового спирту, який забезпечує значне збільшення виходу пектину з необхідними фізико-хімічними показниками. Найвища драглеутворююча здатність пектину досягається при осадженні етиловим спиртом концентрацією 96 об. %. Пектин, осаджений таким спиртом, має гарні реологічні властивості, має волокнисту структуру та легко піддається пресуванню, здрибнюванню та сушінню.

Особливості застосування етилового спирту у технології. У виробництві пектину на етапі його осадження використовують велику кількість етанолу (до

100 т етанолу на 1 т товарного пектину). Після осадження відфільтрований та нейтралізований водний розчин етанолу концентрацією від 50–60 % мас. піддається регенерації перегонкою в ректифікаційних колонах. Велике значення приділяється зниженню вартості процесу перегонки шляхом пошуку його оптимальних параметрів – це одна з цілей нашої роботи.

Органічні домішки, супутні етилового спирту, зазвичай поділяють на групи відповідно до їх хімічної природою (спирти, кислоти, альдегіди, ефіри, азотисті і сірковмісні сполуки) і поведінки в процесі ректифікації (головні, проміжні, хвостові) [1–3]. Альдегіди утворюються на різних стадіях отримання етанолу: при бродінні, водно-тепловій обробці сировини, ректифікації. Практично всі альдегіди надають спирту терпкість і пекучість. Присутність в готовому продукті оцтового альдегіду супроводжується різким неприємним запахом, відповідно, пропіонового – задушливим, масляного і ізовалеріанового – гострим фруктовим. При переробці доброякісної бражки в спирт-сирці найбільше оцтового альдегіду, при використанні дефектної сировини в готовій продукції можуть з'явитися ненасичені сполуки: кротоновий альдегід і акролеїн, діацетил, що характеризуються особливо неприємним запахом і пекучим смаком. Акролеїн по хімічному впливу дуже активний і легко полімеризується з утворенням гірких смол. З карбонових сполук необхідно відзначити діацетил і ацетон, їх відносять до продуктів метаболізму дріжджів. Вони впливають на якість та органолептичні оцінки напоїв, реакційно-активні і сприяють новоутворенню домішок спирту. Вищі спирти (компоненти сивушного масла) є побічними продуктами спиртового бродіння. Неприємні задушливі і різкі сивушні тони мають бутиловий, ізобутиловий та ізоаміловий спирти. У ректифікованому спирті і горілці ці домішки мало помітні навіть при порівняно високих концентраціях (0,5–1 г/л). Складні ефіри (етилацетат, пропіловий ефір ізомаляної кислоти, ізобутиловий ефір маляної кислоти і ін.) являють собою продукт взаємодії спиртів і кислот, що містяться в бражці. Ці сполуки, що утворюються як на стадіях бродіння і дріжджегенерації, так і в колонах брагоректифікаційної установки, надають спирту невластивий фруктовий або квітковий запах. Летючі кислоти (оцтова, маляна, ізомаляної, пропіонова, валеріанова і ін.) є продуктами життєдіяльності дріжджів і інфікують бражку мікроорганізмів. Чим вище культура виробництва, тим менше кислот міститься в зрілій бражці. Незначна кількість метилового спирту може виникнути і в процесі спиртового бродіння: практично не впливає на органолептичні показники готової продукції, але має дуже високу токсичність. У напівпродуктах спиртового виробництва зустрічаються сірководень, меркаптани і тіоальдегіди. Джерелом тіоальдегідів може служити сировина, в якій містяться продукти

сульфатації. Сірководень і меркаптани мають сильний і неприємний запах, навіть їх незначний вміст різко знижує дегустаційну оцінку ректифікованого спирту. Азотисті сполуки в спиртопродуктах представлені, в основному, аміаком і амінами. Аміак є продуктом розкладання азотовмісних органічних компонентів бражки, крім того, може бути внесений в готовий продукт з парою, що надходять на обігрів ректифікаційних колон. Аміни жирного ряду являють собою алкільні похідні аміаку і подібно до нього є сильними основами. Присутність азотовмісних речовин в готовій продукції знижує її дегустаційні показники. Цілком очевидно, що різноманіття домішок етилового спирту і зростання вимог до якості ректифікованого спирту обумовлюють застосування багатоколонної ректифікаційної установки і додаткових технологічних прийомів, заснованих на інших методах фізико-хімічної очистки розчинів. Однак введення до складу брагоректифікаційних установок додаткових колон: розгінної, сивушної, остаточного очищення пов'язано з великими витратами на придбання і монтаж обладнання, його експлуатацію, збільшеним витратою пари, що гріє, підвищеним відбором побічних фракцій, проміжної фракції і т.д., і, отже, тягне за собою збільшення собівартості готового продукту [1, 3, 5, 6, 14–16], тому застосування для очищення ректифікованого спирту фізико-хімічних методів і комбінування процесів ректифікації і адсорбції може бути досить актуальним. Процес ректифікації – різновид перегонки, у процесі якої певна частина пари, що сконденсувалася (флегма), не виводиться разом з дистиллятом, а повертається у вертикальний розділовий апарат, де, стікаючи вниз, взаємодіє з парами, що піднімаються вгору. У результаті протиточного тепло- й масообміну з парів конденсується переважно висококиплячі компоненти ВК, а з рідини випаровуються переважно низькокиплячі. Способи перегонки (крім молекулярної) можуть застосовуватися у варіанті ректифікації, вони здійснюються періодично або безперервно при різних тисках: під атмосферним тиском або під вакуумом – для розподілення сумішей висококиплячих речовин, а також під тиском більше атмосферного – для розподілення сумішей, що являються газотворюючими при помірних температурах. [6].

Особливості дослідження технології ректифікації. У даній експериментальній ректифікаційній колоні контактуючим елементом є тарілки провального типу. Експериментально розроблені оптимальні технологічні параметри відбору пектинових речовин: співвідношення яблучних віджимок та екстрагенту 1:10; температура процесу 95–98 °С; рН середовища 1,8–2,0; тривалість процесу гідролізу – 1 година. Насадка з гофрованих матеріалів була створена виходячи з основної вимоги, що висувається до насадкових тіл,

призначених для вакуумної ректифікації: рівномірне розподілення кількості рідини та великої кількості пари по всьому перетину апарата для досягнення високої ефективності при низькому гідравлічному опорі.

Ректифікація бінарних систем є процесом поділу розчинів на один або два практично чисті компоненти шляхом здійснюваного в ректифікаційній колоні багаторазового двостороннього масообміну між парами, що рухаються протитечею, і рідиною.

Взаємодія фаз при ректифікації являє собою дифузійно-низькокиплячого компонента з рідини в пару й висококиплячого компонента з пари в рідину, обумовлену різницею концентрацій компонентів у потоках пар і рідини. Основною умовою ефективного обміну речовинами між фазами є їх як можна більший інтенсивний контакт.

Спосіб контактування фаз усередині колони впливає: на глибину поділу, що досягається; на методи аналізу й розрахунків процесу в цілому й може бути східчастий – на тарілках або безперервний – уздовж шару насадки.

У насадковій колоні відбувається типовий протиточний диференціальний процес – потоки флегми й пар перебувають у постійній взаємодії на поверхні насадки, перенос речовини між фазами йде безупинно. Механізм роботи колони з насадкою не складається з окремих самостійних стадій, а являє собою безперервну зміну концентрацій рідких і парових потоків уздовж усієї поверхні контакту фаз. Саме цією безперервністю зміни сполук і відрізняється насадкова колона, що здійснює дійсну протитечею пар–рідина, від тарілчастої колони, у якій сполуки фаз міняються стрибком від однієї її тарілки до іншої.

Якщо дві нерівновагі фази, парову й рідку, привести у взаємний контакт і створити можливо більш сприятливі умови для масопередачі, а потім після обміну речовиною й енергією відокремити ці фази одну від іншої яким-небудь механічним способом, то всю таку операцію в цілому прийнято називати одним ступенем контакту. Механізм роботи тарілчастої колони, узятий у чистому виді, полягає в тому, що тарілки діють як ряд цілком самостійних ступенів контакту для парових і рідких потоків, що зустрічаються й перемішуються. Суттєво, що на тарілках колони дійсна протитечея пари і флегми повністю порушується (чого не відбувається в насадковій колоні); фази, що контактують, обмінюються речовиною й енергією внаслідок прагнення взаємодіючих середовищ до стану рівноваги.

Щоб встановити еталон для оцінки роботи тарілок колони, вводиться поняття про ідеальну контактну сходинку або теоретичну тарілку, яка характеризується тим, що в ході масообміну взаємодіючі потоки досягають рівноважного стану.

Ступінь наближення контактуючих фаз до рівноваги, реалізована в практичній сходинці, умовно визначається як її ефективність або коефіцієнт корисної дії.

На тарілках ректифікаційної колони, що мають різну конструкцію, здійснюється інтенсивна взаємодія між висхідним паровим і спадним рідким потоками (рис. 1: А – верхній продукт; В – флегма; С – подача сировини; Е – нижній продукт; D – вхід пари від нагрівача; 1 – розподільувач; 2 – насадкa; 3 – колектор рідини; 4 – тарілки; 5 – перелив). У граничному випадку роботи тарілки енергообмін між дотичними парами й рідиною приводить до вирівнювання їх температур, у результаті обміну речовиною встановлюються рівноважні значення сполук фаз, і процес їх взаємодії припиняється, тому що система пар–рідина приходить у рівноважний стан. Пари й рідина відділяються друг від друга, і процес триває внаслідок нового контактування цих фаз уже на наступному щаблі з іншими рідкими й паровими потоками.

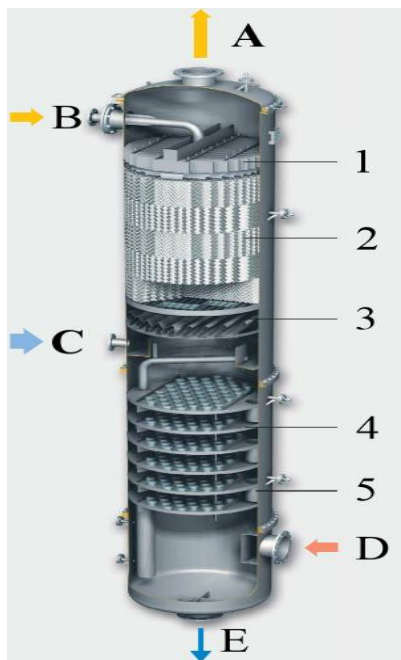


Рис. 1. Колонна як основна частина дистиляційної установки

У термодинамічній теорії масообмінних процесів поділу при переході від сполук фаз в одному міжтарілчастому відділенні до сполук фаз у сусідньому за кількісну основу ухвалюється гіпотеза теоретичної тарілки (щаблі). Особливість цієї теорії полягає в тому, що вона не займається питанням про механізм процесу й не досліджує дифузійної природи й кінетичної картини явища масопередачі на контактному щаблі. Теорія масообмінних процесів поділу, заснована на концепції теоретичної тарілки (щаблі), вивчає граничні умови проведення процесу й установлює еталони, порівнянням з якими можна одержати правильне судження про роботу

практичного апарата й про ступінь його відхилення від найбільш досконалого в даних умовах зразка.

Гіпотеза теоретичної тарілки не відтворює в точності дійсної картини явища, що протікає в контактному щаблі, тому що заснована на статичному представленні процесу. Проте ця концепція дозволяє здійснити аналіз і розрахунки процесу поділу вихідної суміші в ректифікаційній колоні й одержати досить близьку до дійсності картину реального процесу, незважаючи на наше невміння цілком компетентно й всебічно досліджувати складні явища масопередачі, що відбуваються на практичному щаблі контакту.

Дослідження й визначення ефективності практичних щаблів поділу виявляється, як правило, завданням менш важким, ніж безпосереднє вивчення дифузійної картини процесу ректифікації в реальній колоні. Таким чином, термодинамічна теорія ректифікації є поки першим щаблем загальної теорії ректифікації, для судження про спрямованість мимовільних процесів енерго- й масообміну. В окремо взятій контактній щаблі слід розглянути її роботу на основі методу теоретичної тарілки. Пари, що надходять на i -ту тарілку колони перебувають при більш високій температурі, ніж рідина, і концентрації компонентів в обох фазах відрізняються від рівноважних. При достатній тривалості контакту в результаті взаємодії нерівноважних рідин і пари в умовах теоретичної тарілки встановлюється стан паро-рідинної рівноваги, сполука пар зрушується убік збагачення низькокиплячим компонентом, а сполука рідини – убік збагачення висококиплячим компонентом.

При виборі типу ректифікаційної колони для проектування поділу слід мати на увазі, що тарілчасті колони дуже малого діаметра значно дорожче відповідних насадкових колон, однак у міру збільшення діаметра вартість насадкових колон зростає набагато швидше; для приблизної грубої оцінки можна вважати, що вартість насадкової колони зростає пропорційно квадрату діаметра, а ковпачкової – діаметру в першому ступені. Отже, за межами деякого граничного значення діаметра використання тарілчастих колон повинне бути більш економічним.

Тривалий досвід промислової експлуатації насадкових колон показав доцільність їх використання при діаметрах не більше 0,8 м. При подальшому збільшенні діаметра насадкової колони погіршується рівномірний розподіл флегми по насадці, утворюються канали, по яких переважно спрямовується флегма, і ефективність колони різко знижується. На жаль, насадкові колони мають недостатню гнучкість у роботі, що виражається в необхідності порівняно більших флегмових чисел, окрім того, у них важко підтримувати стабільний режим роботи.

Складні абсорбційні й десорбційні колони широко використовуються в промисловості поряд із простими апаратами – це абсорбери й десорбери із

двома введеннями сировинних потоків по висоті апарата й комбіновані або сполучені апарати. Сучасні ректифікаційні й абсорбційні апарати можна класифікувати залежно від технологічного призначення, тиску й виду внутрішнього обладнання, що забезпечує контакт пари й рідини.

За технологічним призначенням ректифікаційні апарати підрозділяються на колони атмосферно-вакуумних установок, термічного й каталітичного крекінгів, вторинної перегонки нафтопродуктів, ректифікації газів, стабілізації легких нафтових фракцій і т.д. (рис. 2).



Рис. 2. Трьохвимірна модель ректифікаційної установки для рекуперації розчинника пектину

Абсорбційні апарати за технологічним призначенням підрозділяються на апарати установок осушки, очищення газу, газорозділення і т.д.

Залежно від застосовуваного тиску апарати підрозділяються на вакуумні, атмосферні й працюючі під тиском. Залежно від внутрішнього обладнання розрізняють апарати тарілчасті, насадкові, роторні (з обертовими деталями).

Сучасні ректифікаційні й абсорбційні апарати повинні мати високу розділову здатність і продуктивність, характеризуватися достатньою надійністю й гнучкістю в роботі, забезпечувати низькі експлуатаційні витрати, мати невелику масу й, нарешті, бути конструктивно простими й технологічними у виготовленні. Останні вимоги не менш важливі, ніж перші, оскільки вони не тільки визначають капітальні витрати, але й значною мірою

впливають на експлуатаційні витрати, забезпечують легкість і зручність виготовлення апаратів (особливо це відноситься до серійних), їхнього монтажу й демонтажу, ремонту, контролю, випробування, а також гарантують безпечну експлуатацію.

У сучасних ректифікаційних і абсорбційних апаратах застосовуються найрізноманітніші конструкції контактних обладнань, останні безупинно удосконалюються, свідченням чого є потік наукових досліджень і патентних матеріалів.

У зв'язку із цим описувати конструкції й роботу контактних обладнань, а також способи й напрямки інтенсифікації процесів масопередачі в цей час неможливе без детальної класифікації контактних обладнань. Раніше передбачалася роздільна класифікація конструкцій контактних обладнань – по способах взаємодії фаз і принципам утворення міжфазної поверхні. Для більш повної класифікації доцільно скористатися обома ознаками одночасно, оскільки умови масопередачі визначаються способом взаємодії потоків і станом міжфазної поверхні.

Гратчасті й сітчасті (рис.3) безпереливні (провальні) тарілки мають основу, що перекидає увесь перетин колони, яка виконана у вигляді листа із щілинами або отворами відповідно, але в них немає спеціальних переливних обладнань для стоку рідини. При нормальній роботі на всій площині тарілки утворюється стійкий барботажний шар, при цьому місця стоку рідини розподіляються більш-менш рівномірно по перетину колони.



Рис. 3. Сітчаста тарілка

Працюють ці тарілки в такий спосіб: рідина, надходячи через переливне обладнання, розподіляється рівномірно по всій площині основи тарілки й потім зливається в інше переливне обладнання. Газ проходить через напрямні елементи й барботує через рідину, утворюючи спінений дисперсний шар газу в рідині.

Інжекційна тарілка має спеціальне переливне обладнання для рідини, що надходить й виходить, має направляючі елементи для руху газорідинного потоку. Працює тарілка в такий спосіб: рідина з переливу інjektується газом, дробиться на струмені й краплі й транспортується уздовж відповідного елемента. Наприкінці елемента більша частина рідини виділяється з потоку газу й надходить у нижче розташоване зливальне обладнання. Отже, у цьому випадку контакт газу й рідини відбувається в розрідженій, дисперсній системі рідини в газі.

Каскадні промивні (поличні) тарілки складаються з основи у вигляді суцільних листів (полиць), що перекривають більшу частину перетину колони із протилежної сторони в розташованих рядом контактних обладнань. Рідина стікає струменями з основи одного контактного обладнання на основу іншого, а газ проходить між тарілками й перетинає стікаючу рідину.

Тарілка струминна (язичкова) має в основі напрямні елементи для проходу газу у вигляді прорізів або у формі язичка з відігнутою нагору вирізаною частиною основи. Направні елементи забезпечують односпрямований рух газу й рідини уздовж контактних обладнань. Конструкція переливів така ж, як і в розглянутих раніше тарілок.

Сітчаста тарілка з відбійними елементами складається з основи й похило розташованих відбійників, виконаних із просічно-втяжного листа. Відігнуті краї аркушів у основі тарілки утворюють гострий кут, спрямований по ходу руху рідини. Відігнуті краї просічно-втяжних листів відбійників спрямовані вниз у бік зливу рідини з тарілки й утворюють гострий кут з горизонтальною площиною тарілки; зливальна планка на виході рідини не передбачена. Відігнуті краї просічно-втяжних листів основи тарілки забезпечують односпрямований рух газу й рідини від одного відбійного обладнання до іншого, а відігнуті краї відбійних обладнань – сепарацію фаз безпосередньо на відбійних обладнаннях.

Тарілка із двома зонами контакту фаз має основу у вигляді аркуша з отворами, щілинами, клапанами або іншими обладнаннями й переливи для рідини, розташовані один над іншим. Переливи не доходять до основи нижчої тарілки й мають знизу відбивну пластину, яка забезпечує струминне витікання рідини в міжтарільчастий простір колони; контакт газу й рідини відбувається спочатку в барботажному шарі газ–рідина й потім у стікаючих струменях рідини.

Тарілка струминна із завихрительями для потоку газу має звичайне переливне обладнання для рідини, основу у вигляді листа із установленими на ньому напрямними елементами й закручувачами потоку газу різної конструкції. Робота цих контактних обладнань протікає в такий же спосіб, як і у звичайних барботажних тарілок, з тією лише відмінністю, що контакт газу й рідини здійснюється в закрученому вихровому потоці рідина–газ, де основною фазою є рідина, а дисперсною – газ.

Тарілка з регулярним обертанням газорідинного потоку має закручувач для потоку газу, виконаний з набору тангенціально розташованих пластин або листів з розташованими на них тангенціальними просечками. Тарілка має спеціальні переливні обладнання, бічне обладнання з'єднується з розташованим нижче центральним обладнанням.

Тарілка працює в такий спосіб: газ, проходячи через закручувач, надходить у рідину й надає їй круговий, обертаний рух по тарілці. Контакт пари й

рідини відбувається у вискодисперсному шарі газ–рідина, де основною фазою є газ, а дисперсною – рідина.

Прямоточне контактне обладнання складається зі звичайних переливів для рідини, основи у вигляді листа із установленими на ньому контактними елементами у вигляді сопла, труби й завихрительей для потоку газу. Контакт фаз здійснюється тут у прямогоці між плівкою рідини й закрученим потоком газу. В іншому робота прямогочного контактного обладнання мало чим відрізняється від роботи розглянутих раніше тарілок.

Вихрова колона виконується з однієї або декількох труб із установленими в них завихрительями потоку газу й рідини. Газ рухається по центру труби в закрученому потоці назустріч стікаючій по периферії труби рідини. Отже, контакт газу й рідини здійснюється між закрученим потоком газу й закрученою плівкою рідини.

У колонні із плоскопаралельною насадкою по ходу руху газового потоку на невеликій відстані друг щодо друга встановлені плоскі або певним чином гофровані листи. Рідина стікає тонкою плівкою по поверхні листів, взаємодіючи з газом у протитечії.

Контактні обладнання в насадковій колоні виконуються у вигляді шару безладно або регулярно покладених на опорній конструкції елементів насадки. Контакт фаз у шарі насадки здійснюється в протитечії газу й плівки рідини на поверхні елементів насадки й у дисперсному шарі рідина–газ між окремими елементами насадки.

Апарати, призначені для проведення процесів абсорбції й ректифікації, називаються відповідно абсорберами або ректифікаційними колонами. Зазначені апарати можна підрозділити на три основні групи:

- а) апарати, у яких поверхнею фазового контакту є поверхня рідини, що розтікається по спеціальній насадці;
- б) апарати, у яких поверхня фазового контакту створюється потоками газу (пари) і рідини;
- в) апарати, у яких поверхня фазового контакту створюється внаслідок розбризкування рідини.

Апарати зі змоченою насадкою або просто насадкові колони виконуються у вигляді циліндричної колони, заповненої насадковими тілами. Основними вузлами насадкових апаратів є пристосування для розподілення рідини по насадці; насадкові тіла й обладнання, які направляють до центру рідину, що розтікається.

Газ (пара) і рідина звичайно взаємодіють при русі протитечійою. Рідина надходить у верхню частину контактних обладнань, розподіляється по насадковим тілам за допомогою пристосувань і стікає вниз по поверхні останніх. Газ (пара) уводиться знизу й рухається нагору по каналах, утворених насадковими тілами.

Насадка або насадкові тіла, можуть мати найрізноманітнішу форму. Практичне значення мають: хордова насадка, кільця, фасонні насадкові

тіла, спіральна й сітчаста металева насадка, а також дроблений грудковий матеріал.

Хордова насадка, як правило, робиться з дерев'яних брусів, що розташовуються правильними рядами один над одним.

Кільцева насадка складається з керамічних або сталевих циліндрів, що завантажуються в апарат або правильними рядами, або навалом.

Фасонна насадка виконується з кераміки у вигляді сідел, циліндрів з перегородками, пропелерів і т.д., що завантажуються в апарат навалом.

Спіральна й сітчаста насадки виконуються звичайно зі сталеві оцинкованої стрічки й завантажуються в апарат правильними рядами. У якості кускової насадки звичайно використовують дроблений кокс або кварц у вигляді шматків розмірами 25–75 мм.

Найбільш ефективна насадка, що має менший еквівалентний діаметр, а отже, менший коефіцієнт вільного об'єму й більшу питому поверхню. У промисловій апаратурі найчастіше використовуються кільцева насадка й дроблений грудковий матеріал.

Оскільки газовий потік, що рухається в насадковій колоні знизу нагору, як і у всіх випадках руху газу по каналах, має максимальну швидкість у центрі, рідина, що рухається назустріч йому розтікається до периферії. Рідина майже повністю відтискується від місця введення зрошення до периферії на відстань, рівну чотирьом-п'ятьом діаметрам.

Відповідно до цього в насадкових колонах доцільно розміщати перегородки, що збирають рідину, відстань між якими дорівнює трьом-чотирьом діаметрам апарата. Перегородки, що збирають, виконуються або у вигляді усічених конусів, або у вигляді тарілок зі зливальними патрубками. Як показує досвід, перегородки останнього типу є більш ефективними.

Практика показує, що насадкові колони працюють найбільш ефективно в умовах режиму підвисання, близького до режиму захлинання, тобто такого, при якому вага затриманої на насадці рідини стає рівним силі тертя газового потоку по рідині. При цьому рідина, що зрошує, затримується у вільному об'ємі колони в максимальній кількості, утворюючи в проходах насадки газо-рідинну суміш – щільну піну. Цей режим відрізняється тим, що невелике збільшення швидкості газу (пари) приводить до захлинання колони внаслідок переваги сил тертя над силами ваги.

Оптимальний режим роботи колони досягається при швидкостях газового (парового) потоку на 15–20 % менших швидкостей, що викликають захлинання. Очевидно, що в цих умовах масообмін стає досить ефективним.

Поверхня фазового контакту перевищує

поверхню насадки, а коефіцієнти масовіддачі досягають граничних величин для апаратів подібного типу.

При зрошенні насадкової колони рідиною гідравлічний опір її збільшується з ростом щільності потоку газу (пари) і щільності зрошення й досягає максимуму при режимі захлинання. Щільністю зрошення й щільністю газового (парового) потоку називають у цьому випадку вагові швидкості потоків газу (пари) і рідини в колоні, віднесені до одиниці поперечного перерізу апарата.

Колони з тарілками (рис. 1), є ефективними й найпоширенішими апаратами. Вони виконуються у вигляді вертикальних циліндрів, усередині яких одна під іншою розміщена певна кількість горизонтальних перегородок – тарілок, що забезпечують можливість плинну рідини зверху вниз, а газу або пари знизу нагору.

Розрізняють тарілчасті колони з переливними обладнаннями й колони з неорганізованим переливом рідини, або із провальними тарілками.

Колони із провальними тарілками за характером гідродинаміки потоків аналогічні насадковим колонам, що працюють у режимі підвисання.

На тарілках одночасно відбувається барботажа газу або пари через шар рідини й часткове «провалювання» рідини. Газ (пара) рухається знизу нагору тільки через частину отворів або щілин пульсуючим потоком. Розподіл в отворах, що пропускають газ або рідину, носить статистичний характер, рідина стікає з тарілки на тарілку в місцях максимального статичного тиску. Сумарну площу всіх отворів (щілин), або так званий вільний перетин тарілок, підбирають так, щоб при заданій швидкості газового (парового) потоку через частину отворів відбувалося «провалювання» рідини.

Тарілчасті колони з переливними обладнаннями – це апарати з горизонтальними тарілками й переливними обладнаннями. Рідина надходить на верхню тарілку, переливається через переливні обладнання зверху вниз і видаляється з нижньої частини апарата. Газ (пара) уводиться в нижню частину апарата й переміщується нагору, розподіляючись на кожній тарілці у вигляді пухирців або факелів.

Залежно від способу розподілу газу (пари) на тарілках розрізняють тарілки сітчасті (рис. 3) й ковпачкові (рис. 4), або тунельні (рис. 5).

Характер розподілу газу й рідини залежить не стільки від конструкції обладнання, що розподіляють, скільки від швидкості газового потоку.

При невеликій швидкості газу в отворах сітчастої тарілки окремі пухирці газу (пари) відриваються й переміщуються в рідині один за іншим; при цьому тарілка працює неповним перетином. Такий режим розподілу газу, як відомо, називається бульбашковим.



Рис. 4. Ковпачкова тарілка

В інтервалі швидкостей газового потоку, що відповідають бульбашковому режиму, відзначаються границя швидкості, при якій частина рідини «провалюється» через окремі отвори, границя швидкості, при якій «провал» відсутній, але отвори працюють нерівномірно, і, нарешті, границя швидкості, відповідна до рівномірної роботи тарілки у всьому перетині. При цьому на тарілці утворюється ніздрювата піна.

При збільшенні швидкості газу відбувається руйнування ніздрюватої піни; подібний розподіл газу або пари називається смолоскиповим.

При сильному зростанні швидкості газу (пари) потоки його розбивають піну й починають підкидати рідину на більшу висоту. Крім зливальних патрубків, тарілки мають пороги 1 і 2, перший руйнує піну, що стікає з верхньої тарілки, другий служить для підтримки певної висоти стовпа рідини на тарілці.

Останнім часом у промисловості знаходить застосування ряд тарілок нових конструкцій.

Клапанна тарілка поєднує в собі властивості сітчастих і ковпачкових тарілок. Барботаж газу (пари) через рідину відбувається через клапани, які залежно від витрати газу (пари) можуть займати різні положення по вертикалі. Клапанні тарілки відрізняються стабільністю роботи в різних діапазонах навантажень по газовому (паровому) потоку.

Струминна тарілка виконується у вигляді похилих паралельних пластин, між якими проходить газ і пар. Поверхня контакту фаз розвивається струменями газу (пари) і рідини.

Тарілки із двома зонами контакту фаз мають додаткову зону контакту фаз за рахунок спеціально організованого зливу рідини з однієї тарілки на іншу. Газ (пара) проходить через плівку рідини (додаткова зона контакту фаз) і барботує через рідину на тарілці. Як показують дослідження сепарувальні дії плівки, дозволяють підвищити швидкість газу (пари) у колоні в порівнянні із сітчастими й ковпачковими тарілками.

Тарілки з обертовим потоком рідини працюють наступним чином: пара, проходячи через спеціальне контактне обладнання, приводить в обертання рідину

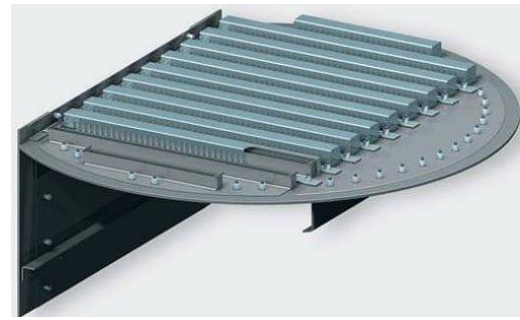


Рис. 5. Тунельна тарілка

для барботажу. За рахунок відцентрової сили відбувається сепарація пари від бризів, крапель, плівок рідини. Ці тарілки також дозволяють підвищити швидкість газового (парового) потоку.

Різновидом обладнання, у якому поверхня контакту фаз розвивається потоком газу (пари), є тарілки з кульовою насадкою. Шар куль, поміщених на тарілку сітчастого або провального типу, утворює щільну сепарувальну завісу між тарілками при певній витраті газу (пари). Такі апарати дозволяють підвищити швидкість газу (пари) у колоні в 3–4 рази в порівнянні із сітчастими тарілками.

Гідродинамічні дослідження по визначенню опору зрошуваної насадки проводились на лабораторній ректифікаційній установці в ЗАТ УКРНДІХІМАШ. Було досліджено декілька видів блоків насадок з гофрованих матеріалів:

- 1 – з гладкого листа;
- 2 – з гладкого листа з прорізами;
- 3 – з перфорованого листа;
- 4 – з перфорованого листа з крупним гофром;
- 5 – з ткані сітки ламельна;
- 6 – з ткані сітки рулонна.

Розподільча властивість теоретичних тарілок на 1 м висоти (рис. 3) становить:

- ламельна насадка з ткані сітки 6–7;
- рулонна насадка з ткані сітки 3–4;
- ламельна насадка з листа без прорізів 2–3;
- ламельна насадка з листа з прорізами 3–2;
- ламельна насадка з перфорованого листа 2–3;
- ламельна насадка з перфорованого листа з крупним гофром 1–2.

Перепад тиску на одну теоретичну тарілку від навантажень по газу становить:

- 1) ламельна насадка з сітки $\Delta P/TT = 5\text{--}65$ Па;
- 2) насадка рулонна з сітки $\Delta P/TT = 10\text{--}120$ Па;
- 3) насадка з аркуша без прорізів $\Delta P/TT = 12\text{--}125$ Па;
- 4) насадка з аркуша з прорізами $\Delta P/TT = 3\text{--}135$ Па;
- 5) насадка з перфорованого аркуша $\Delta P/TT = 10\text{--}100$ Па;
- 6) насадка з перфорованого аркуша з крупним гофром $\Delta P/TT = 5\text{--}85$ Па [6–11].

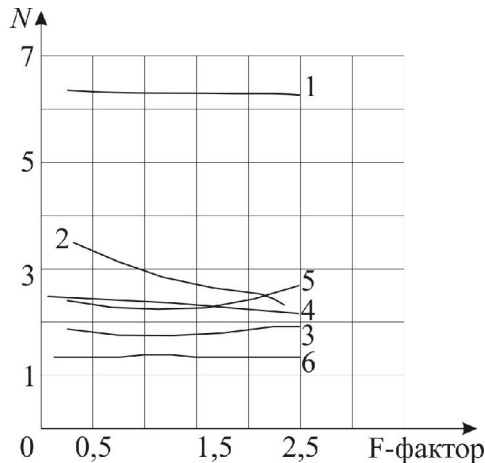


Рис. 1. Залежність числа теоретичних тарілок (N) від навантаження по пару (F -фактор) в 1 м різних типів насадок: 1 – ламельна з сітки; 2 – рулонна з сітки; 3 – з аркуша без прорізів; 4 – з аркуша з прорізами; 5 – з перфорованого аркуша; 6 – з перфорованого аркуша з великим гофром

Дослідження масообмінних характеристик регулярних насадок проводились на тій же установці, що і гідродинаміка зрошуваних насадок, з тією лише різницею, що у куб колони заливалася суміш водного розчину етанолу з концентрацією етанолу ~ 50 об. %. Після обробки експериментальних даних, отриманих для кожного типу насадок, були встановлені залежності числа теоретичних тарілок в 1 м насадки від навантаження по газу (F -фактор).

Дані, отримані при гідродинамічних випробуваннях, спеціальної методики обробки не вимагали. З таблиць вимірів будувались графіки залежності перепаду тиску на 1 м насадки від швидкості повітря (пари), переведеної у F -фактор ($\text{кг}^{0,5}/\text{с}\cdot\text{м}^{0,5}$):

$$F\text{-фактор} = W \cdot \sqrt{\rho},$$

де W – швидкість потоку, м/с; ρ – густина пари, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Межі вимірювання навантажень по пару при F -факторі від 0,5 до 3,5:

- 1) $W = 1\text{--}2$ м/с, $\rho = 0,8\text{--}2$ $\text{кг}/\text{м}^3$,
 F -фактор = 1–3;
- 2) $W = 4\text{--}10$ м/с, $\rho = 0,3\text{--}1$ $\text{кг}/\text{м}^3$,
 F -фактор = 0,1–1;
- 3) $W = 0,1\text{--}1$ м/с, $\rho = 8\text{--}30$ $\text{кг}/\text{м}^3$,
 F -фактор = 3–3,5.

При тиску, швидкості, щільності F -фактор однаково показниковий. Для тарілок F -фактор дорівнює 1–3, для насадок F -фактор становить 1,5–4.

Практична ефективність кожної насадки постійна при збільшенні швидкості газу. Найбільшу ефективність має насадка з гофрованої сітки, найменшу – насадка з перфорованого аркуша з великим гофром (крива 6).

При однаковому гофрі (10 мм) у насадках з листових матеріалів найбільш ефективною є насадка з гофрованого перфорованого матеріалу, найменш ефективною – насадка без перфорацій.

У процесі досліджень треба визначати ступінь вилучення летких домішок спирту (α) і кратність їх концентрування (β):

$$\alpha = X_m / X_0 \text{ та } \beta = X_d / X_m,$$

де X_m , X_d , X_0 – концентрація домішок спирту на тарілці живлення, в дистилаті і в кубовій частині колони відповідно.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. При відгоні спирту, використаного для осадження пектину, одержують цукристі речовини, органічні кислоти, барвники та ароматизатори. Вони мають вигляд фруктових екстрактів, які можна застосовувати в харчовій промисловості в якості стабілізаторів, барвникових речовин і підсолоджувачів.

Вичавки після екстракції пектину сушать і гранулюють. Завдяки високому утриманню поживних речовин вони йдуть на корм худобі – тобто можна визначити можливість утворення сучасного комплексного інноваційного безвідходного виробництва.

Результати дослідження показали, що висока розподільча властивість ламельної насадки з гофрованої ткані сітки обумовлена гарно розвиненою поверхнею контакту фаз: рідинна – за рахунок капілярного ефекту, виникаючого у чарунках сітки, газова – за рахунок турбулізації газу в системі перетину каналів.

Відповідно до цілей експерименту визначені наступні гідродинамічні та масообмінні характеристики у колонні з регулярною насадкою з гофрованих сітчастих та листових матеріалів у процесі регенерації етилового спирту при виробництві пектину з сирих яблучних віджимок:

- дослідження і визначення гідравлічного опору одного метру сухої та зрошувомої насадки для різних швидкостей газу;

- дослідження процесу масообміну при різних навантаженнях по газовій і рідинній фазах;
- проведення порівняльної оцінки насадки з гофрованої сітки з насадками з інших гофрованих матеріалів;
- визначення можливості спрямованого виготовлення і галузей використання насадок з гофрованих листових матеріалів.

Експериментально розроблені оптимальні технологічні параметри відбору пектинових речовин: співвідношення яблучних віджимок та екстрагенту, температура процесу, рН середовища та тривалість процесу гідролізу. Під час досліджень встановлена залежність (F-фактор), яка характеризує межі вимірювання навантажень по парі та змінюється від 0,5 до 3,5. Слід відмітити, постійне зростання попиту на пектин, що, насамперед, пов'язане з факторами:

- відмови споживачів від штучних харчових добавок і генномодифікованих продуктів;
- збільшення попиту на готові продукти і напівфабрикати, і в той же час зростання вимог до екології продуктів, їх смаку, малому вмісту жиру та цукру;
- зростання споживання натуральних і функціональних інгредієнтів та зміни у технології харчових виробництв з боку виробників харчових продуктів.

Ці фактори стимулюють розвинення досліджень з метою розробки сучасної великотоннажної технології отримання пектинів з різноманітної рослинної сировини та впровадження її на Україні [12–21], а також сприяють розвитку створення інтелектуальної власності студентами та аспірантами [22–24].

Список літератури

1. Стабников В.Н. Перегонка и ректификация этилового спирта. М.: Пищевая промышленность, 1969. 456 с.
2. Цыганков П.С., Цыганков С.П. Руководство по ректификации спирта. М.: Пищепромиздат, 2001. 400 с.
3. Яренко В.Л., Мариченко В.Д., Смирнов В.А. Технология спирта. М.: Пищепромиздат, 1999. 464 с.
4. Бутова С.Н. Инновационная технология производства пектина в России / С.Н. Бутова, Д.В. Гаврилова, Ю.В. Махова // Вестник Российской академии естественных наук. 2012. – № 3. – С. 43–46.
5. Карпович Н.С. Пектин. Производство и применение / Н.С. Карпович, Л.В. Донченко, В.В. Нелина. Под редакцией К.С. Карпович. – К.: Урожай, 1989. – 88 с.
6. Лисицкая К.В. Сравнительный анализ антиоксидантных свойств пектинов из различного растительного сырья / К.В. Лисицкая, А.А. Торкова, И.В. Николаев, Т.В. Федорова, О.В. Королева, М.А. Михалева // Пищевая промышленность. 2012. – № 12. – С. 64–66.
7. Моисеева В.Г. Влияние способа осаждения на качественные характеристики пектиновых препаратов / В.Г. Моисеева, Г.М. Зайко, И.А. Медведев, И.А. Водянов // Изв. вузов. Пищевая технология. 1974. – № 2. – С. 79–81.
8. Рудаков О.Б., Боев А.И., Никитина С.Ю. и др. Устройство для идентификации компонентов в сложных смесях: Пат. РФ №2192636 // Опубл. 10.11.2002. Бюл. №31.
9. Абрамова И.М., Поляков В.А., Савельева В.Б., Воробьева Т.Г., Сури И.М. Влияние органических микропримесей на органические показатели пищевого ректифицированного спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2006. №2. С. 24–26.
10. ДСТУ 4221:2003 Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови., Київ ДП «УкрНДНЦ». 2018. 8 с.
11. Никитина С.Ю., Дячкина А.Б. О повышении качества ректифицированного спирта // Ликероводочное производство и виноделие. 2006. №6. С. 8–9.
12. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
13. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. – 352 с.
14. Бухкало С.И. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
15. Бухкало С.И. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
16. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.И., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение. НТУ «ХПИ», Харьков, 2005, – 460 с.
17. Бухкало С.И. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
18. Бухкало С.И. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
19. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zippunikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
20. Бухкало С.И. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
21. GEA Wiegand GmbH • Am Hardtwald 1 •76275 Ettlingen Germany: www.gea-wiegand.com
22. Прищенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.И. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 320.
23. Сирку М.А., Бухкало С.И., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнутова М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
24. Ситник В.В., Яценко Б.С., Бухкало С.И., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.

References (transliterated)

1. Stabnikov V.N. Peregonka i rektifikacija jetilovogo spirta. M.: Pishhevaja promyshlennost', 1969. 456 p.
2. Cygankov P.S., Cygankov S.P. Rukovodstvo po rektifikacii spirta. M.: Pishhepromizdat, 2001. 400 p.
3. Jarovenko V.L., Marichenko V.D., Smirnov V.A. Tehnologija spirta. M.: Pishhepromizdat, 1999. 464 p.
4. Butova S.N. Innovacionnaja tehnologija proizvodstva pektina v Rossii / S.N. Butova, D.V. Gavrilova, Ju.V. Mahova // Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. 2012. – № 3, pp. 43–46.
5. Karpovich N.S. Pektin. Proizvodstvo i primenenie / N.S. Karpovich, L.V. Donchenko, V.V. Nelina. Pod redakciej K.S. Karpovich. – K.: Urozhaj, 1989. – 88 p.
6. Lisickaja K.V. Sravnitel'nyj analiz antioksidantnyh svojstv pektinov iz razlichnogo rastitel'nogo syr'ja / K.V. Lisickaja, A.A. Torkova, I.V. Nikolaev, T.V. Fedorova, O.V. Koroleva, M.A. Mihaleva // Pishhevaja promyshlennost'. 2012. – No. 12, pp. 64–66.
7. Moiseeva V.G. Vlijanie sposoba osazhdenija na kachestvennye karakteristiki pektinovyh preparatov / V.G. Moiseeva, G.M. Zajko, I.A. Medvedev, I.A. Vodjanov // Izv. vuzov. Pishhevaja tehnologija. 1974. No. 2, pp. 79–81.
8. Rudakov O.B., Boev A.I., Nikitina S.Ju. i dr. Ustrojstvo dlja identifikacii komponentov v slozhnyh smesjah: Pat. RF №2192636 // Opubl. 10.11.2002. Bjul. №31.
9. Abramova I.M., Poljakov V.A., Savel'eva V.B., Vorob'eva T.G., Surin I.M. Vlijanie organicheskikh mikroprimesej na organicheskie pokazateli pishhevogo rektifikovanogo spirta // Proizvodstvo spirta i likerovodochnyh izdelij. 2006. No. 2, pp. 24–26.
10. DSTU 4221:2003 Spiryt etilovij rektifikovaniy. Tehnichni umovi., Kijv DP «UkrNDNC». 2018. 8 p.
11. Nikitina S.Ju., Djachkina A.B. O povyshenii kachestva rektifikovanogo spirta // Likerovodochnoe proizvodstvo i vinodelie. 2006. No. 6, pp. 8–9.
12. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. – 832 p.
13. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
14. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
15. Buhkalo S.I. Vznachennja zagal'noi tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
16. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevyh proizvodstv i jenergosberezenie. NTU «HPI», Har'kov, 2005, – 460 p.
17. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
18. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17–19 maja 2018. H.: Ch. II, p. 201.
19. Buhkalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks / Visnik NTU «KhPI». – Kharkiv.: NTU «KhPI», 2019. – No. 15(1340), pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
20. Buhkalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17–19 maja 2017. – Kharkiv: Ch. III, p. 14.
21. GEA Wiegand GmbH • Am Hardtwald 1 • 76275 Ettlingen Germany: www.gea-wiegand.com
22. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Buhkalo S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 320.
23. Sirku M.A., Buhkalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
24. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Buhkalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Vznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019. Ch. II. / za red. prof. Sokola C.I. – Kharkiv: NTU «HPI», p. 343.

Надійшла (received) 19.07.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

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

Ольховська Оксана Ігорівна (Ольховская Оксана Игоревна, Olkhovska Oksana Igorivna) – ст. викладач, кафедра менеджменту і опадаткування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.

Зипунніков Микола Миколаєвич (Zipunnikov Nikolai Nikolaevich, Zipunnikov Mykola Mykolaevich) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, відділ водневої енергетики, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0579-2962>; e-mail: zipunnikov_n@ukr.net

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

Сирку Марія Андріївна (Сырку Мария Андреевна, Syrku Mariia Andriivna) – студентка НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна.

Н. М. НИМЕЦЬ, А. П. МЕЛЬНИК, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, О. Д. НИМЕЦЬ

**ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЙОДУ З СУПУТНЬО-ПЛАСТОВИХ ВОД
НАФТОГАЗОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

Вивчено реакції озонування йодид-іонів в мінералізованих водах з бромом, іонами заліза, що дозволило встановити закономірності зміни ступеня утворення йоду від кислотності, мінералізації води, зміни концентрації цих іонів, часу озонування і молярно-іонного відношення реагентів: зі збільшенням часу озонування ступінь освіти йоду спочатку збільшується, досягає максимального значення в даних умовах, а потім зменшується. Аналогічні закономірності спостерігаються при зниженні кислотності середовища, зміні концентрації йодид-іонів і збільшення молярно-іонного відношення. Встановлено, що зі збільшенням контактної поверхні фаз збільшується ступінь утворення йоду, що свідчить про масообмін як граничну стадію процесу озонування. Створено ряд необхідних статистичних математичних моделей, оцінена швидкість реакції озонування. За результатами дослідження отримані результати, які можуть бути використані для створення більш екологічно безпечної технології отримання йоду з попутно-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ

Ключові слова: час, концентрація, йод, озонування, мінералізація, вода.

Н. Н. НЕМЕЦ, А. П. МЕЛЬНИК, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, А. Д. НЕМЕЦ

**О ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЙОДА ИЗ ПОПУТНО-ПЛАСТОВИХ ВОД
НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Изучены реакции озонирования йодид-ионов в минерализованных водах с бромом, ионами железа, что позволило установить закономерности изменения степени образования йода от кислотности, минерализации воды, изменения концентрации этих ионов, времени озонирования и молярно-ионного отношения: с увеличением времени озонирования степень образования йода сначала увеличивается, достигает максимального значения в данных условиях, а затем уменьшается. Аналогичные закономерности наблюдаются при снижении кислотности среды, изменении концентрации йодид-ионов и увеличении молярно-ионного отношения. Было установлено, что с увеличением контактной поверхности фаз увеличивается степень образования йода, что свидетельствует о массообмене как предельной стадии процесса озонирования. Создан ряд необходимых статистических математических моделей, оценена скорость реакции озонирования. По результатам исследования получены результаты, которые могут быть использованы для создания более экологически безопасной технологии получения йода из попутно-пластовых вод нефтегазоконденсатных месторождений.

Ключевые слова: время, концентрация, йод, озонирование, минерализация, вода.

N. M. NIEMETS, A. P. MELNYK, T. V. BRUSENCEVA, O. D. NIEMETS

**ON THE TECHNOLOGY FOR PRODUCING IODINE FROM OILFIELD PRODUCED WATER
OF OIL-AND-GAS CONDENSATE FIELDS AND ENVIRONMENTAL SAFETY**

The study of the ozonation reaction of iodide ions in mineralized waters with bromine, iron ions has established patterns of change in the degree of iodine formation from acidity, water mineralization, changes in the concentration of these ions, ozonation time, and molar-ion ratio of the reactants. In the above privacy, with increasing ozonation time, the degree of iodine formation first increases, reaches a maximum value under the given conditions, and then decreases. Similar patterns are observed with a decrease in the acidity of the medium, a change in the concentration of iodide ions, and an increase in the molar-ion ratio. It was found that with an increase in the contact surface of the phases, the degree of formation of iodine increases, which indicates mass transfer as a limiting stage of the ozonation process. Based on the experimentally found changes in the reagent concentration, the ozonation rate was estimated. The results of the study can be used to create a more environmentally friendly technology for the extraction of iodine from oilfield produced water of oil-and-gas condensate fields. A simplified scheme for producing iodine is proposed.

Keywords: time, concentration, iodine, ozonation, mineralization, water

Вступ. Здійснювати скиди супутньо-пластових вод (СПВ) газоконденсатних і нафтових родовищ в ріки та ґрунти не допустимо тому, що тільки по державах СНД їх обсяг досягає 100 км³ в рік, що створює загрозливу ситуацію для навколишнього середовища. В [1], вказано, що супутньо-пластові води, які надходять на поверхню разом з нафтою газом можуть бути джерелом для виробництва йоду, бромю та інших речовин. Відомо, що вміст йоду в супутніх водах нафтових і газових родовищ змінюється в межах 10–120 мг/л, з якого 90–95 % складають йодиди [2]. Світове виробництво йоду знаходиться на рівні 30 тис. т/рік, що не покриває необхідні світові потреби. В Україні виробництво йоду відсутнє. Під час розробки вітчизняних газоконденсатних родовищ (ГКР) разом з вуглеводнями видобуваються СПВ, які відносяться

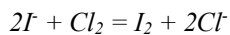
до побічних продуктів технології видобування вуглеводнів і повинні повертатись у надра без надання шкоди навколишньому середовищу та основному виробництву. В Україні такі води повертають в глибокі горизонти [3]. Аналізом складу СПВ вітчизняних ГКР встановлено, що концентрація йодид-іонів, в основному, знаходиться в інтервалі 10–100 мг/л. Низька концентрація розчинів зумовлює необхідність розробки як відповідних технологій вилучення йоду і повернення їх в пласт, так і оперативних методів контролю компонентного складу. За відомими технологіями йод вилучають з концентрованих розчинів з використанням екологічно і корозійно небезпечних хлорноводневої чи сульфатної кислот, хлору чи гіпохлориту натрію, двоокису сірки.

© Німець Н.М., Мельник А.П., Брусенцева Т.В., Німець А.Д., 2019

Таким чином створення більш екологічно безпечних технологій вилучення йоду при його низькій концентрації в розчинах і повернення СПВ у пласт є актуальною проблемою.

Одним із завдань проблеми є розробка технології повернення СПВ у пласт після вилучення йоду без використання шкідливих реагентів і зниження токсичних викидів. Відомо, що йодид-іони можуть перетворюватись в йод при взаємодії з озоном. Технологія вилучення йоду з СПВ ГКР – не розроблена, в зв'язку з відсутністю даних щодо технологічних параметрів процесу.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Відомі технології повернення СПВ у пласт полягають в тому, що після відділення природного газу, газового конденсату чи нафти їх збирають в емності і після оцінки компонентного складу на сумісність з водами пласта колектора, доставляють на пункти для повернення їх в пласт через нагнітальні свердловини, проблемними питаннями є позбавлення механічних домішок та іонів заліза (II), що досягається шляхом відстоювання [3]. Недоліком таких технологій є те, що в них не передбачено використання цінних видобутих з підземних горизонтів речовин, зокрема йоду. Діюча промислова технологія одержання йоду з бурових вод [4] полягає в окисленні йодиду в попередньо підкисленій воді до величини $pH \approx 2$ хлорводневою чи сульфатною кислотою до елементарного йоду (хлором або хлорованою водою). При дії хлору протікає реакція



і у воді з'являється молекулярний йод, який сильним потоком повітря з домішкою туману SO_2 видувається з води в газову фазу. Цю газову суміш подають в скруббер з розчином відновлювача (Na_2SO_3), де йод перетворюється в іон I^- та концентрується до вмісту ≥ 30 г/л. Концентрат повторно окислюють хлором з наступним виділенням йоду фільтрацією. Потім йод очищають від органічних домішок. Необхідно відмітити те, що при нейтралізації підкислених вод сульфатною кислотою випадають трудно розчинні сульфати кальцію, барію, а витрати кислоти в залежності від лужності можуть досягати до 1000 кг на 1 кг йоду. Відомо [4] використання озону як окислювача у слабо кислому середовищі і насиченні бурової води CO_2 . Озон до води з величиною pH 7–8 подають в такій кількості, щоб всі йодид-іони окислились до йодат-іонів. Після чого додають корозійно агресивну сульфатну кислоту та 4–5 таких же об'ємів не окисненої вихідної бурової води. Йодиди реагують з йодатами з утворенням йоду. Недоліки таких технологій полягають в тому, що при їх здійсненні використовують ряд корозійно агресивних речовин. Використання для окислення йодидів пероксиду водню з наступною екстракцією йоду трибутилфосфатом також не знайшло розвитку в зв'язку з застосуванням дорогих реагентів [5].

Відомо [6] вилучення йоду з бурових вод шляхом обробки попередньо підкисленої води повітрям з ініціатором окиснення озоном у присутності солі двовалентного заліза. Концентрація озону в повітрі 0,5–1,1 мг/л.

Мета і задачі дослідження

На даний час відсутні доступні дані щодо впливу технологічних параметрів, як основи створення екологічно безпечних технологій, на ступінь утворення йоду озонуванням СПВ з метою його вилучення і оцінки повернення вод в пласт. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- встановити закономірності впливу часу озонування СПВ, мольно-іонного відношення реагентів на ступінь утворення йоду;
- в'яяснити вплив кислотності (pH) і мінералізації (M) середовища, концентрації іонів йоду (I^-) і заліза (Fe^{2+}), поверхні контакту між фазами;
- оцінити швидкість реакції перетворення йодид-іонів в йод.

1. Використані матеріали, обладнання і методи аналізу.

Для досліджень використано модельні суміші СПВ, до складу яких входять, мг/л: I^- – 10–90, бромід-іонів 800, хлориду натрію 200000, Fe^{2+} – 0–66. Для забезпечення необхідних концентрацій I^- іонів використано KI марки х.ч., бромід-іонів KBr марки х.ч., Fe^{2+} - іонів $FeSO_4$ марки ч., хлорид натрію марки ч. Для одержання озоноповітряної суміші використано озонатор типу GL продуктивністю $6,63 \cdot 10^{-2}$ м³/год з концентрацією озону $6,28 \cdot 10^{-2}$ г-моль/м³. Озонування СПВ здійснено з використанням циліндричного реактору, який обладнано диспергуючим пристроєм. В реактор завантажують 100–400 мл СПВ і через диспергатор подають протягом заданого часу озоноповітряну суміш. В реакційній суміші визначають концентрацію йоду титруванням гіпосульфитом натрію згідно [7]. Ступінь утворення йоду (CU) визначають як відношення поточної концентрації йоду до теоретично можливої концентрації при повному перетворенні йодид-іонів в йод.

2. Результати досліджень впливу технологічних параметрів на озонування СПВ

В зв'язку з тим, що практично на всіх родовищах у природному газі присутній двоокис вуглецю, СПВ також насичені цим компонентом. Тому кислотність води може змінюватись за величиною pH від $\approx 3,5$ до 6,5–7,0. Виходячи з цього, дослідження впливу часу обробки СПВ озоном здійснено (рис. 1) при різних величинах початкової кислотності H_o (C_n , г-іон/л; $KЧ$, мг KOH /л, де C_n – концентрація іонів водню, $KЧ$ – кислотне число): 3,78 ($1,659 \cdot 10^{-4}$; 9,31), 5,86 ($1,38 \cdot 10^{-6}$; 0,077) і 6,26 ($5,495 \cdot 10^{-7}$; 0,03).

Для порівняння наведено результати озонування у відсутності кислотності.

З рис. 1 видно, що збільшення часу обробки зумовлює збільшення ступеня утворення йоду, а його максимум при найнижчій кислотності настає в інтервалі 150–200 с і з часом починає знижуватись. Зменшення кислотності до 5,86 і 6,26 зумовлює зміщення максимуму утворення йоду в інтервал 200–250 с (рис. 1). Необхідно відмітити те, що при збільшенні кислотності після 200 с реакції

відбувається помітне зменшення концентрації йоду і, відповідно, зменшення ступеня утворення йоду. При цьому отримані залежності описуються рівняннями регресії з коефіцієнтом кореляції в межах 0,985–0,992, що може бути використано для прогнозування і корегування процесу озонування.

У слабколужному середовищі спочатку також спостерігається накопичення йоду, як в кислотних середовищах, а через певний час – очевидна тенденція до його зниження.

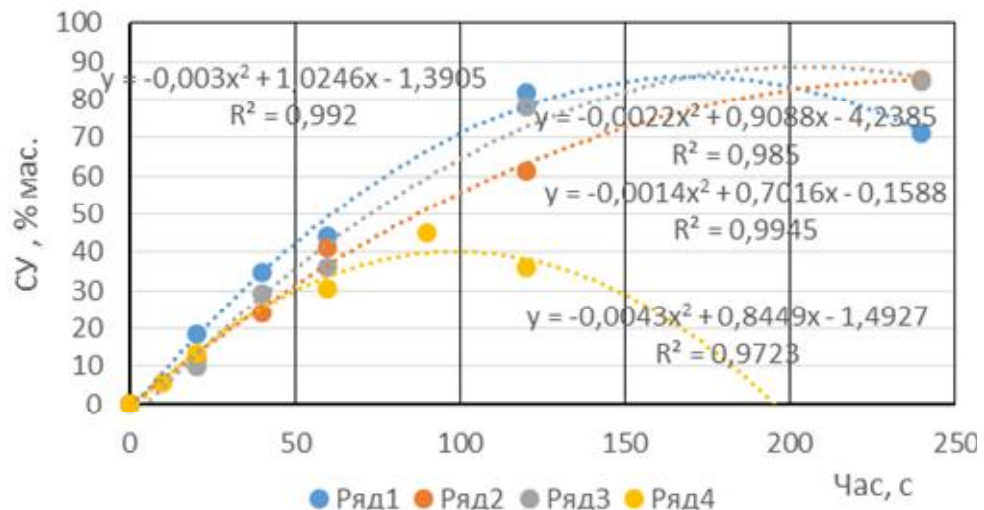


Рис. 1. Залежності ступеня утворення йоду (CY) від часу озонування і кислотності, де:

1 – pH₀=3,78; 2 – pH₀=5,86; 3 – pH₀=6,26; 4 – pH₀=7,3

Вивчення змін ступеня утворення йоду від часу при зміні мінералізації від 10 г/л до 200 г/л (рис. 2) вказує на те, що з часом ступінь утворення йоду зростає, досягаючи при різних мінералізаціях певного максимуму, який спостерігається через ≈ 200–250 с. При цьому найбільший ступінь утворення йоду отримано при більшій з досліджених мінералізацій.

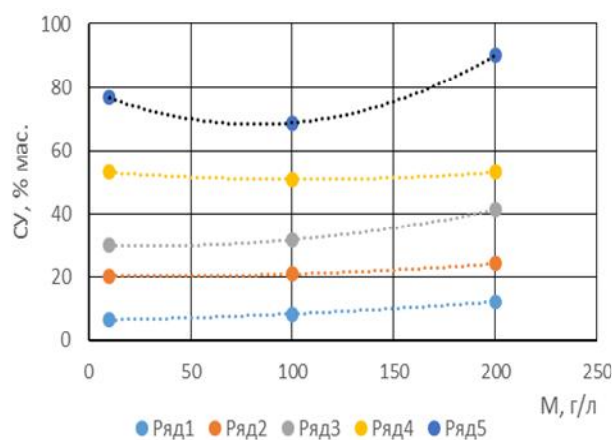


Рис. 2. Зміни ступеня утворення йоду (CY) від мінералізації і часу озонування, с: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 120; 5 – 240.

З співставлення ступеня утворення йоду при зміні мінералізації випливає те, що за один і той же час озонування збільшення мінералізації зумовлює майже лінійні зміни ступеня утворення в інтервалі 20–60 с (рис. 2).

Збільшення часу озонування до 120–240 с зумовлює чітку нелінійну залежність між ступенем утворення йоду і змінами мінералізації (M), яка характеризується мінімумом при мінералізації 100 г/л (рис. 2).

Ознаки такого мінімуму присутні і при меншому часі озонування. При цьому у всіх випадках більший ступінь утворення йоду спостерігається через 240 с озонування.

При змінах концентрації йодид-іонів (рис. 3) залежності CY від часу озонування характеризуються максимумами, які зміщуються при збільшенні концентрації іонів J⁻ в сторону збільшення часу обробки. Тобто збільшення концентрації потребує більшого часу для того, щоб досягнути максимального значення CY.

Аналіз змін CY від мольно-іонного відношення реагентів (рис. 4) свідчить про те, що при концентраціях J⁻-іонів 10–70 мг/л на початку процесу озонування спостерігаються лінійні залежності.

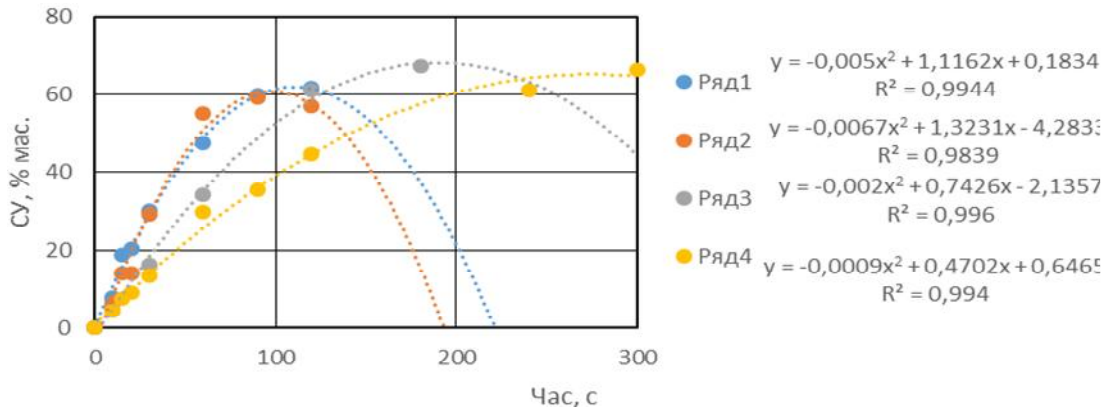


Рис. 3. Зміни ступеня утворення йоду (CY) від часу при зміні концентрації J-, мг/л: 1 – 10; 2 – 30; 3 – 50; 4 – 70

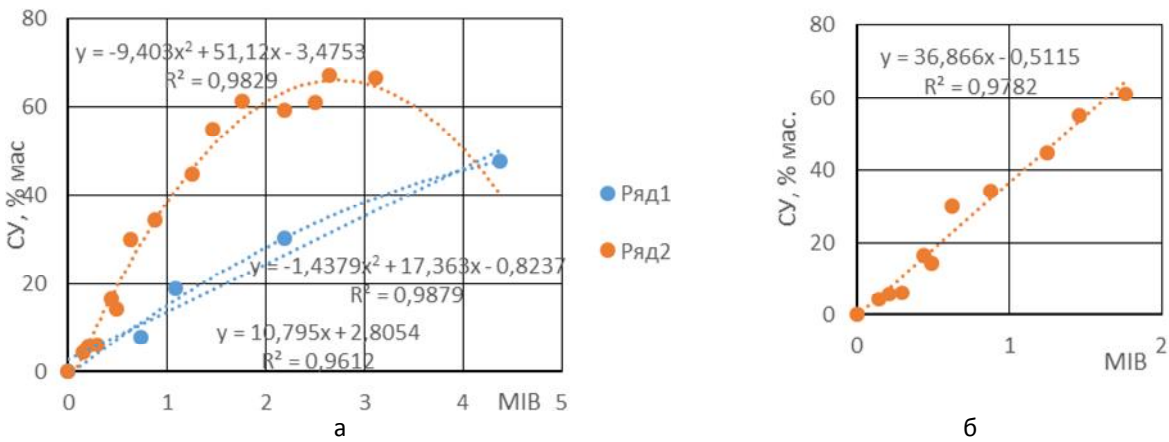


Рис. 4. Зміни ступеня утворення (CY) від мольно-іонного відношення (MIB) при концентрації J- 10 мг/л (1) і 30-50-70 мг/л (2) – (а) та тільки при концентрації 30-50-70 мг/л (б)

При цьому при концентрації йоду 10 мг/л лінійна і нелінійна залежності майже збігаються, тому що коефіцієнти апроксимації дорівнюють 0,9612 і 0,9879, відповідно. Збільшення їх концентрації до 30–70 мг/л зумовлює відхилення від лінійної закономірності. В той же, якщо при концентраціях йодид-іону 30–70 мг/л величину MIB підтримувати до ≈ 2 , то спостерігається лінійна залежність між MIB і CY (рис. 4б).

З врахуванням того, що максимум на залежності (рис. 4а) розпочинається з $MIB > 2$, то таку спрощену залежність можна використовувати для прогнозування ступеня утворення йоду при витратах

озону, які забезпечують $MIB \leq 2$.

Співставлення і аналіз результатів дослідження. На основі досліджень впливу часу озонування і мінералізації на ступінь утворення йоду (рис.2) створено математичну статистичну модель

$$CY = (a_1 - a_2)M^2 - (a_3t - a_4)M + (a_5t + a_6),$$

яка адекватно з середнім відхиленням 3 % абс. описує експериментальні дані (табл.1), де t – час озонування, с; M – мінералізація, г/л; $a_1 - 7E-6$; $a_2 - 0,0002$; $a_3 - 0,0013$; $a_4 - 0,0614$; $a_5 - 0,2869$; $a_6 - 12,726$.

Таблиця 1. Співставлення експериментальних (е) і розрахункових (р) величин ступеня утворення йоду при змінах часу озонування і мінералізації води

| Час, с | Ступінь утворення йоду, % мас. при мінералізації, г/л | | | | | | | | |
|--------|---|------|------|---------|------|-----|---------|------|-----|
| | 10 г/л | | | 100 г/л | | | 200 г/л | | |
| | e | p | Δ | e | p | Δ | e | p | Δ |
| 20 | 6,3 | 17 | 10,7 | 8,2 | 14,3 | 6,1 | 12,0 | 9,0 | 3,0 |
| 40 | 20,3 | 21,9 | 1,6 | 20,9 | 25,9 | 5,0 | 24,1 | 25,8 | 1,4 |
| 60 | 29,8 | 29,7 | 0,1 | 31,7 | 30,5 | 1,2 | 42,1 | 41,2 | 0,9 |
| 120 | 68,8 | 71,3 | 2,5 | 50,8 | 44,1 | 6,7 | 53,0 | 53,8 | 0,8 |
| 240 | 76,6 | 79,1 | 2,5 | 68,8 | 71,3 | 2,5 | 90,1 | 90,6 | 0,5 |

Примітка: Δ - відхилення визначено як $[e-p]$.

Таблиця 2. Співставлення експериментальних (е) і розрахункових (р) величин ступеня утворення йоду (СУ) при змінах мольно-іонного відношення (МІВ) озон: J і концентраціях іонів J 30, 50, 70 мг/л.

| МІВ | Ступінь утворення йоду, % мас., при концентраціях J , мг/л | | | | | | | | |
|-------|--|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|
| | 30 | | | 50 | | | 70 | | |
| | е | р | Δ | е | р | Δ | е | р | Δ |
| 0,146 | | | | 4,4 | 3,9 | 0,5 | | | |
| 0,208 | | | | | | | 5,9 | 6,7 | 0,8 |
| 0,293 | 6,3 | 10,7 | 4,4 | | | | | | |
| 0,44 | | | | 16,5 | 17,3 | 0,8 | | | |
| 0,486 | 14,3 | 19,1 | 4,8 | | | | | | |
| 0,625 | | | | | | | 29,9 | 24,9 | 5,1 |
| 0,88 | | | | 34,3 | 34,2 | 0,1 | | | |
| 1,25 | | | | | | | 44,8 | 45,7 | 0,9 |
| 1,459 | 55,0 | 51,1 | 3,9 | | | | | | |
| 1,76 | | | | 61,2 | 57,4 | 3,8 | | | |
| 2,19 | 59,3 | 63,4 | 4,1 | | | | | | |
| 2,5 | | | | | | | 61,1 | 65,5 | 4,4 |
| 2,64 | | | | 67,2 | 65,9 | 1,3 | | | |
| 3,12 | | | | | | | 66,5 | 64,5 | 2,0 |

Примітка: Δ - відхилення визначено як $[e-p]$.

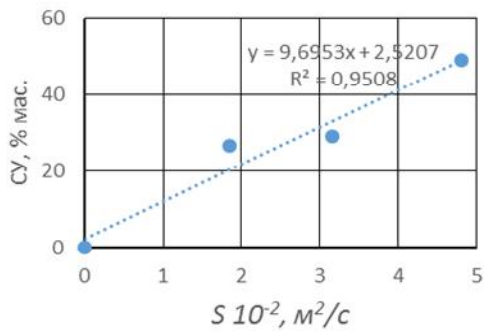


Рис. 5. Залежність ступеня утворення йоду (CY) від поверхні контакту фаз (S)

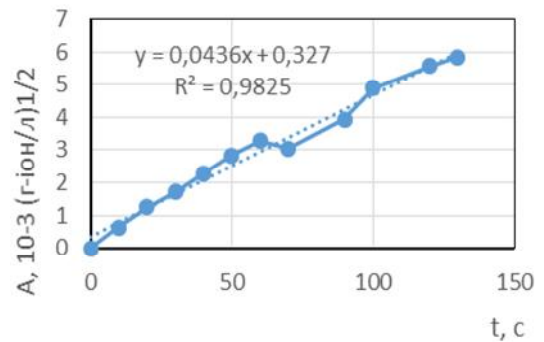


Рис. 6. Залежність $[Jo]^{0.5} - [J]^{0.5}(A)$ від часу озонування (t)

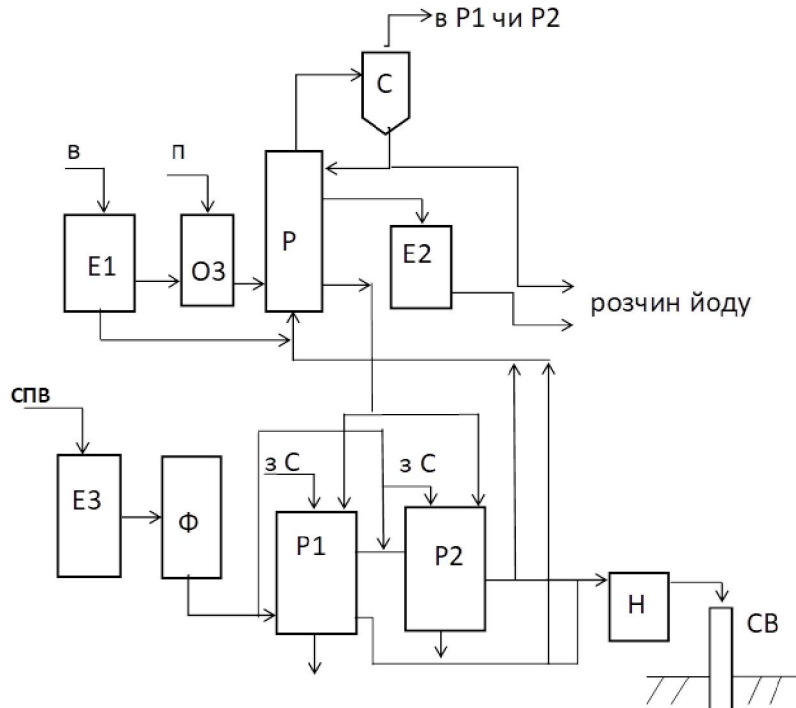


Рис. 7. Спрощена схема одержання йоду і перетворення іонів заліза озонуванням при поверненні супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ.

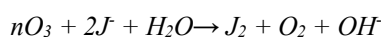
На основі змін ступеня утворення йоду у рідинній фазі від МІВ та концентрації іонів йоду 30–70 мг/л (рис. 4) знайдено рівняння

$$CY = a \cdot \text{MIB}^2 + b \cdot \text{MIB} + c,$$

де $a = -9,403$; $b = 51,1$; $c = -3,473$, розрахунки за яким ступеня утворення йоду узгоджується з експериментальними результатами з відхиленнями в межах 0,1–5,1 % при середній величині 2,6 % (табл. 2).

Оцінка впливу поверхні (S) контакту між фазами (рис. 5) свідчить про те, що із її збільшенням збільшується ступінь утворення йоду, а з врахуванням низької концентрації озону у повітрі – про те, що лімітуючою стадією процесу озонування може бути масоперенесення, зокрема дифузія озону в рідину фазу.

При припущенні, що абсорбований озон повністю реагує з J^- -іоном, швидкість поглинання озону рівна швидкості витрачання J^- -іону, константу швидкості реакції можна оцінити по J^- -іону [8], як це здійснено в [9]. Тоді швидкість (V) реакції:



можна записати як:

$$V = n \cdot (dJ/dt) = [O_3] a (D_{O_3} k J_0)^{0,5},$$

яке після інтегрування набирає вид лінійного рівняння (рис. 6)

$$(J_0^-)^{0,5} - (J^-)^{0,5} = \{ [O_3] a (D_{O_3} k)^{0,5} \} t = Kt,$$

де J_0^- , J^- , відповідно початкова і поточна концентрація J^- іонів, $[O_3]$ – концентрація озону, a – поверхня контакту, D_{O_3} – коефіцієнт дифузії озону, k – константа швидкості реакції другого порядку.

Обробка експериментальних результатів згідно цього виразу свідчить про те, що одержана залежність – лінійна (рис. 6). Це дає підставу говорити про те, що реакція озонування може підпорядковуватись закономірностям реакцій другого порядку. А знайдений коефіцієнт K дозволяє оцінити константу швидкості такої реакції згідно виразу $k^{0,5} = K / ([O_3] a D_{O_3}^{0,5})$.

Знайдену таким методом константу швидкості реакції оцінено величиною $7 \cdot 10^7$ г-моль/м³с. Це підтверджує те, що реакція взаємодії озону з іоном J^- відбувається дуже швидко та узгоджується з даними [9], а сам процес озонування визначається дифузиею озону, оскільки його коефіцієнт дифузії у воді складає 1,74 м²/с, а в повітрі – 0,178 см²/с при коефіцієнті масовидчання озону у воду $2,8 \cdot 10^{-4}$ м/с [10].

На основі цих і попередньо одержаних результатів [11, 12] запропоновано спрощену схему повернення СПВ у пласт з вилученням йоду (рис. 7:

E1 – ємність вуглеводнів, E2 – ємність для розчину йоду, E3 – ємність СПВ, Н – насоси високого тиску, ОЗ – озонатор, Р – реактор озонування, P1 і P2 – резервуари очищених СПВ, С – сепаратор, СВ – свердловина, в – вуглеводні з установки комплексної підготовки газу, п – повітря).

Отримані результати за проведеними дослідженнями можуть бути використані для навчання студентів Навчально-наукового інституту хімічної технології та інженерії [13–16].

Висновки

1. Дослідженнями встановлено, що у більшості залежності змін ступеня утворення йоду під впливом часу, кислотності, мінералізації, концентрації іонів йоду можна віднести до залежностей з екстремумами.

2. Знайдено математичні статистичні моделі, які адекватно з допустимими відхиленнями описують зміни ступеня утворення йоду від мінералізації, часу озонування, мольно-іонного відношення реагентів.

3. За знайденою величиною константи швидкості реакцію озонування можна віднести до миттєвих реакцій.

4. Одержані результати щодо утворення йоду озонуванням супутніх газовидобуванню мінералізованих вод з йодид-іонами можуть бути використані для створення ефективної більш екологічно безпечної технології в порівнянні з відомими.

Список литературы

1. Воронов А.Н., Тудвачев А.В. Извлечение промышленных компонентов из попутных нефтяных вод. // arkad@av3011.spb.edu, tudvachev@dhsppb.ru. 2014.
2. Басков Е.А., Суриков С.Н. / Гидротермы Земли. –Л.: Недра, 1989. 245 с.
3. Подземное захоронение сточных вод на предприятиях газовой промышленности / Гаев А.Я. – Л.: Недра, 1981. 166 с.
4. Ксензенко В.И., Стасиневич Д.С. // Химия и технология брома, йода и их соединений. М.: Химия, 1995, 300 с.
5. Киеклав М. А. Способ извлечения йода / М.А. Киеклав, П.А. Пономарева, Э.В. Строева // Авт. свид. 1161459, С 01 В 7/14, оп. 15.06.85, БИ 22. yandex.ua/images.
6. Власов Г.А. Способ извлечения йода из буровых вод / Г.А.Власов, Н.Д. Бушина, Г.И.Буравцева, Л.В. Мухаметшина // RU 2186721. С01В7/14. публ.2002. freepatent.ru/patents/2186721.
7. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. / Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1990, с. 262–269.
8. J. Beltran-Heredia, J. Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
9. 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.
10. 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.
11. Немец Н.Н. О превращении йодид-ионов попутно-пластовых вод газоконденсатных месторождений в йод под воздействием озона. Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження в наукових роботах, Харків, 2016. №16 (1191), с. 14–18.
 12. 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.
 13. 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 «ХП». Х.: НТУ «ХП», 2019. №15 (1340), с. 42–50.
 14. 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.
 15. 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.
 16. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.
 17. 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.
 - Muhametshina // RU 2186721. C01B7/14. publ.2002.freepatent.ru>patents/2186721.
 7. Reznikov A.A., Mulikovskaja E.P., Sokolov I.Ju. / Metody analiza prirodnyh vod. M.: Nedra, 1990, с. 262–269.
 8. J.Beltran-Heredia, J.Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
 9. 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.
 10. Hudoshin A.G. Reakcii ozona s model'nymi soedinenijami lignina v voshodjashhemo dvuhfaznom potoke // A.G. Hudoshin, A.N. Mitrofanova, V.V. Lunin. MGU im. M.V. Lomonosova / khudoshin.files.mordpress.com>2014/12.
 11. Nemes N.N. O prevrashhenii jodid-ionov poputno-plastovyh vod gazokondensatnyh mestorozhdenij v jod pod vozdejstviem ozona. Visnik NTU «HPI». Serija: Innovacijni doslidzhenja v naukovih robotah, Harkiv, 2016. №16 (1191), pp. 14–18.
 12. Nimec' N. M., Mel'nik A.P., Podustov M.O. Ekologichna bezpeka suput'no-plastovyh vod i oderzhannja jodu. Visnik HNU im. V.N. Karazina. Serija «Geologija. Geografija. Ekologija». – Harkiv, 2016. Vip.45, с. 159–168.
 13. Nimec' N.N., Brusenceva T.V., Nimec' O.D. Pidvishhennja ekologichnoї bezpeki vidobuvannja vuglevodniv shljahom vivchennja sumisnosti suput'no-plastovyh vod pri povnennni v nadra. Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI», 2019. №15 (1340), pp. 42–50.
 14. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. 832 p.
 15. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. 352 p.
 16. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 456 p.
 17. Tovazhnjanskij L.L., Kosheleva M.K., Bukhhalo 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)

Надійшла (received) 19.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

Мельник Анатолій Павлович (Мельник Анатолий Павлович, Melnyk Anatoly Pavlovich) – професор, 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 Volodimirivna) – начальник сектору філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна.

Німець Олександр Дмитрович (Немец Александр Дмитриевич, Niemets Oleksandr Dmitrievich) – студент, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна.

В. М. БАБЕНКО, І. О. ЛАВРОВА, К. ШЕВЧЕНКО, О. ТРОЦЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ГАЗОРІДИННОЇ СИСТЕМИ КОЛОННОГО АПАРАТУ ЗІ СТАБІЛІЗАТОРОМ ПІННОГО ШАРУ

У статті представлені дослідження особливостей роботи газорідинної системи колонного апарату: розглянуті питання, пов'язані з конструктивними особливостями колонних апаратів, які дозволяють збільшити висоту пінного шару на сітчастих решітках апаратів, не збільшуючи при цьому ні навантаження по рідині, ні швидкість газового потоку. Розроблені нами технічні рішення дозволяють отримувати хороші показники для широкого діапазону навантажень по рідині і газу. Описані в статті методи розрахунку повністю підтверджують експериментальні дослідження і добре корелюють з раніше проведеними дослідженнями.

Ключові слова: колонні апарати, газо-рідинні системи, пінний шар, сітчасті грати.

В. Н. БАБЕНКО, И. О. ЛАВРОВА, К. ШЕВЧЕНКО, А. ТРОЦЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЫ КОЛОННОГО АППАРАТА СО СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЕННОГО СЛОЯ

В статье представлены исследования особенностей работы газожидкостной системы колонного аппарата: рассмотрены вопросы, связанные с конструктивными особенностями колонных аппаратов, которые позволяют увеличить высоту пенного слоя на сетчатых решетках аппаратов, не увеличивая при этом ни нагрузку по жидкости, ни скорость газового потока. Разработанные нами технические решения позволяют получать хорошие показатели для широкого диапазона нагрузок по жидкости и газу. Описанные в статье методы расчета полностью подтверждают экспериментальные исследования и хорошо коррелируют с ранее проведенными исследованиями.

Ключевые слова: колонные машины, газо-жидкостные системы, пенный слой, сетчатые решетки.

V. N. BABENKO, I. O. LAVROVA, K. SHEVCHENKO, O. TROZENKO

STUDY PECULIARITIES OF OPERATION A GAS-LIQUID SYSTEM OF A COLUMN APPARATUS WITH A FOAM LAYER STABILIZER

The article presents the study of the features of the gas-liquid system of the column apparatus: issues related to the design features of column apparatuses are considered. They allow you to increase the height of the foam layer on the mesh lattices of the apparatus, without increasing at the same time neither the load on the liquid nor the gas flow rate. Questions, related to the structural features of columnar vehicles which allow to increase the height of foamy layer on the mesh lattices of vehicles, are considered in the article, here, not increasing speed of gas stream. Developed by us a contact element has good indexes for the wide range of loadings on a liquid and gas. The methods of calculation described in the article fully confirm experimental researches and well correlate with the before conducted researches

Keywords: columnar vehicles, gas-liquid systems, foam layer, wire mesh.

Вступ. Пінний режим і пінні апарати «класичного» типу [1, 2], потребують інтенсифікації робочих режимів з метою розробки апаратів зі стабілізатором пінного шару. Такі апарати знайшли широке застосування для уловлювання пилу з газів і для абсорбції газів в хімічній і суміжних галузях промисловості. Завдяки своїй високій ефективності, великій одиничній потужності, гарним експлуатаційним якостям, їх застосування дозволяє удосконалити стадії очищення газу в технологічних і санітарних цілях, збільшити коефіцієнт корисної дії та підвищити надійність газоочисного устаткування. Промислова реалізація такого методу стабілізації газорідинного шару значно розширює сферу застосування пінних апаратів і відкриває нові можливості інтенсифікації технологічних процесів з одночасним створенням маловідходних технологій. Одним з основних показників гідродинамічних режимів роботи пінного апарату служить висота піни – висота піни містить інформацію про гідродинамічні і конструктивні параметри апарату, а також дозволяє судити про розвиток поверхні контакту фаз.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Робота колонного апарату залежить від великої кількості параметрів, але одним з основних показників гідродинамічних режимів роботи пінних апаратів є висота піни H . Автори низки робіт [1–4, 6–8] підкреслюють, що висота піни залежить, в основному, від швидкості газового потоку W . Введення в систему стабілізатора пінного шару сприяє зростанню діапазону навантажень по газу і, як наслідок, підвищенню надійності та ефективності системи в цілому. Від висоти пінного шару залежать конструктивні параметри апарату, вона також характеризує ступінь розвиненості поверхні контакту фаз. Проте, крім висоти, важливою є однорідність шару, що утворюється з мінімальними витратами енергії.

Не менш важливим чинником роботи апарату є газовміст. Як відзначають більшість авторів [2–8], на величину газовмісту (φ_2) впливають швидкість газу

© Бабенко В.М., Лаврова І.О., Шевченко К, Троценко О., 2019

в повному перетині апарата, густина зрошення й фізичні властивості рідини. Тому, наші дослідження були проведені залежно від цих параметрів. Крім того, як показав експеримент, внесення стабілізатора в шар змінює його газовміст. Це видно з рис. 1.

Зміна газовмісту виявляється істотною при збільшенні швидкості газу до 2,5 м/с. Якщо при малій швидкості газу різниця газовмісту для апарата зі стабілізатором і без нього була біля 5–6%, то при $W_r=2,5$ м/с ця різниця сягає 10%, що досить істотно, якщо врахувати, що величина газовмісту при цій швидкості досягає значень 0,75. Існує думка, що збільшення газовмісту приводить до збільшення поверхні контакту фаз і до очевидного у зв'язку з цим збільшення ефективності роботи колонного устаткування. У певних межах це так, але було відзначено, що питома об'ємна поверхня контакту фаз [3, 4], росте до швидкостей газу $W_r = 2,0-2,2$ м/с, а потім зменшується. Тому в цьому випадку стабілізатор пінного шару, стримуючи ріст газовмісту, дозволяє зрушити точку максимальної ефективності, на кривій $\varphi_a = f(W_a)$ збільшуючи геометричну поверхню контакту фаз і відіграючи позитивну роль. Це твердження справедливо для більших, більше 2,5 м/с, наведених швидкостей W_r ,

але після проведених експериментів виявилось вірним і при $W_r = 0,7-1,5$ м/с. Крім самого факту наявності стабілізатора, деякий вплив на розподіл газомісту має його розташування в шарі по висоті. У нашій експерименті стабілізатор перебував на відстані 15 мм над тарілкою. Та частина пінного шару, де перебуває стабілізатор, ущільнюється. Це особливо помітно при збільшених, у порівнянні з робочими, витратах рідини.

На рис. 1 і 3 ми спостерігаємо, як змінюється газовміст в стабілізаторі (рис. 2) пінного шару при різних навантаженнях. Видно, що у верхній частині стабілізатора, при критично низьких навантаженнях по газу піни практично немає, але вона ще спостерігається в нижній і середній частині стабілізаційного блоку.

В чарунках стабілізатора піна спостерігається навіть при провалі рідини на тарілки. Це можна пояснити наявністю спіральних каналів, що сприяє примусовому створенню пухирців газу з діаметром, рівним перетину самого каналу. Товщина плівки змоченої поверхні стабілізатора, по наших вимірах, змінюється в межах 1,5–2,5 мм і плин її, видимо, спрямовано назустріч газовому потоку, що й веде до зміни структури шару, у тому числі й газовмісту в пристінній зоні колонного апарату.

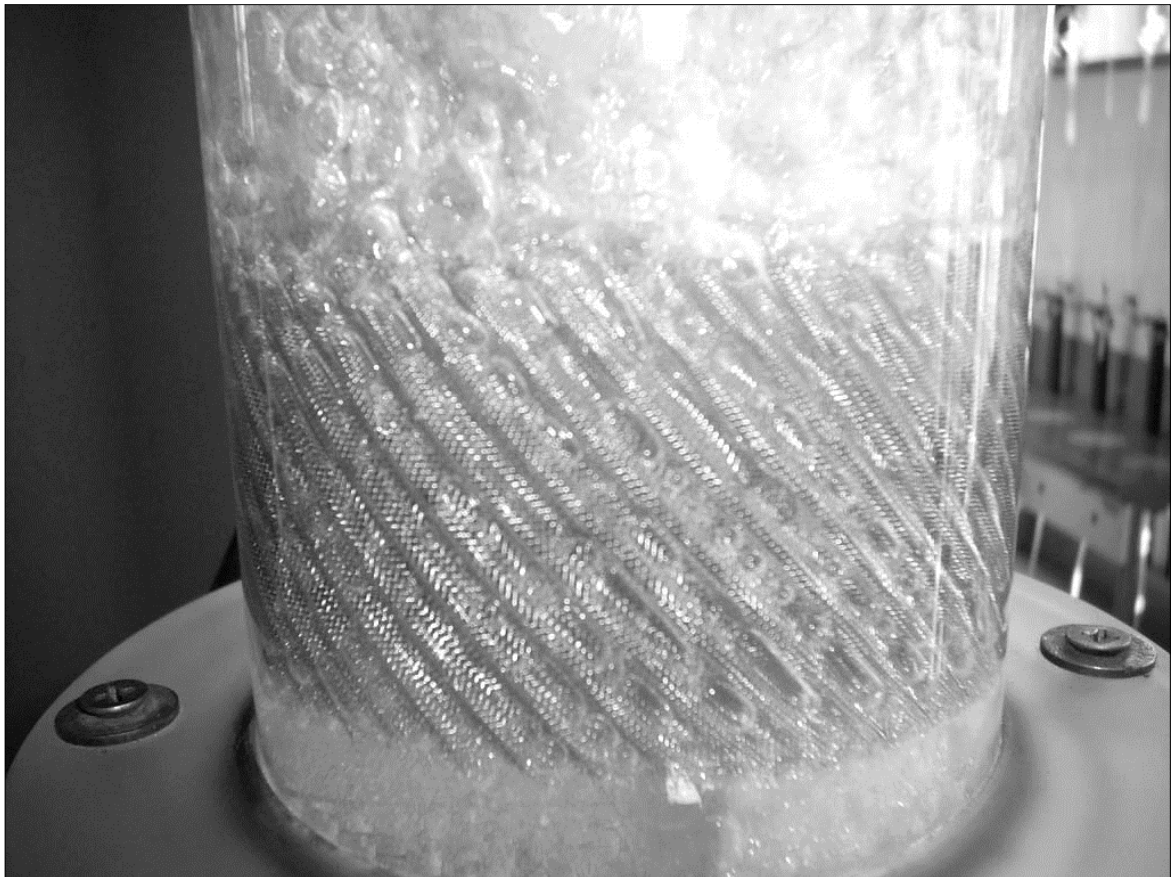


Рис. 1. Приклад зміни газовмісту в стабілізаторі пінного шару при різних навантаженнях

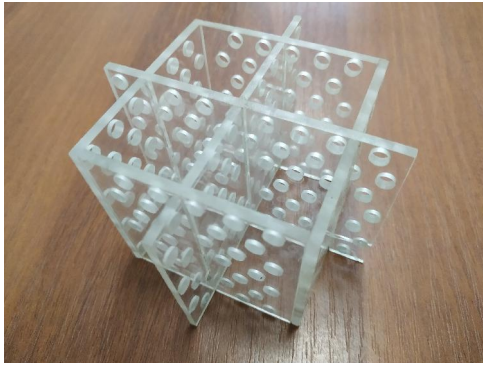


Рис. 2. Стабілізатори, використані в дослідженнях

Гідродинаміка сітчастих ґрат. Гідродинаміка сітчастих та близьких до них за характеристиками провальних ґрат без стабілізатора піни досить повно досліджена у низці робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників [1–8]. Встановлено, що основний вплив на гідродинаміку зрошуваних ґрат здійснюють швидкість газу у вільному перетині апарату W_z , вільний перетин ґрат S_0 та густина зрошування L_0 .

Зміна властивостей рідини і газу менш суттєво впливає на гідродинаміку ґрат [12–16]. Так, зміна в'язкості рідини з 0,1 до 2,3 Па·с, практично не впливає на H , ΔP , φ_z .

$$\Delta P = \left(\frac{\sigma_{жс}}{\sigma_в} \right)^{0,1} \left(\frac{\mu_{жс}}{\mu_в} \right)^{0,066} \quad (1)$$

Оскільки в більшості технологічних процесів хімічних та нафтохімічних виробництв при абсорбції та очищенні газів $\sigma_{жс}$, $\mu_{жс}$, $\rho_{жс}$ незначно відрізняються від тих же параметрів для води, а μ_z , ρ , відповідно для повітря, дослідження гідродинаміки ґрат із стабілізатором піни проводилося у моделюючій системі повітря – вода.

Очевидно, що мінімальний опір проходу газу буде при висоті рідини над отвором $h_{жс}$, а гідравлічний натиск, що викликає витікання рідини з отвору, визначається з рівняння:

$$W_{ожс} = \mu_p \cdot \varphi_{ожс} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad (2)$$

де: W_0 – швидкість рідини в отворі ґрат, м/с;

μ_p – коефіцієнт витрат через отвір.

Розв'язуючи рівняння (2), отримаємо:

$$\Delta h = \frac{1}{2g} \left(\frac{W_{ожс}}{\mu_p \cdot \varphi_{ожс}} \right)^2 \quad (3)$$

Таким чином, витікання буде відбуватися при досягненні рівності:

$$(h_{жс} + \Delta h) \cdot \rho_{жс} \cdot g = \Delta P + \Delta h \cdot \rho_{жс} \cdot g, \quad (4)$$

де: $\rho_{жс}$ – густина рідини, кг/м³; ΔP – гідравлічний опір зрошуваних сітчастих ґрат, Па

Розподіл потоків на ґратах відбувається за умови витрат мінімуму енергії на здоляння гідравлічного опору ґрат газом, або на створення різниці рівнів на ґратах.

Умову мінімуму втрат енергії зазвичай виражають у вигляді рівняння:

$$\frac{d}{d \cdot \varphi_{0,жс}} (W_{0z} \cdot \Delta P) = 0 \quad (5)$$

Під час роботи ґрат в пінному режимі при зростанні W_z та незмінній густині зрошення повинна зрости частка перетину ґрат, що зайнята газом φ_{0z} , та знизитися частка перетину, зайнята рідиною, що стікає $\varphi_{0жс}$.

Для протікання незмінної кількості рідини крізь ґрати повинна зростати швидкість витікання останньої. У свою чергу, швидкість витікання рідини може зростати тільки при зростанні Δh , тобто при зростанні гребінців хвиль на поверхні шару піни. Особливо помітним зростання Δh стає при хвильовому режимі роботи тарілки.

При визначенні нижньої межі роботи сітчастих ґрат без стабілізатора, отримане наступне рівняння:

$$W_{0z} \cdot 8,1 \cdot \left(\frac{e_{ш}}{L_0} \right)^{0,5} d_{mp}^{0,33} \quad (6)$$

Автори інших робіт для визначення верхньої та нижньої меж режимів роботи сітчастих ґрат без стабілізатора використовують залежність:

$$Y = B \cdot e^{4x}$$

$$Y = \frac{W_2}{g \cdot d_3 \cdot S_0} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_{жс}} \left(\frac{\mu_{жс}}{\mu_6} \right)^{0,16}, \quad (8)$$

$$X = \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_{жс}} \right)^{0,125}$$

де: e – основа натурального логарифму; d_3 – еквівалентний діаметр отвору; $\mu_{жс}$ – в'язкість рідини, Па·с; μ_6 – в'язкість води при 20 °С, Па·с; ρ_2 – густина газу, кг/м³; $\rho_{жс}$ – густина рідини, кг/м³; L – вагова швидкість рідини, кг/м²·год; G – вагова швидкість газу, кг/м²·год; B – коефіцієнт пропорційності.

Для нижньої межі роботи рекомендується значення $B = 4$, для верхньої $B = 16$.

Вплив властивостей рідини та газу на W_2^{KP} ілюструють залежності (2–6), якими в тому чи

іншому вигляді користуються дослідники [11,15]. Очевидно, що значно впливає на величину W_2^{KP} відношення $\rho_2 / \rho_{жс}$.

Відомо, що для початку роботи ґрат на них необхідно створити певний запас рідини. Встановлено, що сітчасті ґрати мають досить велику провалюючу спроможність. Тому для початку роботи сітчастих ґрат необхідно створити велике навантаження по газу і рідині. При певних значеннях вільного перетину ґрат необхідно створити необхідну густину зрошення, а піноутворення розпочинається тільки при досягненні певної швидкості газу в повному перетині апарату.

Мінімальну швидкість газу, при якій на ґратах починає утворюватися пінний шар, назвемо критичною швидкістю W_2^{KP} . Результати дослідів показали, що при постійній густині зрошення для початку роботи ґрат необхідна тим більша швидкість, чим більше вільний перетин ґрат.

На рис. 1 чітко видно наявність пінного шару як під, так і над стабілізатором піни, тобто W_2^{KP} вже пройдена.

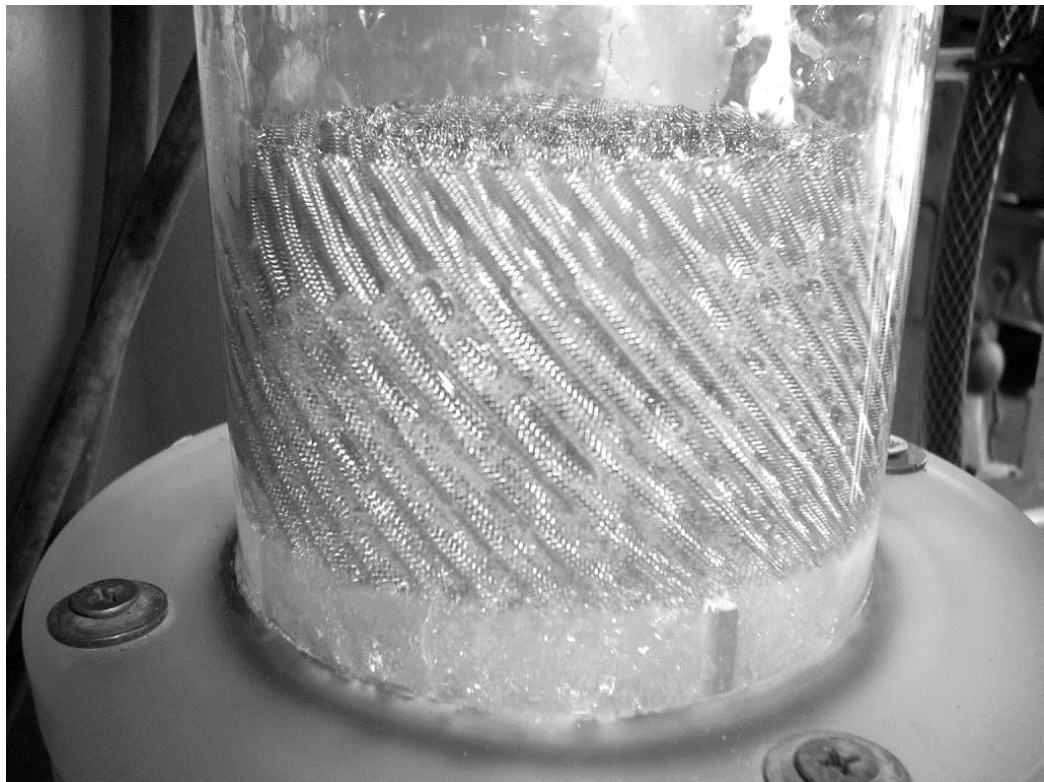


Рис. 3. Загальний стан, коли густина зрошення недостатня для створення ефективної висоти пінного шару.

На рис. 3 спостерігається стан, коли W_2^{KP} вже досягнута, але густина зрошення недостатня для створення ефективної висоти пінного шару.

Саме для такого випадку необхідний розроблений нами стабілізатор шару піни.

З рис. 3 видно, що протиточні ґрати із стабілізатором починають ефективно працювати при суттєво менших значеннях W_2^{KP} , ніж ґрати без стабілізатора. Крім того, проти точні сітчасті ґрати без стабілізатора не працюють при густині зрошення

менше $3 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$, тоді як грати із стабілізатором стабільно працюють при густині зрошення $0,6 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{год}$.

Залежність W_2^{kp} від діаметру отворів, отримана експериментальним шляхом повною мірою кореспондується із даними вітчизняних та зарубіжних дослідників [1,2]. Математична обробка даних дала залежність:

$$W_2^{kp} = 372S_0^{3,0} \cdot L_0^{0,3} \quad (9)$$

Відхилення дослідних даних W_2^{kp} від розрахованих складає $\pm 10\%$.

Порівняння режимів роботи зі стабілізаторами та без них показало, що їх використання значно розширює діапазон сталої роботи сітчастих грат в пінних апаратах.

Особливе значення ця обставина приймає при обробці технологічних газів від сушарок, реакторів та інших видів обладнання, кількість видалених газів від яких може коливатися в широких межах в залежності від потреб технології.

Гідравлічний опір сітчастих грат. Як відмічалось вище, на гідродинаміку зрошуваних грат головним чином впливають швидкість газу в повному перетині апарату, густина зрошування та вільний перетин грат.

Проведені нами дослідження висоти пінного шару та висоти вихідного шару рідини на сітчастих гратах зі стабілізатором пінні підтвердили вагомий вплив W_2 , S_0 , L_0 , d_{mp} на H , h_0 . Враховуючи отримані залежності для H , h_0 , а також дані інших авторів по розрахункам загального гідравлічного опору зрошуваних грат ΔP , можна записати для системи повітря-вода:

$$\Delta P = f(W_2, L_0, S_0, d_{mp}) \quad (10)$$

Оскільки значення H , h_0 в разі використання стабілізатора вище, ніж відповідні H , h_0 без нього, закономірно припустити, що і гідравлічний опір грат із стабілізатором буде вище опору зрошуваних грат без стабілізатора.

Для гідравлічного опору грат із шаром пінні ΔP можна записати залежність:

$$\Delta P = \Delta P_{cp} + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{cl} \quad (11)$$

де: ΔP_{cp} – гідравлічний опір сухих грат, Па;
 ΔP_{σ} – гідравлічний опір, що виникає за рахунок сил поверхневого натягу при виході газу зі щілин, Па;
 ΔP_{cl} – гідравлічний опір пінного шару.

Гідравлічний опір сухих сітчастих грат.

Гідравлічний опір сухих грат є сумою наступних витрат тиску:

- витрати на стискання струменів при вході в отвори,
- витрати на тертя в отворах,
- витрати на розширення струменів при виході з отворів.

Гідравлічний опір сітчастих грат може бути виражений залежністю:

$$\Delta P_{cp} = f(\text{Re}_0, S_0), \quad (12)$$

В свою чергу:

$$\text{Re} = \frac{W_0 d_s}{\nu_s}, \quad (13)$$

$$d_s = 2\epsilon_{щ}, \quad (14)$$

$$W_0 = \frac{W_2}{S_0}, \quad (15)$$

де: ΔP_{cp} – гідравлічний опір сухих грат; Re – критерій Рейнольда, віднесений до швидкості газу в отворах грат; d_s – еквівалентний діаметр отвору, м; ν_s – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$; $\epsilon_{щ}$ – ширина отвору в гратах, м.

З залежності (12) витікає, що на ΔP_{cp} може впливати на d_{mp} , оскільки при постійному вільному перетині грат ширина отвору може змінюватися, а в результаті буде перемінним Re_0 . Опір сухих грат можна виразити формулою:

$$\Delta P_{cp} = \xi_{0z} \frac{\rho_s W_0^2}{2}, \quad (16)$$

де; ρ_s – густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$; ξ_{0z} – коефіцієнт місцевого опору, віднесений до швидкості газу в отворах грат.

В загальному випадку коефіцієнт місцевого опору залежить від критерія Рейнольда та величини вільного перетину грат. Вигляд залежності $\xi_{0z} = f(\text{Re}_0)$ змінюється від характеру руху газу.

При ламінарному режимі, коли $\Delta P \approx W_2$, а C – константа:

$$\xi_{0z} = \frac{C}{\text{Re}_0} \quad (17).$$

При турбулентному режимі, коли $\Delta P \approx W_a^{1,75}$:

$$\xi_{0a} = \frac{C_1}{\text{Re}_0^{0,25}} \quad (18).$$

І при режимі розвиненої турбулентності, що є автомоделним, коли $\Delta P \approx W_0^2$:

$$\xi_{0z} = \frac{C_2}{\text{Re}_0} \quad (19).$$

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Досягнуті наступні результати за деякими питаннями з теми інноваційних досліджень: як видно з формул (13–15) автомоделний режим в пінних апаратах настає вже при $W_2 \geq 1,2$ м/с, тобто практично з початку пінного режиму.

Таким чином, можна зробити висновок, що при пінному режимі коефіцієнт місцевого опору ξ_{0z} не залежить від діаметру отворів при пропорційному змінненні всіх параметрів, тобто при незмінному S_0 , та швидкості газу в щілинах грат.

Список литературы

1. Рамм В.М. Абсорбция газов М., «Химия» 1976, с. 460–467.
2. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Изд. 2-е. М., «Химия» 1971, 269 с.
3. Стабников В.Н. Ректификационные аппараты. М., «Машиностроение», 1995. 356 с.
4. Ректификационные и абсорбционные колонны с новыми конструкциями тарелок. М., ВНИИОЭНГ, 1996. 64 с.
5. Чехов О. С., Матрозов В. И. Труды МИХМ, 1997, вып. 15, с. 78–96.
6. Позин М.Е., Мухленов И.П. и др. Пенный способ обработки газов и жидкостей. Л., Госхимиздат, 1985. 248 с.
7. Позин М.Е., Мухленов И. Я., Тарат Э. Я. Пенные газоочистители, теплообменники и абсорберы. Л., Госхимиздат, 2002. 123 с.
8. Клапанные тарелки для массообменных аппаратов. М., Центр, ин-т. н-техн. информ. и техн. - Эконом, исслед. по хим. и нефт. машиностр., 1992. 40 с.
9. Norman W. S., Grocott G.I., Trans. Inst. Chem. Eng., 1991, v. 39, № 4, p. 305–312.
10. Hoppe C., Chem. Ing. Techn., 1999, Bd. 39, № 11, p. 659–666.
11. Robin B.I., Brit. Chem. Eng., 2002, v. 4, № 6, p. 351–354.
12. Бляхер И.Г., Живайкин Л.Я. и др. Хим. пром., 1996, № 3, с. 178–181; 2000, № 9, с. 678–680.
13. Стабников В. Я., Николаев А.П. Труды Киев, технол. ин-та пищевой пром., 1990, вып. 22, с. 171–178.
14. Родионов А.И. Труды ХТИ им. Д.И. Менделеева, 1993, вып. 40, с. 66–69.
15. Аэров М.Э., Быстрова Т.А. и др. Хим. и технол. топлив и масел, 1999, № 1, с. 37–41.
16. Mailer H. M., Othmer D. F., Ind. Eng. Chem., 1999, v. 51, № 5, p. 625–632.

References (transliterated)

1. Ramm V.M. Absorbicija gazov M., «Himija» 1976, pp. 460–467.
2. Aleksandrov I.A. Rektifikacionnye i absorbcionnye apparaty. Izd. 2-e. M., «Himija» 1971, 269 p.
3. Stabnikov V.N. Rektifikacionnye apparaty. M., «Mashinostroenie», 1995. 356 p.
4. Rektifikacionnye i absorbcionnye kolonny s novymi konstrukcijami tarelok. M., VNIIOJeNG, 1996. 64 p.
5. Chehov O. S., Matrosov V. I. Trudy MIHM, 1997, vyp. 15, pp. 78–96.
6. Pozin M.E., Muhlenov I.P. i dr. Pennyj sposob obrabotki gazov i zhidkostej. L., Goshimizdat, 1985. 248 p.
7. Pozin M.E., Muhlenov I. Ja., Tarat Je. Ja. Pennyje gazoocistiteli, teploobmenniki i absorbery. L., Goshimizdat, 2002. 123 p.
8. Klapannye tarelki dlja massoobmennyh apparatov. M., Centr, in-t. n-tehn. inform. i tehn. - Jekonom, issled. po him. i nef. mashinostr., 1992. 40 p..
9. Norman W. S., Grocott G.I., Trans. Inst. Chem. Eng., 1991, v. 39, № 4, p. 305–312.
10. Hoppe C., Chem. Ing. Techn., 1999, Bd. 39, № 11, pp. 659–666.
11. Robin B.I., Brit. Chem. Eng., 2002, v. 4, № 6, pp. 351–354.
12. Bljaher I.G., Zhivajkin L.Ja. i dr. Him. prom., 1996, № 3, pp. 178–181; 2000, № 9, pp. 678–680.
13. Stabnikov V. Ja., Nikolaev A.P. Trudy Kiev, tehnol. in-ta pishhevoj prom., 1990, vyp. 22, pp. 171–178.
14. Rodionov A.I. Trudy HTI im. D.I. Mendeleeva, 1993, vyp. 40, pp. 66–69.
15. Ajerov M.Je., Bystrova T.A. i dr. Him. i tehnol. topliv i masel, 1999, № 1, pp. 37–41.
16. Mailer H. M., Othmer D. F., Ind. Eng. Chem., 1999, v. 51, № 5, pp. 625–632.

Надійшла (received) 23.08.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лаврова Інна Олегівна (Лаврова Інна Олеговна, Lavrova Inna Olegovna) – кандидат технічних наук, професор кафедри переробки нафти, газу і твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

Бабенко Володимир Миколайович (Бабенко Володимир Николаевич, Babenko Volodimir) – кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри Хімічної техніки і промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

Шевченко Кирил Володимирович (Шевченко Кирил Владимирович, Shevchenko Kiril) – аспірант кафедри переробки нафти, газу і твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

Троценко Олександр Володимирович (Троценко Александр Владимирович, Trozenko Oleksandr) – аспірант кафедри переробки нафти, газу і твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна.

О. С. КРАВЧЕНКО**ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ В ПРИКЛАДАХ І ЗАДАЧАХ**

Розглянуто лазерну систему технічного зору для слідкування за зварювальним швом. Описане математичне обґрунтування застосованого алгоритму. Алгоритм використовує метод екстремального значення, що полягає у виборі максимального значення на поперечному перерізі лазерної лінії в якості центра. Для вдосконалення точності алгоритму застосовується метод згортання матриці.

Ключові слова: інтелектуальна власність; система технічного зору; слідкування за процесом роботи і швом; триангуляція.

А. С. КРАВЧЕНКО**ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ**

В материалах статьи рассмотрены возможности лазерной системы технического зрения для слежения за сварочным швом. Описанное математическое обоснование применяемого алгоритма. Алгоритм использует метод экстремального значения, состоит в выборе максимального значения на поперечном сечении лазерной линии в качестве центра. Для совершенствования точности алгоритма применяется метод сворачивания матрицы.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность; система технического зрения; наблюдение за процессом работы и швом; триангуляция.

O. S. KRAVCHENKO**GENERAL TECHNOLOGY OF TECHNICAL VISION SYSTEM IN EXAMPLES AND TASKS**

This paper introduces positions of system analysis concept on shortening of time needed for robot's algorithms and software successful development with taking into consideration the mechanic, electronic and technological circumstances. The means of the in-creasing of the robot's work reliability are also considered. The work is based on the experience of creation of great number of control systems and software for a wide number of the robots, different by appointment and the constructive scheme. The laser system of technical vision for tracking the weld is considered. The mathematical justification of the applied algorithm is described. The algorithm uses the extreme value method, which is to select the maximum value at the cross section of the laser line as the center. To improve the accuracy of the algorithm, the method of minimizing the matrix is used.

Keywords: intellectual property; system of technical vision; monitoring of work process and seam; triangulation.

Вступ. У всьому світі, за даними The Robot Report, існує більш 343 компаній, які виробляють промислових роботів, понад 347 компаній, що займаються інтеграцією робототехнічних комплексів в виробничий процес, більш 886 компаній, виробляють сервісних роботів для професійного використання, і 204 компанії, виробляють сервісних роботів для персонального використання. Основні драйвери зростання світових продажів промислових роботів – автомобільна промисловість і електрика/електроніка [1, 2].

Основними трендами ринку промислової робототехніки на 2015–2018 рр., за даними International Federation of Robotics (IFR), є:

1) удосконалення взаємодії людини і робота: роботи допомагають робочим виконувати широке коло завдань, підвищують якість виробничого процесу, збільшують продуктивність, виконують найнебезпечнішу, тяжку і брудну частину роботи, виконання якої людиною неможливо або небезпечно;

2) спрощення використання роботів відкриває великі можливості у всіх сферах промисловості, в тому числі для малого і середнього бізнесу, для дрібно- та середнє серійне виробництва;

3) індустрія 4.0, що зв'язує реальне виробництво з віртуальною реальністю, буде відігравати значну роль у світовій промисловості;

4) глобальна конкуренція вимагає продовження модернізації виробничих потужностей;

5) оптимізація енергоспоживання і використання нових матеріалів, таких як вуглецеві композити, зажадають продовження переобладнання виробництва;

6) зростаючі споживчі ринки формують запит на розширення виробничих потужностей;

7) зниження терміну використання продукції і її зростаюче розмаїття тягнуть необхідність в гнучкій автоматизації;

8) зростання попиту на простих у використанні роботів з обмеженим застосуванням, коротким життєвим циклом і низькою ціною: частково він надходить від виробників електроніки (смартфони, планшетні комп'ютери та ін.);

9) одночасно з цим, триваюче поліпшення якості продукції формує запит на складні високотехнологічні роботизовані системи та ін.

© Кравченко О.С., 2019

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

1. Аналіз сучасного стану проблеми.

Метою даного дослідження є отримання центрів лазерних ліній за допомогою вирішальної функції, що генерується щоб відрізнити реальні центри від точок-кандидатів з високою швидкістю розпізнавання.

Сучасні ергатичних (людино-машинні) системи управління оснащуються інтелектуальними

системами технічного зору – призначення таких систем, здійснювати не тільки пасивний контроль і візуалізацію поточних значень параметрів відбуваються динамічних процесів і попереджати суб'єктів системи управління або осіб, які приймають рішення про наближення до експлуатаційних кордонів окремих критичних параметрів системи, але і на основі багатofакторного аналізу визначати поточний рівень їх безпеки, синтезувати оптимальні рішення. Відповідно до технічного завдання встановлені наступні задачі (табл. 1).

Таблиця 1 – Складові дослідження за темою проекту

| № | ЗМІСТ |
|---|---|
| 1 | ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ |
| 2 | ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ: 2.1. Методи визначення центрів лазерної лінії; 2.2. Конволюція матриці; 2.3. Паралельне програмування |
| 3 | ОПИС АЛГОРИТМІВ: 3.1. Алгоритм пошуку центрів лазерної лінії; 3.2. Алгоритм роботи паралельного процесу |
| 4 | ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: 4.1. Функціональна структура програмного забезпечення; 4.2. Опис функцій частин програмного забезпечення; 4.2.1. Користувацькі функції; 4.2.2. Стандартні функції |
| 5 | ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: 5.1. План тестування; 5.2. Приклади тестування; 5.2.1. Тестування правильності введених значень; 5.2.1.1. Тестування при натисканні кнопки "STOP" коли програма ще не працює; 5.2.1.2. Тестування при натисканні кнопки "START" коли програма вже працює; 5.2.2. Тестування коректності роботи; 5.2.2.1. Перевірка коректності обчислення відстані шва до центра зображення; 5.2.2.2. Перевірка коректності знаходження лазерної лінії; 5.2.2.3. Перевірка коректності знаходження шва |
| 6 | ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА: 6.1. Робота з програмою; 6.2. Формат вхідних та вихідних даних; 6.3. Системні вимоги |
| 7 | ВИСНОВКИ |

У вимірювальних системах технічного зору на основі структурованого світла, ключовим моментом точності виявлення є точне визначення центрального положення проекрованої лазерної лінії на зображенні.

Перший спосіб полягає у попередній обробці зображення методом диференціювання зображення, що проводиться для відокремлення зображення від лазерної лінії. При другому способі особливі точки на інтегральному піксельному рівні вибираються в якості центрів ліній ініціюючого світла власними значеннями матриці Гессе. Третій спосіб ґрунтується на тому, що оскільки розподіл інтенсивності світла лазерної лінії підкоряється розподілу Гауса в поперечному перерізі і рівномірному розподілу в поздовжньому перетині, нормалізована модель власних чисел матриці Гессе в якості точок-кандидатів на центри лазерної лінії представлена щоб розумно збалансувати два власних числа, які вказують варіативні тенденції частинних похідних другого порядку функції Гауса та функції рівномірного розподілу, відповідно.

Методи визначення центрів лазерної лінії. Вимірювання технічним зором структурованого світла є одним з важливих підходів для визначення

тривимірного об'єкта і має переваги безконтактності й інформативності, помірної швидкості вимірювання і точності вимірювань. Він широко використовується в інспекції автомобільних деталей, випробування морфології поверхонь транспортних засобів, забезпечення якості та інших метрологічних полів. Вимірювальна система для структурованого світла, як правило, складається з камери, лазерного проектора і комп'ютера.

Зображення від лінії лазера, що падає на об'єкт, є джерелом інформації для виконання вимірювального завдання. Одним з ключових кроків завдання є отримання точного положення центру лазерної лінії. Ідеальні позиції центру лазерної лінії повинні бути однопіксельною по ширині кривою, розташованою в центрі світлової лінії. Оскільки фактична світлова площа створюється з певною товщиною, перетин кривої світлової площині і поверхні вимірюваного об'єкта також має певну ширину.

Таким чином, швидке і точне визначення центру лазерної лінії в тестовому зображенні є великим досягненням системи вимірювання технічним зором структурованого світла.

Принцип методу екстремального значення полягає у виборі пікселя з максимальним значенням сірого на поперечному перерізі лазерної лінії в якості центра. Цей метод забезпечує просте і швидке визначення і дає кращі результати розпізнавання, коли розподіл відтінків сірого світлового лінії ідеально підпорядковується розподілу Гауса. Проте, він чутливий до шуму. Шумові точки в зображенні, захопленому камерою, часто залишаються на зображенні навіть після фільтрації.

Таким чином, при реальному вимірюванні, коли розподіл сірого лазерної лінії не є строго підпорядкованим розподілу Гауса або впливу шуму, визначені центри будуть відхилятися від дійсних центрів лазерної лінії, що призводить до визначення результатів з нижчою точністю.

Граничний метод встановлює граничний поріг для отримання двох кордонів в поперечному перерізі лазерного променя, а центри лазерної лінії вважаються центрами двох кордонів. Характеристики цього методу аналогічні тим методу екстремального значення, що дають високу швидкість обробки даних. Проте, помилки розпізнавання з'являються, коли відтінки сірого поперечного перерізу лазерної лінії розподілені асиметрично або страждають від шуму. Крім того, складним завданням є розумний вибір порогу. Корисні пікселі пропускаються, якщо поріг занадто високий, в той час як непотрібні пікселі генеруються, якщо граничне значення занадто низьке. Оскільки поріг заважає результатам цього методу, пороговий метод часто використовується з іншими методами в якості першого кроку, щоб вибрати центри лазерної лінії.

Метод спрямованого шаблону послідовно згортає шаблони напрямку 0° , 90° і 45° із зображенням, що містить лазерну лінію. За допомогою цього методу, крайні точки в поперечному перерізі лазерної лінії посилюються після згортки, в той час як інші навколишні точки відповідно пригнічуються. Якщо напрямок лінії лазера збігається з орієнтацією шаблону, розташування крайніх точок буде більш помітним.

Порівнюються результати обробки кожного спрямованого шаблону, точка з максимальним значенням є центром лазерної лінії даної секції. Метод спрямованого шаблону покращує старі підходи шляхом відновлення від'єднаних ліній і пригнічення шуму. Проте, цей метод збільшує обсяг обчислень і потрібне місце для зберігання інформації, так як кожен рядок в зображенні повинен бути згорнутих з шаблонами в чотирьох напрямках.

В цілому, методи, описані вище, шукають центри лазерної лінії на рівні одного пікселя точності.

Для підвищення точності вимірювання методом структурованого світла, дослідники додатково

запропонували кілька методів визначення на рівні субпікселів.

Сіро-центроїдний метод безпосередньо обчислює чорно-білий центр уздовж осі абсцис, як центральне положення відповідно до розташування значень сірого лінії лазера в певному діапазоні.

Спочатку, точка максимуму сірої шкали лазерної лінії виявляється методом екстремального значення вище; потім кілька пікселів вибираються навколо цієї точки максимуму.

Центральне положення лазерної лінії в цій області визначається рівнянням центроїда.

Сіро-центроїдний метод досліджує інтенсивності світла всіх точок навколо крайньої точки, уникаючи негативних наслідків нерівномірного розподілу світла за результатами визначення. Проте, так як цей метод виконує пошук точки максимуму в відтінках сірого лазерної лінії, застосовуючи метод екстремального значення, він також дуже чутливий до шуму. Так як Сіро-центроїдний метод виконує сканування лінії, точність вилучення залежить від кривизни лінії лазера, тому цей метод зазвичай використовується для лазерної лінії з невеликою кривизною.

Метод апроксимації кривої описує розподіл відтінків сірого в поперечному перерізі лазерного променя з використанням кривої Гауса або параболи.

Центральна точка поперечного перерізу є локальним максимумом кривої. Цей метод можна застосовувати тільки для широкої лазерної лінії з постійним напрямком її нормальних векторів. Крім того, фактичний розподіл відтінків сірого на лазерній лінії не є строго симетричним, тому крайня точка, знайдена за допомогою процесу апроксимації кривої, часто відхиляється від фактичного центру лазерної лінії.

В даний час методи визначення центрів лазерної лінії можна розділити на дві категорії. Одна з категорій базується на рівні пікселів, наприклад метод екстремального значення, пороговий метод, а також метод спрямованого шаблону; інша категорія виконується на рівні субпікселів, в тому числі сіро-центроїдний метод, апроксимації кривої, а також метод матриці Гессе.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

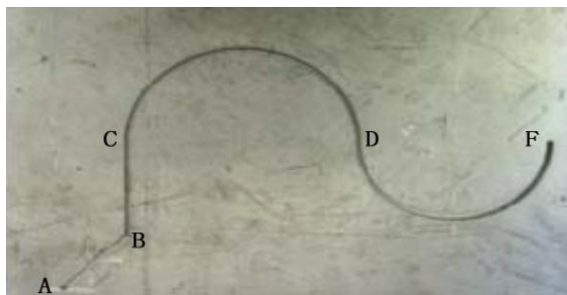
У даній роботі за основу береться метод екстремального значення. Проте задля вдосконалення метода виконується також математична операція згортання (або конволюції) матриці зображення, що позбавляє метод небажаної чутливості до шуму та значно підвищує точність визначення центрів лазерної лінії.

На рис. 1 зображено приклад відсіювання шумів даним методом.



Рис. 1. Відсіювання шумів

Метод знаходить розташування шва в реальному часі та буде точну траєкторію рухів робота. Приклад вхідного шва зображено на рис. 2.

Рис. *Ошибки! Текст указанного стиля в документе отсутствует.* Приклад шва

Траєкторія руху робота, побудована програмою для даного прикладу, зображена на рис. 3.

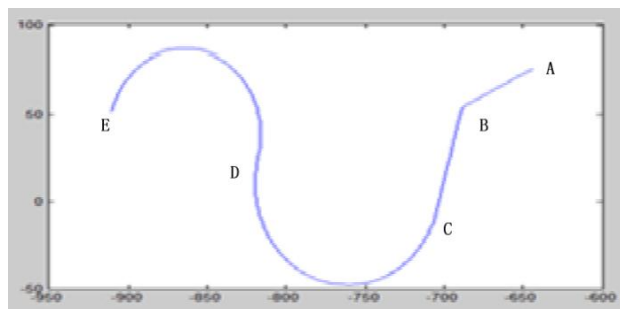


Рис. 3. Траєкторія руху робота

Розроблена модель поєднує функцію розпізнавання Гауса і синусоїдальну функцію розпізнавання. Функція розпізнавання Гауса оцінює ознаку того, що одне власне значення наближається до нуля, і підвищує чутливість функції прийняття рішення до ознаки, що відповідає подовжньому напрямку лазерної лінії.

Синусоїдальна функція розпізнавання оцінює ознаку того, що інше власне значення негативне та велике за модулем, в результаті чого функція прийняття рішення більш чутлива до ознаки, яка пов'язана з поперечним напрямком лазерної лінії.

У моделі функція прийняття рішення зважується для більш високих значень, порівняно з реальними центрами, в подовжньому і поперечному напрямках лінії лазера. Нормовані результати пікселів, близьких до 1, визначаються як реальні центри прогресивної розгортки стовпців зображення. Нульова точка другого порядку розкладання Тейлора в напрямку власного вектора використовуватися для подальшого уточнення результатів визначення центральних точок на рівні субпікселів.

Експериментальні результати показують, що метод, заснований на цій моделі нормалізації точно визначає координати центрів лазерних ліній і має високу швидкість розпізнавання.

Процес подальшого розвитку наукового напрямку з технології визначення системи технічного зору у вигляді об'єктів інтелектуальної власності [1, 2] потребує визначення складових дослідження.

До теоретичних відомостей входить науково-обґрунтований аналіз:

- 1) методів визначення центрів лазерної лінії;
- 2) конволюція матриці;
- 3) паралельне програмування. У даній роботі за основу береться метод екстремального значення.

Для проектування системи розроблено схему пристрою – рис. 4. Цифра 1 вказує на власне робота, 2 – на камеру, що відслідковує лазер, 3 – лазерний промінь, 4 – шов.

Визначення центрів лазерної лінії. У даній роботі за основу береться метод екстремального значення, що полягає у виборі пікселя з максимальним значенням сірого на поперечному перерізі лазерної лінії в якості центра. Він забезпечує просте і швидке визначення і дає кращі результати розпізнавання, коли розподіл відтінків сірого світлової лінії ідеально підпорядковується розподілу Гауса. Проте, він чутливий до шуму. Шумові точки в зображенні, захопленому камерою, часто залишаються на зображенні навіть після фільтрації.

Таким чином, при реальному вимірюванні, коли розподіл сірого лазерної лінії не є строго підпорядкованим розподілу Гауса або впливу шуму, визначені центри будуть відхилятися від дійсних центрів лазерної лінії, що призводить до визначення результатів з нижчою точністю. Тому, задля вдосконалення метода, виконується також математична операція згортання (або конволюції) матриці зображення, що позбавляє метод небажаної чутливості до шуму та значно підвищує точність визначення центрів лазерної лінії.

Алгоритм застосовується до кожного кадру відео потоку, захопленого під час руху системи над металевими поверхнями.

Використана операція згортання матриці наведена на рис. 5.

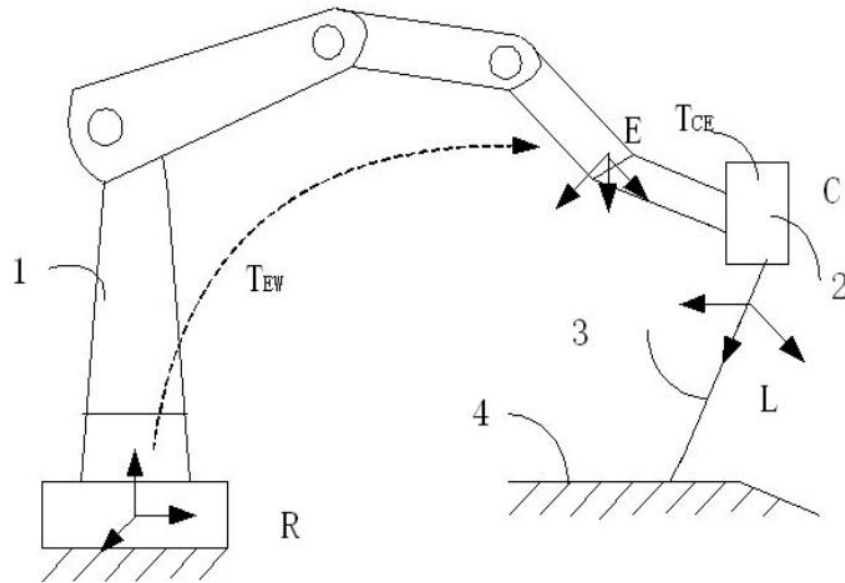


Рис. 4. Схема пристрою:
1 – робот, 2 – камера, що відслідковує лазер, 3 – лазерний промінь, 4 – шов.

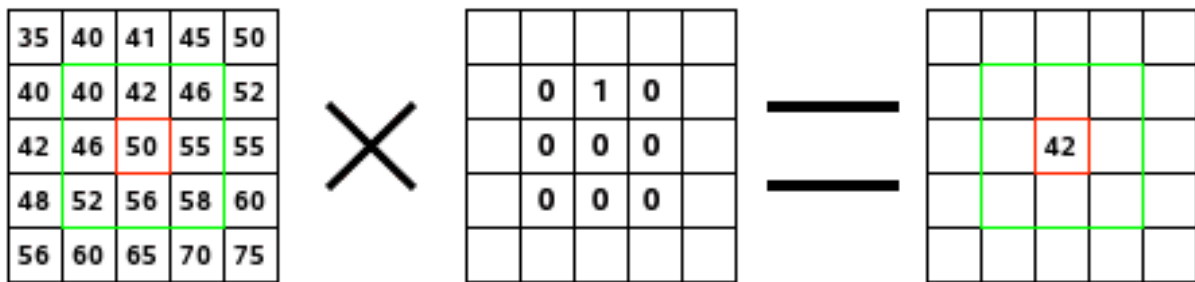


Рис. 5. Операція згортання матриці

Проте задля вдосконалення метода виконується також математична операція згортання (або конволюції) матриці зображення, що позбавляє метод небажаної чутливості до шуму та значно підвищує точність визначення центрів лазерної лінії (рис. 5). Зліва – матриця зображення: кожен піксель означений своїм значенням. У початкового пікселя червона межа. В середині – ядро. Активна область ядра – зелений кордон. Праворуч – результат конволюції.

Апаратною частиною системи є робот із 6 ступенями свободи, що несе зварювальне обладнання, лазерний пристрій та систему технічного зору. Відео потік у реальному часі захоплюється та оброблюється системою для розрахунку координат шва відносно позиції камери. У подальшому ця інформація використовується для корегування напрямку руху зварювального обладнання.

Для переваги червоного спектру та додаткового відсіювання шумів поверх системи технічного зору встановлено пластину зі склом рубінового кольору.

Прикладом дослідження системи технічного зору є дослідження з отримання центрів лазерних ліній за допомогою вирішальної функції, що генерується з метою можливості відрізнити реальні центри від точок-кандидатів з високою швидкістю розпізнавання.

В межах дослідження розроблене програмне та апаратне забезпечення, за допомогою якого реалізований пошук шву між металевими листами.

Програма повинна забезпечувати можливість виконання нижче наведених функцій:

- 1) виокремлення лазерної лінії на зображенні в реальному часі;
- 2) визначення викривлення лінії; аналіз викривлення лінії;
- 3) обчислення довжини шва та відстані від центру площини, що паралельна площині матриці камери;
- 4) подання проміжних результатів на екран; виведення графіка траєкторії шва.

Вхідними даними до програми є зображення, що знімається камерою; вихідними даними є координати траєкторії шва (рис. 6). За допомогою означеного пристрою та використаного методу можна знаходити розташування шва в реальному часі та будувати двовимірну траєкторію руху робота. Приклад вихідного зображення наведено на рис. 6.

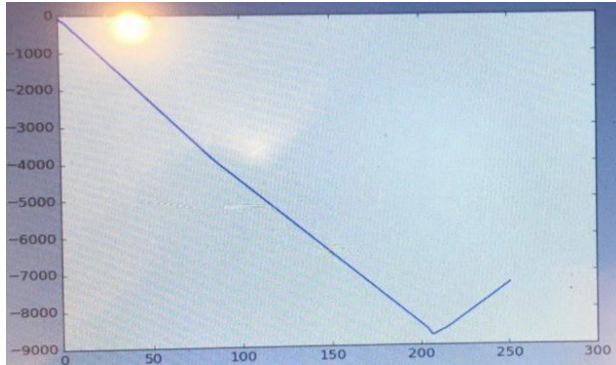


Рис. 6. Траєкторія руху робота.

Проведено тестування системи, у ході якого не було виявлено жодних помилок в роботі програми, всі виміри було здійснено точно, некоректні вхідні дані було виявлено, в їхній обробці було відмовлено. Система технічного зору, призначена для застосування на промислових лініях підприємств, що займаються металообробкою. [1–5].

Система технічного зору виокремлює лазерну лінію на зображенні в реальному часі, визначає та аналізує місце викривлення лінії, обчислює довжину шву та відстань від центру площини, що паралельна площині матриці камери, подає проміжні результати на екран, виводить графік траєкторії шву.

Подальше дослідження зв'язане з визначенням алгоритму пошуку центрів лазерної лінії та алгоритму роботи паралельного процесу.

Алгоритм пошуку центрів лазерної лінії

1. ПОЧАТОК.
2. Зняти зображення з матриці камери.
3. Перевести зображення у чорно-білий колір.
4. Нормалізувати яскравість до одиниці.
5. Поки не закінчилися рядки в матриці зображення:
 - 5.1. Перевести поточний рядок у рядок нормального розподілу.
 - 5.2. Обрізати центральні 11 значень рядка.
 - 5.3. Зробити згортання оригінального рядка з рядком-ядром центральних значень.
 - 5.4. Знайти позицію максимального елемента і визначити її як позицію центра лазерної лінії в даному рядку.
 - 5.5. Намалювати червону крапку на екрані у відповідному місці.
 - 5.6. Якщо відстань знайденого центру знаходиться далі ніж 40 пікселів від центру зображення або найяскравіший елемент недостатньо яскравий, то:

- 5.6.1. Вивести на екран: “Laser Lost”.
- 5.7. Інакше:
 - 5.7.1. Якщо у даному рядку було знайдено шов:
 - 5.7.1.1. Додати координати знайденого шва у відповідний масив.
 6. Якщо довжина масиву шва більше за нуль:
 - 6.1. Визначити індекс центрального елемента масиву.
 - 6.2. Намалювати жовту крапку на екрані у місці, відповідному центральному елементу.
 - 6.3. Визначити дистанцію до центра зображення в пікселях.
 - 6.4. Визначити дистанцію до центра зображення в міліметрах.
 - 6.5. Визначити позицію шва відносно центра зображення.
 7. Обрізати вихідне зображення.
 8. КІНЕЦЬ.

Алгоритм роботи паралельного процесу

1. ПОЧАТОК.
2. Визначити глобальний вказівник на об'єкт класу Multiprocessing.Process.
3. Визначити чергу і подію багатопоточності.
4. Запустити процес через вказівник.
5. Якщо подія НЕ визначена:
 - 5.1. Продовжувати роботу.
 6. Якщо подія визначена:
 - 6.1. Очистити подію (зняти визначення).
 - 6.2. Зупинити роботу.
 - 6.3. З'єднати процеси.
 7. КІНЕЦЬ

Опис програмного забезпечення складається з функціональної структури програмного забезпечення та опису функцій частин програмного забезпечення (користувачькі та стандартні).

Функціональна структура програмного забезпечення (рис. 7): зображено загальну структуру додатку, де наявні усі класи програми та стрілками відношення між класами.

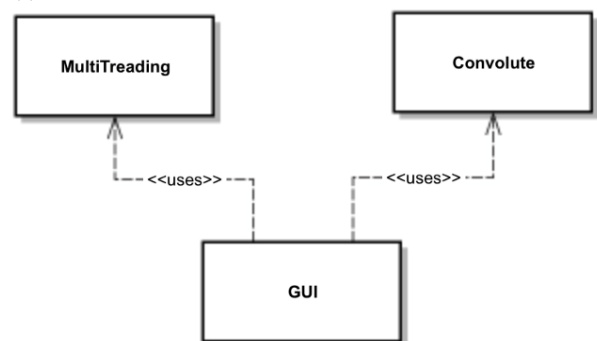


Рис. 7. Загальна структура класів проекту

На рис. 8 зображено загальну структуру класу додатку інтерфейсу користувача – GUI, який безпосередньо пов'язує всі компоненти програми між собою та надає інтерфейс користувача.



Рис. 8. Загальна структура класу GUI

На рис. 9 зображено можливу загальну структуру класу, що виконує обробку зображення – Convolute.

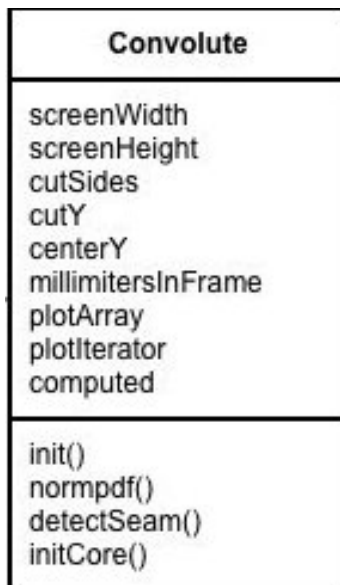


Рис. 9. Загальна структура класу Convolute

На рис. 10 зображено загальну структуру класу, що забезпечує підтримку паралельного програмування – MultiTreading.

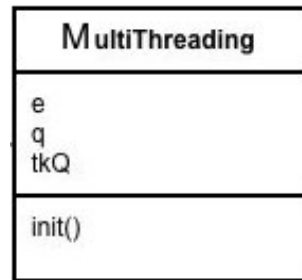


Рис. 11. Загальна структура класу MultiTreading

До загальної технології системи входить тестування програмного забезпечення:

1. План тестування;
2. Приклади тестування;
 - 2.1. Тестування правильності введених значень;
 - 2.1.1. Тестування при натисканні кнопки “STOP” коли програма ще не працює;
 - 2.1.2. Тестування при натисканні кнопки “START” коли програма вже працює;
 - 2.2. Тестування коректності роботи;
 - 2.2.1. Перевірка коректності обчислення відстані шва до центра зображення;
 - 2.2.2. Перевірка коректності знаходження лазерної лінії;
 - 2.2.3. Перевірка коректності знаходження шва

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Тестування програмного забезпечення проходить за планом. До інструкції користувача входять: робота з програмою; формат вхідних та вихідних даних; системні вимоги. Можливі випадки виникнення помилок у програмі залежать як від вхідних даних, так і від команд користувача. Тому тестування програми полягає у виявленні правильності та коректності обробки програмою різних вхідних даних. Задля виявлення усіх помилок у роботі програми потрібно запуснути її на виконання в таких умовах:

1) тестування коректності взаємодії з інтерфейсом: тестування при натисканні кнопки «STOP» коли програма ще не працює; тестування при натисканні кнопки «START» коли програма вже працює;

2) тестування коректності роботи: перевірка коректності обчислення відстані шва до центра зображення; перевірка коректності знаходження лазерної лінії; перевірка коректності знаходження шва [5, 6].

У цій статті було розглянуто система технічного зору, що виокремлює лазерну лінії на зображенні в

реальному часі, визначає місце викривлення лінії та аналізує його, обчислює довжину шву та відстань від центру площини, що паралельна площині матриці камери. Система призначена для застосування на промислових лініях підприємств, що займаються металообробкою і є прикладом створення інтелектуальної власності студентами [5–14].

Список литературы

1. Study on Robotic Seam Tracking of Laser Scanning System: <https://pdfs.semanticscholar.org/7a62/e1d75668769cfc5714968b3af7782ae57a.pdf>
2. A visual seam tracking system: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-007-0939-6>
3. 11 IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2016) : [электронный ресурс] / [официальный сайт]. – URL: <http://humanrobotinteraction.org/2016/>
4. Ботуз С.П. Методы поискового проектирования интеллектуальных систем технического зрения эргатических систем управления. Тезисы научно-технической конференции Техническое зрение в системах управления-2017, М., с. 7.
5. Кравченко О.С., Бухкало С.І. Загальна технологія визначення системи технічного зору для комплексних проєктів. 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». 277 с.
6. Кравченко О.С. Складові технології визначення системи технічного зору для комплексних проєктів. 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». 276 с.
7. 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.
8. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 206 с.
9. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 201 с.
10. Бухкало С.І., Іглінь С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХПІ». 208 с.
11. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ». 2014, № 16, с. 3–11.
12. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
13. Прищенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II./за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХПІ». 320 с.

14. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O. Complex projects development problems, Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 193.

References (transliterated)

1. Study on Robotic Seam Tracking of Laser Scanning System: <https://pdfs.semanticscholar.org/7a62/e1d75668769cfc5714968b3af7782ae57a.pdf>
2. A visual seam tracking system: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-007-0939-6>
3. 11 IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2016) : [электронный ресурс] / [официальный сайт]. – URL: <http://humanrobotinteraction.org/2016/>
4. Botuz S.P. Metody poiskovogo proektirovaniya intellektual'nyh sistem tehničeskogo zrenija jergaticheskikh sistem upravlenija. Tezisy nauchno-tehničeskoy konferencii Tehničeskoe zrenie v sistemah upravlenija-2017, M., p. 7.
5. Kravchenko O.S., Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija viznachennja sistemi tehničnogo zoru dlja kompleksnih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI». 277 p.
6. Kravchenko O.S. Skladovi tehnologij viznachennja sistemi tehničnogo zoru dlja kompleksnih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018. Ch. II/za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 276p.
7. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 205 p.
8. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 206 p.
9. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 201 p.
10. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Osoblivosti upravlinja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», 208 p.
11. Bukhhalo S.I. Udokonaljuvanja metodiv ocinki znan' studentiv vishhijh navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «HPI». Kh.: NTU «KhPI», 2014, no. 16, pp. 3–11.
12. Bukhhalo S.I. Viznachennja zagal'noi tehnologij kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II./za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», p. 217.
13. Prishhenko O.P., Chernogor T.T., Bukhhalo S.I. Dejaki osoblivosti provedennja koreljacijnogo analizu. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», p. 320.
14. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O. Complex projects development problems, Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kh.: NTU «KhPI», p. 193.

Надійшла (received) 19.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кравченко Олександр Сергійович (Кравченко Александр Сергеевич, Kravchenko Oleksandr Serhijovych) – магістр, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна.

G. O. SABADOSH**MENU ENGINEERING MECHANISM FOR RESTAURANTHOUSEHOLD ESTABLISHMENTS THAT SERVE THE ORGANIZED GROUPS OF CONSUMERS IN RECREATIONAL REGIONS**

Restaurant household establishments in health and tourist centers, children camps are obliged to implement fully food rations in the menu engineering during the term of staying the contingent of consumers according to the requirements of physical needs. Therefore, during the menu engineering is selected a certain menu variety, calculated the cost of raw materials for its implementation and certainly compared with established standards. This publication is designed to provide accurate and authoritative information in regard to the subject matter covered. This article has been developed for use in courses introducing food, beverage, and labor cost controls to students preparing for careers in food and beverage management as well as hotels and other enterprises where this knowledge is necessary: menu engineering is the study of the profitability and popularity of menu items and how these two factors influence the placement of these items on a menu

Key words: menu of the enterprise, principle variables, structuring principle, principle of adaptation.

Г. О. САБАДОШ**МЕХАНІЗМ РОЗРОБКИ МЕНЮ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА, ЯКІ ОБСЛУГОВУЮТЬ В РЕКРЕАЦІЙНИХ РЕГІОНАХ ОРГАНІЗОВАНІ ГРУПИ СПОЖИВАЧІВ**

Підприємства ресторанного господарства при санаторіях, туристичних комплексах, дитячих таборах, зобов'язані при складанні меню дотримуватися фізіологічних норм в харчових раціонах на протязі терміну перебування груп споживачів, згідно вимог до фізіологічних потреб людини. Згідно контингенту, розроблені відповідні раціону харчування. Тому, при складанні меню підбирається потрібний варіант, розраховуються витрати сировини на його реалізацію, та обов'язково проводиться порівняння зі встановленими нормами.

Ключові слова: меню, принцип варіабельності, принцип структуризації, принцип адаптації.

А. А. САБАДОШ**МЕХАНИЗМ РАЗРАБОТКИ МЕНЮ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСТОРАННОГО ХОЗЯЙСТВА ОБСЛУЖИВАЮЩИЕ ОРГАНИЗОВАННЫЕ ГРУППЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕГИОНАХ**

Предприятия ресторанного хозяйства при санаториях, туристических комплексах, детских лагерях, обязаны при составлении меню придерживаться физиологических нормы в пищевых рационах на протяжении срока пребывания групп потребителей, согласно требований до физиологических потребностей. Исходя из контингента потребителей, разработаны соответствующие рационы питания. Потому, при составлении меню подбирается нужный вариант, разчитываются затраты сырья на его реализацию, и обязательно проводится сравнение с установленными нормами.

Ключевые слова: меню; принцип вариабельности, принцип структуризации, принцип адаптации.

Introduction. Formulation of the problem in general. Restaurants – one of the most dynamic sectors of the food industry. His global "modernization" that took place in the late twentieth century, borrowing "European elements", created the preconditions for the formation of similar services for the population, which differ among themselves.

In determining the classification of services is food service, which is a service of production of culinary products and create conditions for its implementation and consumption according to the type and class of enterprise (restaurant, dining room, snack bar). Type and class enterprise determines the contents of this type of service – an introduction to food, beverage, and labor cost controls, defining a number of key terms and concepts and providing a foundation for the balance of the work as well as some sense of its scope.

It identifies working definitions for the terms cost and sales, discusses the control process in

some detail, and introduces the basics of cost/volume/profit analysis; the application of the four-step control process to the primary phases of foodservice operations: purchasing, receiving, storing, issuing, and production.

Specific techniques and procedures for each phase are explained and discussed in detail: to determining costs and using them as monitoring devices in foodservice operations, for example – deals specifically with food sales control, offering a broad definition of the term and providing detailed discussion of several approaches to sales control [1].

Information component specified service type – the menu enterprise which can not be permanent because the company restaurants should change technology program to meet demand, improving the quality of products, improve its nutritional value. The choice of products is carried out by visitors to familiarize them with the menu enterprise.

© Sabadosh G.O., 2019

The goal of the work. The menu usually developed empirically for all types of enterprises. For businesses open type empirical approach to developing the menu, based on monitoring product demand is acceptable. For businesses serving organized groups (students, athletes, tourists, etc.) and for which developed the diet, this approach is not acceptable. Disadvantages of this approach is discussed below.

Formulation of the problem. In the restaurant business enterprise responsible employees are required in the preparation of the menu to implement food rations during the stay of these groups in the institutions on which is feed. The accounting cost of raw materials for foods included in the menu, according to food rations, time consuming, as carried out in several steps by the selection of dishes. That is the basis of experience, a selected menu option, calculated the cost of raw materials for its implementation, then compared with established norms. Further analysis of the magnitude of deviations of various raw materials. In order to reduce these deviations menu adjustments are made. The procedure lasts as long as these values are acceptable.

The level of acceptability set arbitrarily by experts of the company. That practice creates a situation in which specialists difficult to design menus, fully adapted to the diet. From the foregoing it appears that the actual problem is scientifically proven approach to developing the menu, particularly for businesses serving organized groups.

Research results. Today there are plenty of studies on nutrition, the impact of certain products and substances for health. However, the methodology for drawing up the menu for the restaurant industry enterprises available.

Menu as an object of research in the scientific literature is not widely considered. Most often makes recommendations on its development based on practical experience [1–3]. However, recent research conducted by the authors showed that the process of developing a menu can be scientifically justified [4, 5–12] and this process must be preceded by the formation of a system of technological development principles menu.

Aim:

- to set forth principles of development of menu for the enterprises of restaurant economy;
- to formalize the process related to procedure of development of menu;
- to provide the higher level of professionalism implementation of this work;
- to undertake the first steps from creation of methodology of development of menu for some types of enterprises of restaurant economy.

The main material research. It should be noted that food service whose content reflects menu consists of three components - production, sale and consumption organization. Therefore the drop can be seen as part of

the information, first, the production process (plan menus, menu-layout developed for production workers) and, secondly, the implementation of products to consumers. Thus, the menu should vary both in its content and functionality. Menu according to the French chef Fernand Puana performs three functions: "caresses the eye, causing appetite and informs visitors about what it costs await" menu actually performs other "duties", and in each facility they will be different. For example, the menu original design can become a "highlight" in a club-type institution in a democratic and cafes, while not accepted gastronomic restaurants detract from the culinary delights nor extravagant interior or intricately decorated menu. However, there is a general requirement for the menu of any type and establishments of any category, which can be expressed briefly: the menu should be effective, that trigger appetite and liking for school, help guests make the choice, and the hosts-selling and most profitable fashion dish.

However, the menu – a result of the production staff. Therefore, in accordance with GOST R ISO 9000-2001, the menu is the production company within which the modern approaches to solution quality. Assessment of quality services, including its information component, today is important.

The basis of assessing the quality of design menus to put criteria such as compliance menu business type and form of service that forms the view menu. Type menu to identify it with the type of company, look - with its intended purpose. In fact, the type, form and functionality of the menu can be viewed as its classification features.

The classification allows systematize information component services of food - the menu, and develop common approaches to its development.

Our studies allow to formulate the following basic design principles menu: the principle rationale list of dishes that are appropriate to include a menu variability principles, structuring drop adaptation to the type of business, the type of food, the principle of ensuring the implementation of technical menu that characterizes the technological capabilities of the company, principle of adapting the menu to the recommended diet.

Each of these principles is based on a set of rules, Guided by which you can avoid errors when developing menus. An analysis of each of the defined principles.

The principle of justification complexes selected dishes is that the menu should be tied to the type of enterprise, its technical capabilities, and taking into account that the list of foods that used to turn the menu is not stable, helped by a number of factors. First, the specific location of the natural resources of institutions that form the tradition of food. Secondly, commercialization businesses restaurants. Third, the use of new forms of customer service.

The principle of variability menu is to quickly respond to changing menus popytu.v It is based on

monitoring consumer demand for different groups of culinary products.

The principle of structuring menu is to separate it into parts, representing the range of certain groups of products which the consumer can order: cold dishes and appetizers, hot appetizers, first and second courses. This development approach allows menu standardize the work process. and a prerequisite for its proper execution.

The principle of adapting the menu to the type of enterprise is to provide a menu structure that determines

the approach to drawing up menus. Recommended standardized menu structure. Thus, adaptation to the type of menu enterprise is subject normative documents regulating requirements for range of products now (Table 1, 2). [2].

The menu is developed for both existing businesses and those that open. Analysis menu specific type of existing enterprises, monitoring consumers the advantages in choosing foods will help to map the dishes that are ordered most often, and dishes "outsiders" sale.

Table 1 – Signs of accordance of menu to the different types of enterprises of feed

| № | The type enterprises | Signs describing the menu line business type enterprises |
|---|--|---|
| 1 | Restaurants specialized | The corresponding range of dishes and products complex manufacturing all groups. The corresponding range of wine-vodka products, confectionery manufacturing. |
| 2 | Bars | The corresponding range of drinks, cocktails snacks, desserts and pastry products. |
| 3 | Cafe | Wide range of hot and cold drinks. The corresponding range of confectionery and desserts. |
| 4 | Dining: Scope – general type, diet; contingent on consumers - at sanatoriums, the recreation, the estate, the industrial enterprise. school, student, etc. | A wide range of snacks, cold and hot dishes. culinary products, confectionery, fruit and vegetables. |
| 5 | Snack common type, specialized | The narrow range of culinary products from a certain type of raw material. |

Table 2 – Classification and characterization of dietary menus on board

| Cheats | Name | Allowed | Not allowed |
|--------|---|--|---|
| VGGML | Vegetarian | Vegetables and fruits of all kinds | Meat, fish, animal products |
| AVML | Asian-vegetarian | Vegetables and fruits of all kinds | Meat, fish, animal products |
| WVML | Western-vegetarian | Vegetables, fruits and dairy products | Meat, fish, animal products |
| VLML | Vegetarian for Lacto | Vegetables, fruits and dairy products | Meat, fish, animal products |
| HNML | Hindi of menu | Chicken, lamb, fish, dairy products, vegetables | Beef, veal and cheese |
| MOML | Moslem | Fruits, vegetables, chicken | Pork, alcohol |
| KSML | Koshsrne | Kosher food | Not kosher food |
| BBML | For kids | Special meals for kids | Alcohol |
| CHML | Child's food | mild dishes | Alcohol |
| NLML | Delactosed | Fruits, vegetables, meats of all kinds | Dairy products |
| LSML | With mionectic maintenance of salt | Food without salt, low fat | Salt, nuts, alcohol, salty marinade |
| LCML | With mionectic content of calories | Lean meat, fish, raw vegetables, fruits, dairy foods low in fat | Fatty milk fat fish, meat, sugar, pasta, desserts, dried fruits |
| LFML | With mionectic content to the cholesterol | Chicken, lean meat, low-fat dairy products, raw vegetables, fruits | Fatty foods, egg egg yolks, fatty dairy products |
| FPML | Fruit | Fruits, vegetables of all kinds | - |
| DBML | Diabetic | Apples, pears, lean meats, dairy products | Bananas, grapes, pineapple, fatty meat, sugar, honey, bread |
| SFML | seafood | Fish of all kinds, fruits, vegetables | meat |

Developing menu is important to represent all groups of culinary products that reflect the potential of the company, taking into account the required range,

seasonality.

For each type of enterprise can be their approaches to offer a menu of various dishes.

For example, for recreational region in restaurants and catering enterprises, the main rule include menu of dishes is a triad: local fame; dish should be functional, aesthetically appealing and the main motivation for inclusion dishes to the menu should be the formula: "Our company considers the average consumer's taste."

However, the menu should not be permanent. A role in improving the menu design should take advertising and presentation of foods, allowing customers to focus on all positions range. A popular trend in the preparation of the menu is offering meals, cooking which is carried in the dining hall of the company. semi dishes or cooking for those wishing to go on a picnic.

The principle of adapting the menu to the type of food. Its use in restaurants and catering enterprises, serving visitors who have certain religious beliefs, yet with health problems (diet), children (baby food). The basic rule to include food menu is full compliance with recipes and food technology type.

The principle of technical support in the implementation dining menu is to analyze the technical capabilities of the company to expand the range of dishes included in the menu, ensuring customers' expectations.

The principle of adaptation to the menu of food rations is particularly important for businesses serving populations over time, providing breakfast, lunch, dinner.

In order to scientifically based implementation of this principle prompted us to use mathematical models and methods to optimize the choice of recipes of dishes from the existing process documentation developed and adapted the menu to the food rations [3, 13–17].

Determined following algorithm development menu:

- Determination of the daily requirement of raw materials and nutritional value of diets;
- Definition of technical documentation that regulates food recipes for a particular category of consumers;
- Determination of the multiplicity of use dishes that are made for specific recipes for the planned length of time;
 - Differentiation dishes based meal times;
 - Arrangement of dishes for different meals given daily requirement of food;
 - Analysis menu developed in terms of the use of the daily requirement of food;
 - Analysis of the nutritional value of the developed menu.

Multidimensional problem of choosing types of food and multiplicity of cooking using specific formulations for the scheduled time can be reduced to a series of one-dimensional problems (according to types of dishes of meat, fish, etc.).

All foodservice businesses, regardless of size or type, have certain processes in common. Whether the foodservice business is a fast-food restaurant or a fine

dining establishment, it must purchase supplies from purveyors either by phone, computer e-mail or Web page, fax, letter, or from a salesperson who calls at the establishment. Both types of establishment must receive the supplies when they arrive, and someone must verify that the quantity, quality, and price are the same as ordered. The food must be put away in dry storage, refrigerator, or freezer. When needed, the food must be taken from storage and prepared for customers who order it. Finally, the food must be served to them.

All foodservice establishments, then, have the following sequence of operation: Purchasing; Receiving; Storing; Issuing; Producing; Selling and serving. In each of these steps it is possible for unwanted and unwarranted costs to develop [1]. Menu engineering is the study of the profitability and popularity of menu items and how these two factors influence the placement of these items on a menu.

Conclusions.

In the first phase we considered only the choice of dishes. The task was formulated as follows: how often and at what recipes should prepare main dishes that carried out certain conditions which take into account the operating capacity of the process at different stages of cooking; turnover dishes on different days of food and limitations:

- 1) the total number of cooking main dishes of meat and fish for the entire planning period (24 days) must be at least 48;
- 2) the total number of main dishes (including dishes with cheese, eggs and vegetables) should be 72;
- 3) restrictions should be performed at the minimum and maximum use of specific formulations.

As a result of studies using the developed mathematical models and computer technology, we found the optimal solution of the problem for one of the types of companies – dining at the tourist complex.

Список літератури

1. Dittmer, Paul. Principles of food, beverage, and labor cost controls / Paul R. Dittmer. 2003 by John Wiley & Sons, Inc., New York. 593 p.
2. ДСТУ 4281. Заклади ресторанного господарства. Класифікація (затв. Держспоживстандарт України від 01.07.04).
3. ДСТУ 4527:2006 Послуги туристичні. Засоби розміщення. Терміни та визначення.
4. ДСТУ 4269:2003 Послуги туристичні. Класифікація готелів.
5. ДСТУ 3279-95 Стандартизація послуг. Основні положення.
6. ДСТУ ІСО 9001-2001. Системи управління якістю. Вимоги.
7. Правила роботи закладів (підприємств) ресторанного господарства: Наказ № 219 вид 24. 07. 2002 р. Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції України.
8. Організація послуг харчування : підручник / А. И. Усіна, О. Ю. Давидова, И. В. Сегеда, Т. П. Кононенко. – КН. : КННУМН, 2014. 183 с.

9. Радченко Л.А. Организация производства на предприятиях общественного питания : учебник / Л.А. Радченко. Ростов на Дону : Феникс, 2011. 352 с.
10. Ассортиментный минимум блюд, напитков и кулинарных изделий, рекомендованных для разных типов предприятий общественного питания : Приказ № 365.
11. Новікова О.В. Організація харчування та обслуговування туристів на підприємствах ресторанного господарства: навчальний посібник / О. В. Новікова, Л. Сегеда І. В. Особливості обслуговування споживачів туристичних послуг. Економічний простір: збірник наукових праць. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2009. №28/2. С. 67–74.
12. Економіка гостиниц и ресторанов: практикум: монография / Ефимова-Стадник О. П. и др. Минск: БХЭУ, 2013. 204 с.
13. Фоменко Н.В. Рекреативні ресурси та курортологія: Навч. посібник. / Н. В. Фоменко. – К.: Центр навч. лит., 2007. 312 с.
14. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи). [текст] підручник. / С.І. Бухкало. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.
15. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи). 2-ге вид. доп. [текст] підручник. / Л.Л. Товажнянський, С.І. Бухкало, Денисова А.Є., І.М. Демидов та ін. – К.: ЦНЛ, 2016. 470 с.
16. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладі та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2, [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2018. 108 с.
17. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання). [текст] підручник. / С.І. Бухкало. – К.: ЦНЛ, 2014. 412 с.
5. DSTU 3279-95 Standartyzatsiya posluh. Osnovni polozhennya.
6. DSTU ISO 9001-2001. Systemy upravlinnya yakistyu. Vymohy.
7. Pravyla roboty zakladiv (pidpryyemstv) restorannoho hospodarstva: Nakaz № 219 vid 24. 07. 2002 r. Ministerstva ekonomiky ta z pytan' yevropeys'koyi intehratsiyi Ukrayiny.
8. Orhanizatsiya posluh kharchuvannya : pidruchnyk / A. I. Usina, O. YU. Davydova, I. V. Seheda, T. P. Kononenko. – KH. : KHNUMH, 2014. 183 p.
9. Radchenko L.A. Orhanyzatsyya proyzvodstva na predpryyatyakh obshchestvennoho pytanyya : uchebnyk / L. A. Radchenko. Rostov na Donu : Fenyks, 2011. 352 p.
10. Assortymentnyy mynymum blyud, napytkov y kulynamykh yzdeliy, rekomendovannyi dlya raznykh tyfov predpryyatuy obshchestvennoho pytanyya : Prykaz № 365.
11. Novikova O.V. Orhanizatsiya kharchuvannya ta obsluhovuvannya turystiv na pidpryyemstvakh restorannoho hospodarstva: navchal'nyy posibnyk/ O. V. Novikova, L. Seheda I. V. Osoblyvosti obsluhovuvannya spozhyvachiv turystychnykh posluh. Ekonomichnyy prostir: zbirnyk naukovykh prats'. Dnipropetrovs'k: PDABA, 2009. №28/2, pp. 67-74.
12. Ékonomyka hostynits y restoranov: praktykum: monohrafiya /Efymova-Stadnyk O. P. y dr. Mynsk: BHÉU, 2013. 204 p.
13. Fomenko N.V. Rekreatsiyni resursy ta kurortolohiya: Navch. posibnyk. / N.V.Fomenko. – K.: Tsentr navch.lit., 2007. – 312 p.
14. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. / S.I. Bukhkalov. – K.: CNL, 2014. 456 p.
15. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. / L.L. Tovazhnjanskij, S.I. Bukhkalov, A.É. Denisova, I.M. Demidov ta in. – K.: CNL, 2016. 470 p.
16. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2, [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2018. 108 p.
17. Bukhkalov S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannya). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. / S.I. Bukhkalov. – K.: CNL, 2014. 412 p.

Надійшла (received) 03.07.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сабадош Ганна Олександрівна (Sabadosh Ganna Oleksandrivna) – Ужгородський торговельно-економічний інститут КНТЕУ, доцент кафедри технології і організації ресторанного господарства; м. Ужгород, Україна, тел.: +380991991176; e-mail: aaasaa30@ukr.net.

Є. О. ГОНЧАРОВ, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, А. С. АБУ ШЕЙБА, В. В. СКЛЯР

ФОТОХІМІЧНА ІЗОМЕРИЗАЦІЯ ОЛЕФІНІВ

Стаття присвячена цис-транс-ізомеризації олефінів з використання ультрафіолетового випромінювання та вузьконаправлених УФ-фільтрів, в області яких відбувається поглинання ізомерами. Доведено, що при опроміненні олефінів (саломасу, фумарової та малеїнової кислот) при високих температурах спостерігається значне зниження вмісту транс-ізомерів. При використанні УФ-фільтрів з фіксованим спектром випромінювання, вихід протилежних ізомерів при опроміненні (із цис- в транс- і навпаки) являється значно вищим. Зазначена технологія ізомеризації олефінів може бути використана як нова самостійна технологія модифікації жирів, яка дозволить отримати продукт з допустимою кількістю транс-ізомерів або не міститиме їх зовсім.

Ключові слова: олефіни, олія, жири, транс-жири, ультрафіолетове випромінювання, цис-транс-ізомеризація, УФ-фільтри, фумарова кислота, малеїнова кислота.

E. A. GONCHAROV, F. F. GLADKIY, A. S. ABU SHEIBA, V. V. SKLYAR

ФОТОХИМИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ ОЛЕФИНОВ

Статья посвящена цис-транс-изомеризации олефинов с использованием ультрафиолетового излучения и узконаправленных УФ-фильтров, в области которых происходит поглощение изомерами. Доказано, что при облучении олефинов (саломаса, фумаровой и малеиновой кислот) при высоких температурах наблюдается существенное снижение содержания транс-изомеров. При использовании УФ-фильтров с фиксированным спектром излучения, выход противоположных изомеров при облучении (с цис- в транс- и наоборот) является значительно выше. Приведенная технология изомеризации олефинов может быть использованной как новая самостоятельная технология модификации жиров, которая позволит получить продукт с допустимым количеством транс-изомеров либо не будет их содержать вовсе.

Ключевые слова: олефины, масло, жиры, транс-жиры, ультрафиолетовое излучение, цис-транс-изомеризация, УФ-фильтры, фумаровая кислота, малеиновая кислота.

E. A. GONCHAROV, F. F. GLADKIY, A. S. ABU SHEIBA, V. V. SKLYAR

PHOTOCHEMICAL ISOMERIZATION OF OLEFINS

The article is devoted to cis-trans-isomerization of olefins using ultraviolet radiation and narrowly directed UV filters, in the region of which absorption by isomers takes place. It has been proven that irradiation of olefins (hydrogenated fat, fumaric and maleic acids) at high temperatures shows a significant decrease in the content of trans-isomers. When using UV filters with a fixed emission spectrum, the yield of opposite isomers during irradiation (from cis- to trans- and on the contrary) is much higher. The given technology for the isomerization of olefins can be used as a new independent technology for the modification of fats, which will make it possible to obtain a product with an acceptable amount of trans-isomers or will not contain them at all.

Keywords: olefins, oil, fats, trans fats, ultraviolet radiation, cis-trans-isomerization, UV filters, fumaric acid, maleic acid.

Вступ. У зв'язку з тим, що Всесвітня організація охорони здоров'я встановила норми споживання транс-жирів, а в 2009 році переглянула це рішення та постановила виключити з раціону промислові транс-жири, тема транс-жирів є дуже актуальною [1–8]. В Україні Міністерство охорони здоров'я оприлюднило проект Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» (щодо обмеження вмісту транс жирних кислот у харчових продуктах до 2% від загального вмісту жиру в продукції)». [1] Споживання транс жирних кислот пов'язано з підвищеним ризиком розвитку цілої низки порушень здоров'я населення, включаючи серцево-судинні захворювання і деякі форми раку.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями На даний момент актуальною проблемою є пошук технології завдяки якій можна перевести транс-ізомери в цис-форму. При ізомеризації зазвичай утворюється переважно менш стабільні ізомери, однак після досить тривалого опромінення досягається фоторівновага. Так, при опроміненні фумарової або малеїнової кислоти утворюється одна і та ж суміш, що складається приблизно з 75% малеїнової кислоти (цис-форма) і 25% фумарової кислоти (транс-форма).

Найбільш простий, хоча і не обов'язково кращий, шлях взаємного перетворення геометричних ізомерів полягає в їх нагріванні. У кількох випадках, наприклад для стильбенів, 1,2-діхлоретиленів, метилових ефірів коричневих кислот, енергетичний бар'єр взаємного перетворення становить 40–45 ккал, причому частотний фактор (10¹¹–10¹³) має звичайне значення. Доцільно зіставити цей енергетичний бар'єр з бар'єром у 3–7 ккал, характерним для обертання навколо простих зв'язків. Нижчі бар'єри існують в тих випадках, коли розглядається подвійний зв'язок, який бере участь в мезомерії, як в диметиловому ефірі малеїнової та цитраконової кислот і в полієнах, таких як каротин [2].

У свій час вважали, що існує другий механізм з низькими енергіями активації і, крім того, з низькими частотними факторами. Було зроблено припущення, що ізомеризації такого типу протікають через триплетний перехідний стан, а не через звичайний синглетний. Завдяки відштовхуванню електронів з паралельними спінами, триплетний стан проходить через енергетичний мінімум, коли обидві половини молекули знаходяться під прямим кутом. Це призводить до зниження енергії активації, але одночасно зменшується і частотний фактор, тому що

© Гончаров Є.О., Гладкий Ф.Ф., Абу Шейба А.С., Скляр В.В., 2019

триплет-триплетні переходи являються забороненими.

Однак це пояснення нині не є загальноприйнятим, оскільки для бутен-2, який розглядався як найбільш характерний випадок цис-транс-ізомеризації з низьким частотним фактором, було згодом показано, що в дійсності частотний фактор має звичайну величину.

Вже була опублікована стаття, де показана принципова можливість цис-транс ізомеризації на прикладі опромінення транс-жирів саломаса ультрафіолетовим опроміненням. Таким чином, в даній роботі поставлена мета переконатися в фотохімічній ізомеризації використовуючи при цьому УФ-фільтри, які поглинають в своєму спектрі транс-з'єднання, а також перевірити теорію щодо ізомеризації фумарової та малеїнової кислот.

Механізм фотохімічної ізомеризації можна предствити таким чином. При поглинанні світла молекула олефіна переходить в збуджений стан, енергія якого значно вище найвищого бар'єру. Якщо енергія не втрачається тут же на флуоресценцію, то вона може переходити в коливальну та обертальну енергію і обертання навколо центрального зв'язку може стати таким, що порушені стану рівноваги цис- і транс-ізомери будуть перетворюватися один в одного. Оскільки енергія збудженого стану цис-ізомерів вище, то молекула, що обертається, перебуває більш тривалий час в цій формі, ніж в формі, що відповідає порушеній станом транс-молекули.

Оскільки збуджена молекула, що обертається, знаходиться більше часу в конфігурації, яка відповідає цис-основному стану, то більша ймовірність, що при втраті енергії вона повернеться в основний цис-стан, а не в транс. Таким чином, в стаціонарному стані будуть переважати цис-молекули.

Слід розглянути і деякі інші точки зору на механізм фотохімічної ізомеризації. Зазвичай цис- і транс-ізомери поглинають світло кілька різної довжини хвилі. Якщо їх опромінюють суворо монохроматичним світлом, то ізомер, який поглинає світло, повинен кількісно перетворюватися в ізомер, що не поглинає світло. Навіть якщо випромінювання являє собою ультрафіолетове світло з широким спектром і з приблизно однаковою інтенсивністю в усій області поглинання обох ізомерів, все ж необхідно враховувати той факт, що транс-ізомери поглинають зазвичай більше ніж цис-. Це призводить до того, що навіть при однаковій ймовірності переходу фотозбудженого стану в цис- і транс-основний стан має мати місце деякий сумарне перетворення транс-форми в цис-форму [3,4].

Мета та задачі дослідження

Метою проведених досліджень було проведення фотохімічної ізомеризації олефінів (саломаса, фумарової та малеїнової кислот) з використанням ультрафіолетового випромінювання та УФ-фільтрів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- провести реакції ізомеризації з використанням ультрафіолетового випромінювання з фільтрами та без них;
- дослідити ізомеризовані зразки кислот за допомогою інфрачервоної спектрометрії;
- аналіз та висновки щодо отриманих результатів.

Матеріали і методи дослідження

- фарфорові стаканчики;
- спектрометр Specord IR 75;
- фумарова кислота згідно з ТУ 6-09-14-1803-85;
- малеїнова кислота згідно з ДСТУ 9803-75;
- кварцева трубка;
- олія соняшникова рафінована дезодорована згідно з ДСТУ 4492:2005;
- алюмосилікатний каталізатор (відбілена глина) згідно з ТУ: СОУ 15.4-37-210.
- глини вибілюючі жирні та порошки фільтрувальні жирні;
- нікелевий каталізатор згідно з ДСТУ 3211-95;
- кварцева лампа;
- фарфорові стаканчики;
- азот згідно з ДСТУ 9293:2009.

Методика проведення дослідження

1. Ізомеризація малеїнової та фумарової кислот.

Для початку, було проведено експеримент з ізомеризацією малеїнової та фумарової кислот, як один з поширених прикладів цис-транс-ізомеризації.

Для цього у колбу було поміщено 4 г малеїнової кислоти, зваженої на аналітичних терезах, додано 10 мл концентрованої соляної кислоти та 10 мл дистильованої води для подальшого нагрівання у водяній бані при 100 °С. Тривалість експерименту становила 1 годину. Після завершення нагрівання колбу необхідно охолодити, профільтрувати осад через паперовий фільтр та висушити до постійної ваги. Утворений осад є солями фумарової кислоти. Отримані результати занесені у таблицю 1.

Таблиця 1 – Вихід осаду з малеїнової кислоти без УФ випромінюванням

| Малеїнова кислота, г | Отриманий осад фумарової кислоти, г | Вихід фумарової кислоти, % |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 4, 019 | 0, 868 | 21 |

Іншу суміш малеїнової кислоти нагрівали під дією УФ-випромінювання. Результати у таблиці 2.

Таблиця 2 – Вихід осаду з малеїнової кислоти з УФ випромінюванням

| Малеїнова кислота, г | Отриманий осад фумарової кислоти, г | Вихід фумарової кислоти, % |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 4, 005 | 1,226 | 30 |

Для другого експерименту фумарову кислоту помістили у такі ж самі умови проведення реакції перетворення та на виході отримали профільтрований та висушений до постійної ваги осад малеїнової кислоти.

Без допомоги УФ, перетворення фумарової кислоти у малеїнову не відбувається. Отримані результати занесені у таблицю 3.

Таблиця 3 – Вихід осаду з фумарової кислоти з УФ випромінюванням

| Фумарова кислота, г | Отриманий осад, г | Вихід малеїнової кислоти, % |
|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| 4,023 | 3,662 | 9 |

План подальшого експерименту проводили з урахуванням наступної тези: малеїнова кислота поглинає випромінювання в області 215 нм, [5, 6]. Тому було вирішено провести опромінення з фільтром для посилення реакції цис-транс ізомеризації. Результати зазначені у таблиці 4 з метою проведення аналізу дослідження.

Таблиця 4 – Вихід осаду з малеїнової кислоти з УФ випромінюванням та фільтром 215 нм.

| Малеїнова кислота, г | Отриманий осад фумарової кислоти, г | Вихід фумарової кислоти, % |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 4,016 | 1,048 | 26 |

З таблиці видно, що експеримент не задовольняє нашим очікуванням, так як вихід фумарової кислоти став меншим.

Відповідно до малеїнової, проведено повторний експеримент з фумаровою кислотою, але з фільтром поглинання в 230 нм (таблиця 5).

Таблиця 5 – Вихід осаду з фумарової кислоти з фільтром надання енергії 230 нм.

| Фумарова кислота, г | Отриманий осад, г | Вихід малеїнової кислоти, % |
|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1,996 | 0,788 | 61 |

Таким чином, при опроміненні фумарової кислоти з фільтром спектру 230 нм, вихід малеїнової кислоти більше, ніж раніше.

2. Ізомеризація соняшникової олії.

Для другого експерименту було вирішено провести ізомеризацію соняшникової рафінованої

дезодорованої олії у присутності алюмосилікатного каталізатора (відбільної глини) так як загальноприйняте вважати, що алюмосилікатний каталізатор викликає поляризацію подвійного зв'язку олефінів і передає останньому протон в результаті чого забезпечується утворення іона карбонія, перетворення якого викликає ізомеризацію та полімеризацію олефінів, парафінів та ін. [7].

Задачею було перевірка алюмосилікатного каталізатору на ефективність ізомеризації та виявлення загальної кількості транс-ізомерів, що утворилася у продукті.

Другий експеримент був проведений з додаванням нікелевого каталізатора у соняшникову рафіновану дезодоровану олію для визначення його дії та порівняння результатів експерименту з дією відбільної глини.

Обидва експерименти проводилися в ізолюваній системі з продуванням азоту під впливом ультрафіолетового випромінювання та без нього. Для експерименту було взято 2 г олії і 0,2 г каталізатору (10% від маси олії). Олія нагрівалася на піщаній бані при 220–240 °С 1,5 годин в чотирьох фарфорових човниках: в одному човнику була олія з глиною, у другому олія з нікелевим каталізатором. Обидва екземпляри були поміщені у ізолювану кварцеву трубку з азотом та знаходилися під ультрафіолетовим випромінюванням. Інші два човника були також з олією та різними каталізаторами, але знаходилися тільки під нагріванням та продуванням азоту.

Для демонстрації найбільш результативного прикладу цис-транс-ізомеризації, приведено ІЧ-спектри для саломасу марки 2 (табл. 8, рис. 1 та 2), де можна побачити зміни в піках поглинання транс-ізомерів (~968 см⁻¹). Зменшення довжин піків ІЧ-спектрів говорить про те, що значна кількість транс-ізомерів перейшла у цис-форму.

Таблиця 6 – Класифікація саломасу

| Назва показника | Характеристика |
|------------------------|--|
| Фізичні характеристики | |
| Зовнішній вигляд | Тверда речовина білого кольору з відтінком жовтуватого |
| Колір | Кремовий |
| Запах і смак | Відповідає запаху і смаку жирової сировини. |
| Консистенція | Тверда |
| Температура плавлення | 47,8 °С |
| Волога | 0,04% |
| Хімічні показники | |
| Кислотне число | 1,98 |
| Титр | 50 |

В результаті спектрального аналізу було виявлено, що присутність відбильної глини та наявність ультрафіолету у значнішій мірі зменшує кількість транс-ізомерів у даній олії. Порівняти результати роботи можна за допомогою таблиці 7.

Таблиця 7 – Результати спектрального аналізу

| Каталізатор | Опромінений | Неопромінений |
|-----------------|-------------|---------------|
| Алюмосилікатний | 6 мм | 24 мм |
| Нікелевий | 16 мм | 29 мм |

Як видно з таблиці 7 алюмосилікатний каталізатор діє набагато краще у присутності ультрафіолету, ніж без нього, а також в значнішій мірі ефективніше нікелевого каталізатору. Завдяки відбильній глині вміст транс-ізомерів у олії зменшився у 4 рази, тоді як у присутності нікелевого каталізатору лише у два рази.

З метою перевірки ефективності цис-транс-ізомеризації з використанням селективного спектру УФ-випромінювання було обрано саломас марки 2 (табл. 6; рис. 1 та 2).

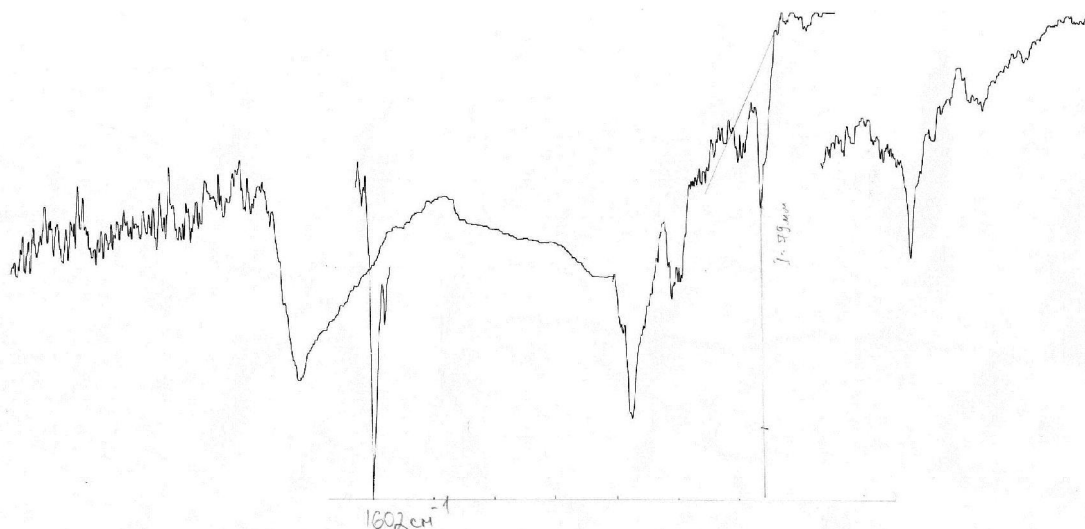


Рис. 1. Приклад робочої частини ІЧ-спектра саломасу марки 2 з алюмосилікатним каталізатором до обробки УФ випромінюванням

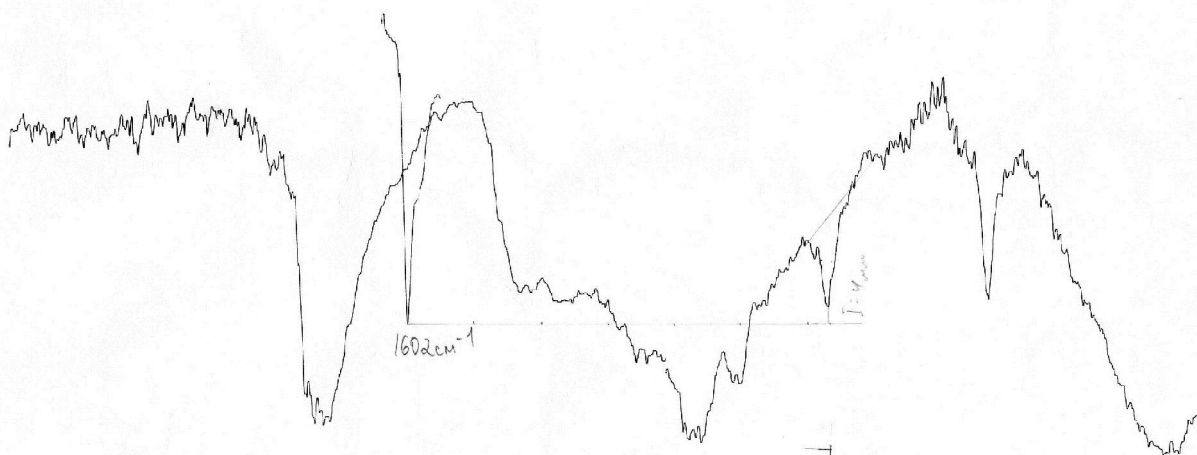


Рис. 2. Приклад робочої частини ІЧ-спектра саломасу марки 2 з алюмосилікатним каталізатором після обробки УФ-випромінюванням з фільтром 230 нм

Експеримент проходив за температури 220–240 °С, 1,5 год, з використанням алюмосилікатного каталізатору, подібно до минулого експерименту, але з УФ-фільтром в 230 нм (табл. 8).

Таблиця 8 – Результати спектрального аналізу

| Каталізатор | Опромінений | Неопромінений |
|-----------------|-------------|---------------|
| Алюмосилікатний | 4мм | 79 мм |

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Експериментально доведено і перевірено перехід із транс-форми в цис і навпаки при використанні УФ-випромінювання. При цьому, використання вузькосмугових УФ-фільтрів дозволяє отримати значно більший вихід ізомерів. Таким чином, важливо відзначити: довжина хвилі за

УФ-спектрами у 230 нм сприяє переходу транс-ізомерів у цис форму, а 215 нм відповідно – цис-форми у транс.

Робота потребує подальшого розвитку для отримання довершеної технології модифікації жирів за допомогою якої було б можливо контролювати кількість транс-ізомерів у жировому продукті.

Список литературы

1. Закон України "Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів" (Відомості Верховної Ради України, 2014, №41–42, с. 2024).
2. Бакстон Ш., Робертс С. Введение в стереохимию органических соединений. – М.: Мир, 2005. 311 с.
3. Физер Л., Физер М. Органическая химия. Углубленный курс. т. 1. пер. с англ. Под ред. д.х.н. Н. С. Вульфсона. Изд. «Химия». М., 1969, 682 с.
4. Гончаров С.О., Гладкий Ф.Ф., Литвиненко О.А. Геометрична ізомеризація ненасичених ацилгліцеринів. Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП», 2018. – № 40(1316). – С. 73–76. doi: 10.20998/2220-4784.2018.40.12
5. Тютюнников Б.Н., Богдан И.В. Об изменении радикалов жирных кислот при нагревании сложных эфиров с алюмосиликатом кислого характера. Маслобойно-жировая промышленность, №3, 1962. 6 с.
6. Mossoba M.M., Seiler A., Steinhart H., Kramer J.K.G., Rodrigues-Saona L., Griffith A.P., Pierceall R., van de Voort F.R., Sedman J., Ismail A.A., Barr D., Da Costa Filho P.A., Li H., Zhang Y., Liu X., Bradley M. Regulatory infrared spectroscopic method for the rapid determination of total isolated trans fat: a collaborative study. J. Am. Oil Chem. Soc. (2010); 88: с. 39–46. doi: 10.1007/s11746-010-1648-0.
7. Белов С.Г., Наумчик Г.О. Определение глубины деструкции органических соединений методом УФ-спектрометрии. Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. №2, с. 46–50.
8. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи). Підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.

References (transliterated)

1. Zakon Ukraïni "Pro osnovni principi ta vimogi do bezpechnosti ta yakosti harchovih produktiv" (Vidomosti Verhovnoi Radi Ukraïni, 2014, №41–42, p. 2024).
2. Bakston Sh., Roberts S. Vvedenie v stereohimiju organicheskikh soedinenij. – M.: Mir, 2005. 311 p.
3. Fizer L., Fizer M. Organicheskaja himija. Uglublennyj kurs. t. 1. per. s angl. Pod red. d.h.n. N. S. Vul'fsona. Izd. «Himija». M., 1969, 682 p.
4. Goncharov S.O., Gladkij F.F., Litvinenko O.A. Geometrichna izomerizacija nenasichenih acilgliceriniv. Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «KhPI», 2018. – No. 40(1316), pp. 73–76.
5. Tyutyunnikov B.N., Bogdan I.V. Ob izmenenii radikalov zhirnyh kislot pri nagrevanii slozhnyh efirov s alyumosilikatom kislogo haraktera «Masloboyno-zhirovaya promyshlennost», No. 3, 1962. 6 p.
6. Mossoba M.M., Seiler A., Steinhart H., Kramer J.K.G., Rodrigues-Saona L., Griffith A.P., Pierceall R., van de Voort F.R., Sedman J., Ismail A.A., Barr D., Da Costa Filho P.A., Li H., Zhang Y., Liu X., Bradley M. Regulatory infrared spectroscopic method for the rapid determination of total isolated trans fat: a collaborative study. J. Am. Oil Chem. Soc. (2010); 88: с. 39–46. doi: 10.1007/s11746-010-1648-0.
7. Belov S.G., Naumchik G.O. Opredelenie glubiny destruktzii organicheskikh soedinenij metodom UF-spektrometrii. Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2013. №2, pp. 46–50.
8. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). Pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 456 p.

Надійшла (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гончаров Євген Олександрович (Гончаров Евгений Александрович, Goncharov Yevhen Oleksandrovich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри технології жирів та продуктів бродіння, м. Харків, Україна; e-mail: failurehater@gmail.com

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

Абу Шейба Аліна Саадівна (Абу Шейба Алина Саадовна, Abu Sheiba Alina Saadovna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент кафедри технології жирів та продуктів бродіння, м. Харків, Україна; e-mail: abu.sheiba6@gmail.com

Скляр Владислава Володимирівна (Скляр Владислава Владимировна, Sklyar Vladislava Vladimirovna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент кафедри технології жирів та продуктів бродіння, м. Харків, Україна.

К. В. СЛИСЬ, В. К. ТИМЧЕНКО, В. Д. БЛОХИНА

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРЕМА КОСМЕТИЧНОГО З НАНОМАТЕРІАЛАМИ ШИРОКОГО СПЕКТРУ ДІЇ

Представлено дослідження біологічної активності похідних фулерену C60, відповідно до вивчених літературних джерел інформації. Проведено аналіз літературних джерел з метою визначення технологічних властивостей і ефектів впливу похідних фулерену на властивості крему косметичного. Розроблено нову рецептуру з антиоксидантними властивостями для крему косметичного, що вперше містить фулеренову композицію. Порівняно фізико-хімічні показники з еталонним зразком з аналогічними властивостями. Удосконалено технологічний процес отримання крему косметичного MIRADA.

Ключові слова: фулеренол C60, гідратований фулерен, антиоксидант, наноматеріали, рослинні олії, крем косметичний емульсійний, біологічна добавка.

К. В. СЛИСЬ, В. К. ТИМЧЕНКО, В. Д. БЛОХИНА

ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМА КОСМЕТИЧЕСКОГО ИЗ НАНОМАТЕРИАЛОВ ШИРОКОГО СПЕКТРА ДЕЙСТВИЯ

Представлено исследование биологической активности производных фуллерена C60, в соответствии с изученными литературными источниками информации. Проведен анализ литературных источников с целью определения технологических свойств и эффектов влияния производных фуллерена на свойства крема косметического. Разработана новая рецептура с антиоксидантными свойствами для крема косметического, впервые содержащая фуллереновую композицию. Проведено сравнение физико-химических показателей с эталонным образцом с аналогичными свойствами. Усовершенствован технологический процесс получения крема косметического MIRADA.

Ключевые слова: фулеренол C60, гидратированный фуллерен, антиоксидант, наноматериалы, растительные масла, крем косметический эмульсионный, биологическая добавка.

К. V. SLIS, V. K. TIMCHENKO, V. D. BLOKHINA

RESEARCH AND ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF COSMETIC CREAM WITH NANOMATERIALS A WIDE SPECTRUM OF ACTION

A study of the biological activity of C60 fullerene derivatives is presented in accordance with the studied literature. An analysis of literary sources is carried out in order to determine the technological properties and effects of the influence of fullerene derivatives on the properties of cosmetic cream. A new formulation with antioxidant properties for cosmetic cream has been developed, for the first time containing a fullerene composition. Physico-chemical are compared with a reference sample, with similar properties. The technological process of obtaining cosmetic cream MIRADA has been improved.

Keywords: fullerene C60, hydrated fullerene, antioxidant, nanomaterials, vegetable oils, cosmetic emulsion cream, biological additive.

Вступ. Останніми роками поряд з традиційними компонентами в косметичних засобах з'явилися нові компоненти – речовини, які є останнім словом науки. Споживчі властивості косметичних засобів значно поліпшилися внаслідок широкого використання відомих речовин, дія яких раніше була недостатньо вивченою [1]. Серед таких можна назвати – фулерени, унікальні матеріали, що мають імуномодулювальні властивості, нормалізують клітинний обмін речовин та нервові процеси, підвищуючи стійкість до стресу, виявляють противірусні властивості, мають виражену протизапальну і антиалергенну дію, посилюють активність ензимів та регенеративну здатність тканин та ін.

Перша робота, присвячена використанню фулеренів в медичній хімії, з'явилася в 1993, де описувалося похідне фулерену, здатне стерично

блокувати циліндричну порожнину в протеазі вірусу СНІДу [2].

Фулерени – широко досліджені з моменту свого відкриття. Відомо, що фулерени C60 можуть бути хімічно модифіковані (ковалентне та нековалентне приєднання різних груп, комплексів, атомів), що дає змогу забезпечити оптимальні умови вияву їхньої реакційної здатності у біологічних рідинах та всередині клітини [1–6].

Найбільш затребуваним є фулерен C60, який представляє собою абсолютно сферичну молекулу що складається з п'яти та шестикутних торців (рис. 1а), має діаметр близько 1 нм (відстань між самим подальшим зв'язком С-С становить 0,7 нм, та 1 нм при включенні π -орбіталей). Завдяки своїй сферичній π -кон'югації, фулерен має безліч електронних і біологічних властивостей.

© Слісь К.В., Тимченко В.К., Блохіна В.Д., 2019

Мета дослідження та постановка проблеми.

В основі біологічної активності фулеренів лежать, в першу чергу, три властивості цих молекул: ліпофільність, що визначає мембранотропні властивості, електронodefіцитність, яка веде до здатності взаємодіяти з вільними радикалами, і здатність їх збудженого стану передавати енергію молекулі звичайного кисню і перетворювати його в синглетний кисень. Під дією світла молекула фулерену збуджується. Збуджена форма здатна або сама утворювати радикали, або передавати свою енергію молекулярному кисню, переводячи його в синглетний стан. Всі ці активні форми речовин можуть атакувати біомолекули: ліпіди, білки, нуклеїнові кислоти. Отже, існує два механізми дії радикалів: перший тип - пошкодження обумовлено будь-якими молекулами, тип другий - пошкодження здійснюється синглетним киснем. Для ДНК обидва шляхи ведуть до окислення нуклеотидів, що знижує стабільність фосфодіефірних зв'язків, в результаті чого при лужних рН відбувається її гідроліз. Важливіша властивість фулеренів – утворювати активні форми кисню, що використовуються у фотодинамічній терапії, що є одним із способів лікування раку, наприклад, у кров пацієнтові вводять фотосенсибілізатори (речовини, здатні генерувати активні форми кисню під дією світла, в даному випадку – фулерени або їх похідні). Оскільки кровотік в пухлині слабкіше, ніж в іншому організмі, то фотосенсибілізатори накопичуються в ній, отже, після спрямованого опромінення пухлини відбувається збудження молекул фотосенсибілізатора і генерація активних форм кисню, що викликає апоптоз ракових клітин і руйнування пухлини. З іншого боку, фулерени володіють антиоксидантними властивостями, оскільки є активними акцепторами радикалів, що дозволяє використовувати їх в якості пасток для активних форм кисню (АФК). З чого можна зробити висновок, що молекула фулерену, може бути і антиоксидантом і прооксидантом.

Модифікована молекула фулерену має такі ж самі властивості, як і немодифікована молекула фулерену. Аналіз літератури виявив дані, що вказують на зв'язок антиоксидантної дії фулерену C₆₀ з тривалістю життя. Показано, що пероральне

застосування розчину фулерену C₆₀ в оливковій олії подовжує життя щурів, причому автори пов'язують це з антиоксидантною дією фулерену [3]. Похідні фулерену, вбудовані в ліпосоми, легко проникають через шкіру, надаючи високу антиоксидантну дію і не володіючи вираженою токсичністю, а гелі, що містять фулерен, можна використовувати для лікування вугрів і запальних захворювань, викликаних окислювальним стресом. Водорозчинні фулереноли можуть досить широко застосовуватися в медицині і фармакології, так як вони добре сумісні з водою, фізіологічними розчинами, кров'ю, лімфою, шлунковим соком. Можливо їх використання в косметології, при роботі з водними і водно-спиртовими основами, олійними, водно-олійними і олійно-водними основами, що дозволить створювати нові косметичні рецептури. Важливо, щоб фулерени мали гарну розчинність (яка залежить від кількості введених гідроксильних груп, рисунок 1 б) [4], бо нерозчинність – одна з важливих проблем, що перешкоджає їх практичному застосуванню, особливо в косметичній промисловості [5].

Полігідроксиліровані фулерени, так звані фулереноли або фулероли, мають багато гідроксильних груп, утворених хімічною модифікацією ковалентних зв'язків C-O, на їх сферичних поверхнях. В НТЦ "Nanocluster" розробили унікальну методику синтезу фулеренолу з великою розчинністю C₆₀(OH)_n, де (n>40). Інфрачервоні спектри фулеренолу – теж саме, що й ДНК для людини, це дозволяє стверджувати, що зразок саме фулеренол, а не щонебудь інше. Для ідентифікації фулеренола-d отримані ІЧ-спектри, область наведених частот складала $\tilde{\nu} \approx 379,98 \div 1714,47 \text{ см}^{-1}$ (Т - пропускання в отн. %), рис. 2: виходить, що це не конкретний фулеренол C₆₀(OH)_n, а суміш фулеренолів з кількістю гідроксильних груп (-OH) от 40 до 60 [6] рис. 2.

Завдяки використанню метода комп'ютерного моделювання молекулярної динаміки, показано проникнення молекули фулерену в мембрану клітини [7] (рис. 3). Є дослідження транслокації кластерів фулерену через модельну ліпідну мембрану і вплив високих концентрацій фулерену на мембранні властивості.

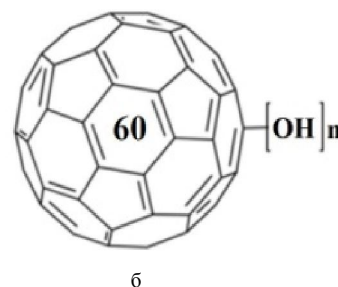
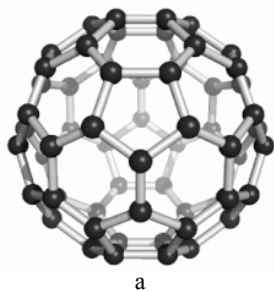


Рис. 1: а – вид фулерена C₆₀; б – фулеренол (полігідроксиліований фулерен, водорозчинний) [6].

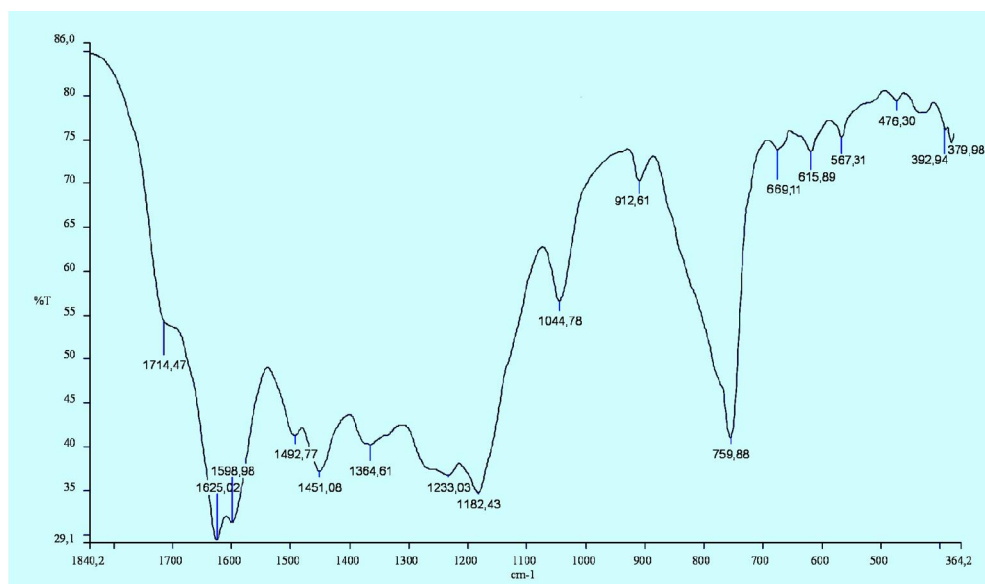


Рис. 2. Інфрачервоні спектри суміші фулеренолів з кількістю гідроксильних груп 40–60 [6].

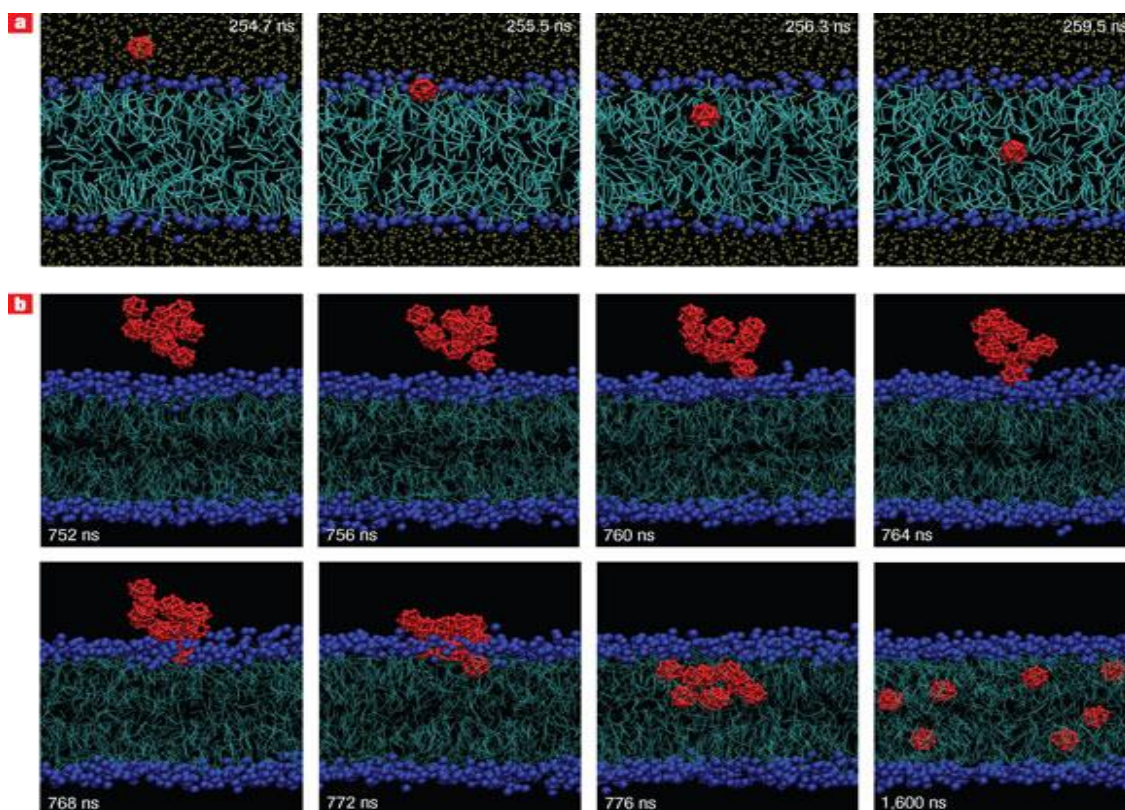


Рис. 3. Механізм проникнення фулерену через ліпідну мембрану [7]: а. Мономерний фулерен швидко перетинає область групи ліпідних головок, потім дифундує повільніше у внутрішній мембрані. Фулерен показаний червоним кольором, ліпіди в блакитному кольорі з синіми головними групами (фосфодієфірні групи), а вода – жовтою. Час моделювання вказано на кожному знімку; б. Проникнення скупчення з десяти фулеренів. Ліпідні фосфодієфірні групи показані як сині сфери, ліпідні хвости – сині лінії; вода не представлена. Проникнення кластерів фулерену набагато повільніше, ніж для мономерів, і починається з введення одного фулерену в область ліпідних груп голови. Час моделювання вказано на кожному знімку.

Молекули фулерену швидко агрегуються у воді, але розбиваються після входу в мембранне нутро. Проникнення, твердоподібного фулеренового агрегату в ліпідний двошаровий шар термодинамічно

сприятливе і відбувається на мікросекундній часовій шкалі. Високі концентрації фулерену викликають зміни в структурі та еластичних властивостях ліпідного шару, але вони недостатньо великі, щоб

механічно пошкодити мембрану. Автори свідчать про те, що механічні пошкодження є малоймовірним механізмом порушення мембран та токсичності фулерену.

Гідратований фулерен (ГФ) – це також модифікована молекула фулерену, модель гідратованого С60 фулерена вперше розроблена харківським вченим Г.В. Андрієвським, (рис. 4) [8]. У водному середовищі передбачається, що вода в фулерено-водному кластері характеризується трьома рівнями специфічних структур води. Перший шар, близько пов'язаний – це жорстко орієнтовані, загальмовані молекули води, безпосередньо пов'язані з поверхнею молекули фулерену і що, в цілому, іменується, як ГФ. За цим шаром сильно поляризованої води слідує гетерогенний, в різному ступені упорядкований шар «перехідної» води, який в сотні разів ширше першого, що відокремлює воду, впорядковану ГФ від неупорядкованої, об'ємної води.

При цьому ступінь впорядкованості, загальмованості молекул води в другому шарі (що визначається часом їх осілого життя і міцністю водневих зв'язків між ними) в міру віддалення від поверхні ГФ плавно зменшується і переходить в третій, дифузний шар, де властивості впорядкованої і об'ємної води перестають бути практично помітними. Саме такою поведінкою ГФ у водному середовищі пояснюється їх унікальна антиоксидантна активність [9]. ГФ молекула С60, укладена в об'ємну оболонку з молекул води.

Встановлено, що ГФ проявляють широкий спектр біологічної дії як *in vivo*, так і *in vitro* навіть у край низьких дозах, за повною відсутністю токсичності. Є дані, що ГФ володіють своєрідною хімічною активністю. З одного боку, їх можна розглядати як сильні антиоксиданти, з іншого – донори електронів для кисню, тобто прооксиданти, що пояснюється особливими властивостями водних сферичних оболонок [10].

В роботі [11] показано вивчення мембрано-стабілізуючого водорозчинного гідратованого фулерену (ВРГФ) за методом JAGER F.C., аналіз довів, що по активності ВРГФ (46%) не поступається вітаміну Е (45%).

Фулерен С60 є нетоксичним, фактично в гідратованій формі без побічних ефектів і з достатнім радіозахисним ефектом в низьких дозах, С60НуFn можна розглядати, як новий антиоксидантний агент, який суттєво зменшує шкідливий вплив іонізуючої радіації [12].

Модель ГФ (рис. 4) може бути ключем для розуміння ролі водних структур людського організму для його нормально функціонування.

Метою дослідження було виявлення можливості застосування фулерену та його похідних у складі емульсійного косметичного крему на жировій основі.

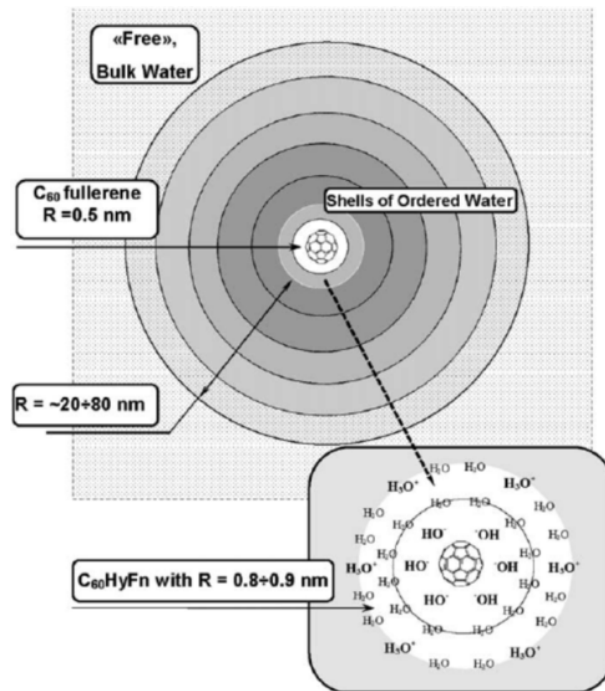


Рис. 4. Модель гідратованого С60 фулерена (С60НуFn-стабільний донорно-акцепторний комплекс С60[Н2О]_n), оточений великомасштабними оболонками впорядкованої води [8]

Предметом представленого дослідження є косметичний крем, розроблений на ООО «Аромат» м. Харків, у виробничій та мікробіологічній лабораторіях.

Під час створення нової рецептури під назвою MIRADA (табл. 1: G – норма внесення, мас, %; g.s.* – *guantumsatis* – скільки буде потрібно) до складу включили інгредієнти, які мають ролі союзників та не інактивують один одного.

Із таблиці 1 виходить, що експериментальний емульсійний крем, типу масло-вода, в складовій має ланолін, рослинні масла, білий віск, емульгатори, консерванти, біологічно активну добавку фулереновду композицію: полігідроксилірований фулеренол С60(OH)_n (n>40) + гідратований фулерен С60FWS, токоферол (вітамін Е).

Експериментальний крем виробляється за класичною безперервною схемою виробництва емульсійних кремів. Схема удосконалена на стадії приготування фулерен-водної композиції з підбором температурних режимів. Реалізація винаходу дозволяє збільшити антиоксидантну властивість косметичного крему.

Експериментальний зразок порівняно з еталонним зразком підприємства аналогічних властивостей (табл. 2) та досліджено за стандартними методиками. Органолептичні та фізико-хімічні показники обох зразків (табл. 2)

Таблиця 1 – Складові косметичного крему та їх дозування у якості інгредієнтів

| Найменування інгредієнтів | | Властивості | G |
|--|---|---|---|
| Жирова фаза | | | |
| Обліпихова олія | Oleum Hippophaes | Емомент | 7,0 |
| Мигдальна олія | Amygdalus communis L | Емомент | 7,0 |
| Оливкова олія | Olea europaea | Емомент | 7,0 |
| Комплексний емульгатор (стеарат ПЕГ – 400 1%, олеат ПЕГ 400 – 0,5%) | Моно- і дієфіри олеїнової та стеаринової кислот у суміші з поліетиленгліколем - 400 | Емульгатор | 2,0 |
| Ланолін | Lanolinum | Емульгатор | 1,5..3 |
| Вітамін Е | Альфа-токоферола ацетат | Вітамін, антиоксидант | 2% |
| Білий віск | White beeswax (BP, JP), Cera alba (Ph Fur) White wax (USPNF) | Ранозагоювач, стабілізатор | 1,5...4,0 |
| Пантенол | R-2,4-дигідроксі-N-(3-гідроксіпропил)-3,3-диметілбутанамід | Метаболіт, ранозагоювач, протизапальний компонент | 1,5..2 |
| Камфора | Camphora | Регенеруючий комплекс | 04 |
| Фарнезол | (2E,6E)-3,7,11-триметилдодека-2,6,10-триєн-1-ол | Регенеруючий комплекс | 0,5 |
| Олія шавлії | Salviae aetheroleumm | Антибактеріальний комплекс | 0,2 |
| Запахник | - | Запахник | g.s.* |
| Водна фаза | | | |
| Фулереноводна композиція: полігідроксилірований фулеренол C ₆₀ (OH) _n (n>40)+ гідратований фулерен C ₆₀ FWS | C ₆₀ (OH) _n (n>40) C ₆₀ FWS | Модифікатор реології Антиоксидант | 0,005.. 0,20 мг/л 0,001– 10 мг/л |
| Сечовина (карбамід) | Діамід вуглецевої кислоти | Зволожуючий комплекс | 1,0..3,00 |
| Гліцерин | Гліцерол | Зволожувач | 1,5..3,0 |
| Бензиловий спирт | Бензиловий спирт | Консервант | g.s.-0,4 |
| Лимонна кислота (50% sol) | 2-гідрокси-1,2,3-пропантрикарбонова кислота | Регулятор рН | g.s.* |
| Вода демінералізована | Оксид гідрогену, вода | Розчинник | До 100 |

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика органолептичних та фізико-хімічних показників розробленого крему (1) з еталонним зразком (2)

| Показник | 1 | 2 |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Зовнішній вигляд | Однорідна маса без сторонніх домішок | |
| Колір | білий | Властивий кольору, встановленому у вимогах на крем конкретної назви |
| Запах | Властивий внесеному показнику | Властивий запаху, встановленому у вимогах на крем конкретної назви |
| Масова часта води і летких речовин, % | 75 | 5,0–98,0 |
| Водневий показник | 5,9 | 5,0–9,0 |
| Колоїдна стабільність | стабільна | стабільна |
| Термостабільність | стабільна | стабільна |

Очевидно, що косметичний крем MIRADA (1), як і еталонний зразком (2), відповідають нормативним вимогам. MIRADA крем повністю відповідає нормативним вимогам ДСТУ 4765:2007. Креми косметичні.

На основі проведених досліджень розроблено технологічну схему одержання антиоксидантного крему MIRADA (рис. 5). Косметичний крем має антиоксидантний ефект. Для профілактики старіння, крем виконує захисні функції і допомагає шкірі виглядати свіжою і рівною; сприяє зниженню запалень (це в свою чергу дає можливість тканинам виробляти більше колагену), введені біологічні добавки значно уповільнюють окислення і нейтралізують електричний заряд оксидантів.

На рис. 5 приведена схема з механічним емульгуванням. Олії, жири, жироподібні речовини

подають по трубопроводу А до апарату 1, обладнаних потужними мішалками для грубого емульгування та сорочкою для підігріву маси. Фулереноводну композицію готують у апараті 3, призначеному для приготування сумішей водорозчинних компонентів: полігідроксилірований фулеренол C₆₀(OH)_n (n>40) та гідратований фулерен C₆₀FWS запарюють двічі дистильованою водою температурою 80 °С та стабілізують 15–20 хв. Підготовлені для емульгування фази, згідно рецептури, подають в реактор 4 з трьома потужними мішалками швидкістю 1500 с⁻¹.

Емульгування фулерен-водного завісу з жирною фазою триває 15–20 хв. при температурі 80 °С. Перемикачі 5, 10 та 12 автоматично регулюють поперемінно роботу апаратів.

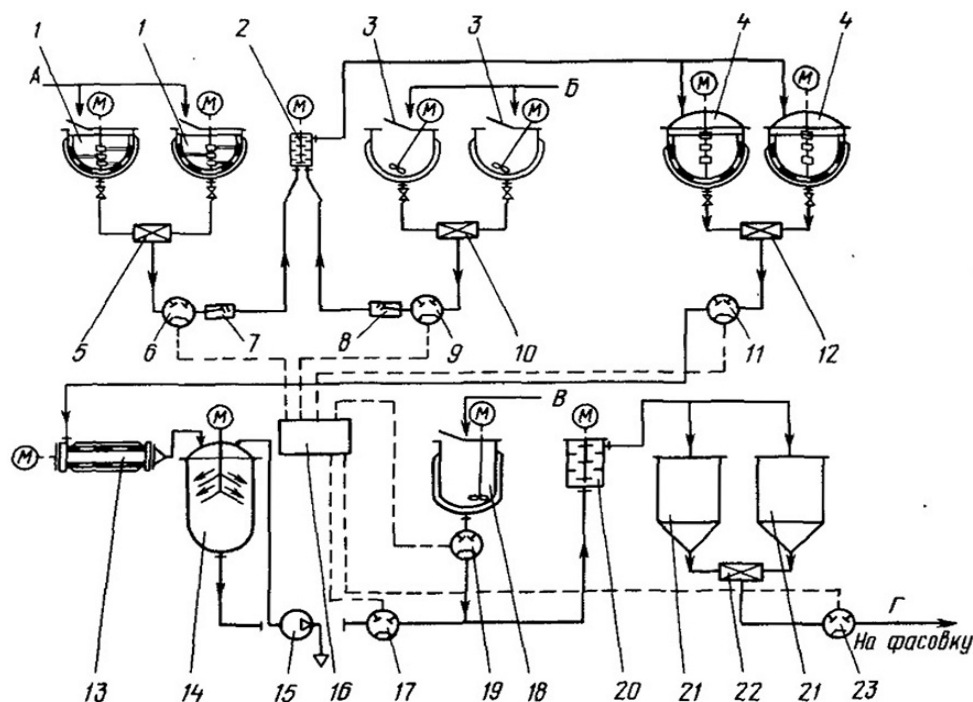


Рис. 5. Технологічна схема виробництва антиоксидантного крему косметичного MIRADA

Дозування водної та жирової фаз відбувається через насоси-дозатори 6 та 9. Регулювання їх дози проводиться так само, як і дози насосів 11, 17, 19 та 23, згідно рецептурному листу, з програмного пульта управління 16.

Відведені суміші водо- і жиророзчинних компонентів після фільтрування на фільтрах 7 і 8 надходять на механічний емульсор безперервної дії 2. Ретельно перемішана і вирівняна по температурі емульсія насосом 11 прокачується через холодильник безперервної дії 13 і деаератор 14.

Деаератор тарілчастого типу безперервної дії працює під розрідженням, створюваним вакуум-насосом 15.

У технологічній схемі передбачено деаератор, що вилучає повітря з емульсії, яке утворюється у процесі емульгування та ретельного перемішування. Повітря в емульсії шкідливо впливає не тільки на якість крему, а й на стійкість емульсії в цілому. Надалі охолоджена до температури 35–40 °С і звільнена від повітря емульсія насосом 17 подається в останній емульсор 20.

У емульсію у міру просування її безпосередньо в сполучному трубопроводі вносять біологічно активні добавки, екстракти, віддушку і інші компоненти, дозується насосом 19.

Список літератури

1. Пешук Л.В., Бавіка Л.І., Демідов Л.М. Технологія парфумерно-косметичних продуктів. – К. : Центр учбової літератури., 2007. 376 с.
2. Думпис М.А., Николаев Д.Н. и др. Биологическая активность фуллеренов – реалии и перспективы //

Корисні добавки надходять в цех по трубопроводу В і зберігаються в апараті 18.

У емульсорі 20 відбувається остаточне емульгування і забезпечується висока дисперсність зваженої фази з величиною частинок 1–5 мкм.

Підготовлена емульсія надходить в ємність 21 для визрівання і зберігання, а в подальшому насосом 23 через регулятор 22 по трубопроводу Г відправляється на фасування.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Визначено біологічну активність похідних фулерену C60, відповідно до проаналізованих літературних джерел інформації.

Проведено аналіз літературних джерел з метою визначення науково-обґрунтованого плану досліджень. Означені технологічні властивості та ефект впливу похідних фулерену на крем косметичний відповідно з розробленою рецептурою.

Порівняно фізико-хімічні показники експериментального косметичного продукту з еталонним зразком, який має аналогічні властивості.

Подальші дослідження спрямовані на предмет вивчення антиоксидантної та антимікробної дії розробленого крему і оптимізації його складу.

Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2018. – Т. 16. №1, с. 4–20.

3. Tarek Baati, Fanchon Bourasset. The repeated oral administration of [60] fullerene. Elsevier Ltd. 2012
4. Chiang, L.Y., Wang, L.-Y., Swirczewski, J.W., Soled, S. & Cameron, S. (1994). Efficient synthesis of polyhydroxylated fullerene derivatives via

- hydrolysis of polycyclosulfated precursors, *J. Org. Chem.* 59: pp. 3960–3968.
5. Ken Kokubo. Water-Soluble Single-Nano Carbon Particles: Fullerene and Its Derivatives, Graduate School of Engineering, Osaka University Japan.
 6. <http://www.nanocluster.ru/>
 7. Jirasak Wong-Ekkabut, Svetlana Baoukina, Wannapong Triampo, I-Ming Tang, Peter D. Tieleman, Luca Monticelli. Computer simulation study of fullerene translocation through lipid membranes // *Nat Nano.* 2008. Vol. 3. № 6, pp. 363–368
 8. Andrievsky G.V., Klochkov V.K., Karyakina E.L., Mchedlov–Petrossyan N.O. 1999. Studies of the colloidal solutions of the fullerene C60 by electron microscopy. *Chem. Phys. Lett.*, pp. 300: 392–396.
 9. Андриевский Г.В., Универсальная биологическая активность гидратированного фуллерена и его наноструктур, как ключ к пониманию закономерностей действия сверхмалых доз. Механизмы действия сверхмалых доз: тез. докладов 4 межд. симпозиума, М., 28–29 октября 2008. ИБХФ РАН, с. 6–7.
 10. Малоштан Л.М., Шаповал О.М., Должикова О.В., Отчет. Изучение специфической активности и токсического действия водного раствора гидратированного фуллерена C60 (ВРГФ). Национальный фармацевтический университет. Проблемная лаборатория морфофункциональных исследований. Харьков. 2009. 67 с.
 11. Grigory V., Andrievsky, Vadim I. Bruskov, Artem A., Tykhomyrov. Original in vitro and in vivo peculiarities of the antioxidant and radioprotective effects of hydrated C60 fullerene nanostructures. *Free Radical Biology & Medicine* journal homepage.
 12. Andrievsky G.V.; Klochkov, V.K.; Derevyanchenko, L.I. Is C60 fullerene molecule toxic?! Fullerenes, *Nanotubes Carbon Nanostruct.* 13: 363–376; 2005
 3. Tarek Baati, Fanchon Bourasset. The repeated oral administration of [60] fullerene. Elsevier Ltd. 2012.
 4. Chiang, L.Y., Wang, L.-Y., Swirczewski, J.W., Soled, S. & Cameron, S. (1994). Efficient synthesis of polyhydroxylated fullerene derivatives via hydrolysis of polycyclosulfated precursors, *J. Org. Chem.* 59: pp. 3960–3968.
 5. Ken Kokubo. Water-Soluble Single-Nano Carbon Particles: Fullerene and Its Derivatives, Graduate School of Engineering, Osaka University Japan
 6. <http://www.nanocluster.ru/>
 7. Jirasak Wong-Ekkabut, Svetlana Baoukina, Wannapong Triampo, I-Ming Tang, Peter D. Tieleman, Luca Monticelli. Computer simulation study of fullerene translocation through lipid membranes // *Nat Nano.* 2008. Vol. 3. No. 6, pp. 363–368.
 8. Andrievsky G.V., Klochkov V.K., Karyakina E.L., Mchedlov–Petrossyan N.O. 1999. Studies of the colloidal solutions of the fullerene c60 by electron microscopy. *Chem. Phys. Lett.*, pp. 300: 392–396.
 9. Andrievskij G.V., Universal'naja biologicheskaja aktivnost' gidratirovannogo fullerena i ego nanostruktur, kak kljuch k ponimaniyu zakonornostej dejstvija sverhmalyh doz. Mehanizmy dejstvija sverhmalyh doz: tez. dokladov 4 mezhd. simpoziuma, M., 28–29 Oktjabrja 2008. IBHF RAN, с. 6–7.
 10. Maloshtan L.M., Shapoval O.M., Dolzhikova O.V., Otchet. Izuchenie specificheskoy aktivnosti i toksicheskogo dejstvija vodnogo rastvora gidratirovannogo fullerena S60 (VRGF). Nacional'nyj farmacevticheskij universitet. Problemnaja laboratorija morfofunkciol'nyh issledovanij. Har'kov. 2009. 67 p.
 11. Grigory V., Andrievsky, Vadim I. Bruskov, Artem A., Tykhomyrov. Original in vitro and in vivo peculiarities of the antioxidant and radioprotective effects of hydrated C60 fullerene nanostructures. *Free Radical Biology & Medicine* journal homepage.
 12. Andrievsky G.V., Klochkov V.K., Derevyanchenko L.I. Is C60 fullerene molecule toxic?! Fullerenes, *Nanotubes Carbon Nanostruct.* 2005, 13: 363–376.

References

1. Peshuk L.V., Bavika L.I., Demidov L.M. Tehnologija parfumerno-kosmetichnih produktiv. – К. : Centr uchbovoi literaturi., 2007. 376 p.
2. Dumpis M. A., Nikolaev D.N. i dr. Biologicheskaja aktivnost' fullerenov – realii i perspektivy // *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoj terapii.* 2018. – T. 16. No.1, pp. 4–20.

Поступила (received) 17.06.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Слісь Карина Вікторівна (Slis Karina, Слись Карина Викторовна) – Postgraduate Student, Department of Organic Synthesis and Nanotechnology NTU «KhPI», Kharkov, Ukraine; contact number: 095-69-68-045; e-mail: 0927@gmail.com

Тимченко Валентина Кузьмівна (Timchenko Valentina, Тимченко Валентина Кузьминична) – Phd, candidate of technical sciences, Professor, Department of Technology of Fats and Fermentation Products, NTU "KhPI", Kharkov, Ukraine; contact number: (057) 707-63-29

Блохіна Валентина Дмитрівна (Blokhina Valentina, Блохина Валентина Дмитриевна) – Director of perfumery and cosmetic factory LLC Aromat; m. Kharkiv, Ukraine; contact number: (057)733-19-41; e-mail: aromat@aromat.com.ua

С. В. НЕСТЕРЕНКО, Д. Ф. ДОНСЬКИЙ, А. НЕМАХ

МОДЕЛЮВАННЯ АНТИКОРОЗИЙНОГО ЗАХИСТУ МАТЕРІАЛУ ОБСАДНОЇ КОЛОНИ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Розглядаються умови функціонування обладнання родовища в умовах водонапірного режиму вилучення нафти. Факторами корозійного руйнування нафтопромислового обладнання є температура, агресивні іони пластової води та супутні кислі гази CO_2 і H_2S . Показана можливість використання удосконаленого потенціостатичного методу для дослідження захисної дії цементного каменю, отриманого із суміші тампонажних матеріалів, для підвищення корозійної стійкості конструкційних сталей в складних умовах експлуатації. Показано, що добавки коксохімічних продуктів до складу композиції тампонажних розчинів можуть підвищувати захисні властивості цементного каменю при тампонажі свердловин, які експлуатуються в складних гірсько-геологічних умовах.

Ключові слова: корозія, пластова вода, тампонажні розчини, мінералізація, корозійна активність, інгібітори корозії, вольтамперограма, пітінг, репасивація

С. В. НЕСТЕРЕНКО, Д. Ф. ДОНСЬКИЙ, А. НЕМАХ

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МАТЕРИАЛА ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Рассматриваются условия функционирования оборудования месторождения в условиях водонапорного режима извлечения нефти. Факторами коррозионного разрушения нефтепромышленного оборудования является температура, агрессивные ионы пластовой воды и сопутствующие кислые газы CO_2 и H_2S . Показана возможность использования усовершенствованного потенциостатического метода для исследования защитного действия цементного камня, полученного из смеси тампонажных материалов для повышения коррозионной стойкости конструкционных сталей в сложных условиях эксплуатации. Показано, что добавки коксохимических продуктов в состав композиции тампонажных растворов могут повышать защитные свойства цементного камня при тампонаже скважин, эксплуатируемых в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: коррозия, пластовая вода, тампонажные растворы, минерализация, коррозионная активность, ингибиторы коррозии, вольтамперограмм, питтинг, репасивация

S. V. NESTERENKO, D. F. DONSKY, A. NEMAH

SIMULATION OF ANTI-CORROSION PROTECTION OF COVERING MATERIAL IN LABORATORY CONDITIONS

The materials are presented simulation of anti-corrosion protection of covering material in laboratory conditions. The conditions of operation of the equipment of the field under the conditions of water pressure regime of oil extraction are considered. Factors of corrosion destruction of oilfield equipment are temperature, aggressive formation ions and associated acid gases CO_2 and H_2S . The possibility of using advanced potentiostatic method to study the protective action of cement stone obtained from a mixture of cemented materials in order to increase the corrosion resistance of the structures is demonstrated. It has been shown that additives of coke-chemical products to the composition of the cementations mortar composition can increase the protective properties of cement stone during tamping of wells, which are operated in difficult mountain-geological conditions.

Keywords: corrosion, formation water, tamping solutions, mineralization, corrosion activity, corrosion inhibitors, voltamperogramma, pitting, repassivation

Вступ. Практика експлуатації нафтових родовищ із застосуванням заводнення пов'язана з відбором значних обсягів попутної пластової води, яка як правило, має високу мінералізацію. Це вимагає відповідних експлуатаційних витрат, викликаних катастрофічним корозійним зносом промислового обладнання, внаслідок чого експлуатація багатьох видобувних свердловин і цілих ділянок родовищ на пізній стадії експлуатації родовища стає економічно малоефективною або збитковою.

Перспектива видобування нафти в світі, зокрема в Іраку, є такою, що до розробки постійно залучаються або високосірчані поклади, або поклади, що супроводжуються присутністю сірководневого газу. Дуже часто нафтові поклади вміщують також двоокис вуглецю. На фоні складних

геологічних умов і підвищення глибини нафтових свердловин це створює додаткові ускладнення при видобуванні нафти, при яких спостерігається спільний вплив агресивних корозійних реагентів CO_2 і H_2S , які підсилюють дію один одного, особливо, в жорстких температурних умовах та при наявності високої мінералізації супутніх пластових вод. Тому дослідження факторів впливу на процеси корозії, зокрема її локальних видів та пошук нових корозійностійких матеріалів є достатньо актуальною проблемою.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Пошук шляхів захисту підземного нафтового обладнання, яким є обсадна колона в таких умовах і підвищення безремонтного

© Нестеренко С.В., Донской Д.Ф., Немах А., 2019

періоду її експлуатації є актуальною проблемою, яка пов'язана, як з економікою нафтового виробництва, так і з екологією нафтовидобувних регіонів внаслідок можливих перетоків пластових флюїдів при руйнуванні обсадної колони. Одним з таких захистів є розробка високотемпературних тампонажних композицій, які використовують при будівництві нових свердловин, а також при капітальному ремонті зношених.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Пластові води нафтових свердловин містять, як правило, до 200–500 мг/л сірководню, що може викликати корозію трубопроводів, по яких вони транспортуються [1].

Дослідження показали [2], що вміст сірководню в підземних водах країн Середнього Сходу може коливатися в широкому діапазоні: 900–1300 см³/дм³ для пермських відкладень; 2000–3000 см³/дм³ для кам'яновугільних [3]. У водах девонських і додевонських порід сірководень не розпізнаний. У водах підсолевих відкладень Прикаспійської западини, за даними [4, 5], вміст сірководню досягає 17–500 см³/дм³.

Як правило, зони залягання високо сірчаного газу або безпосередньо присвячені зонам найбільш глибокого залягання верхнеюрських сульфатно-карбонатних відкладень і (або) зонам підвищеної тектонічної активності на новітньому етапі, або структурно з ними пов'язані. На Туранській плиті й в суміжних районах основні перспективи природно-запасів сірчанних газів пов'язані з Південно-Туркменської Крайової системою новітнього прогинання. До теперішнього часу тут виявлено 22 родовища сірководневих газу: 12 на території Туркменістану, три – Ірану і сім – Афганістану, 5 – на території Іраку [6].

Сьогодні Ірак займає друге місце в світі за запасами вуглеводневої сировини, поступаючись лише Саудівській Аравії. Доведені запаси нафти в Іраку 10% світових ресурсів нафти. Структури родовищ півдня Іраку є антиклінальними в напрямку з півночі на південь, характеризуються близьким розташуванням один до одного, в результаті впливу Альбанського орогенезу і впливу потужної соляної товщі Ормуз.

Родовища півдня Іраку характеризуються багатопластовістю і розчленованістю. Світа Мішріф, що складається з карбонатних та рифових порід, поширюється регіонально і простежується на всіх родовищах півдня Іраку. Вторинним методом видобутку на нафтових родовищах півдня Іраку є заводнення. В останні роки виникли проблеми обводнення при видобутку нафти з родовища Мішріф, а також на родовищах, де використовують закачування води. Схожі проблеми спостерігаються при освоєнні родовища Зубейр. Практично, кожне родовище характеризується присутністю як сірководневих, так і вуглекислотних компонентів у широких інтервалах, на фоні присутності соляних

штоків, що створює найбільш небезпечне середовище для труб, гирлового і наземного устаткування [7–12].

При наявності CO₂ і H₂S корозія може проявитися при низьких концентраціях сірководню (0,1 мг/л) в газі, воді і низькому парціальному його тиску (10⁻⁴ МПа), яке визначають за формулою $P_{H_2S} = P C / 100$, де C – об'ємна частка H₂S в газі, %.

Особливістю сірководню є залежність його розчинення у воді від її рН. Сірководень інтенсивно розчиняється в воді при рН < 7, утворюючи сірководневу кислоту H₂S, при рН > 7 – гідросульфід-іони HS⁻ і деяку кількість S²⁻, при рН > 11 – сульфід-іони [13, 14]. Слід також зауважити, що розчинність обох газів у пластовій воді має досить складну залежність від її солевмісту і температури.

Загалом стійкість вуглецевих і низьколегованих сталей в середовищах, що містять сірководень та діоксид вуглецю, визначається комплексною взаємодією різних параметрів та ускладнюючих факторів [14, 15].

Як відомо, найбільш схильні до ускладнень наступні технологічні ділянки трьох основних систем: в системі видобутку нафти – призабійна зона пласта, насосно компресорні труби (НКТ), глибинні насоси, гирлова арматура; в системі внутрішньо-промислового збору і передачі нафти – вимірювальні пристрої, запірна арматура, викидні лінії; в системі підготовки нафти і утилізації стічних вод – печі підігріву водо-нафтових емульсій, вимірювальні пристрої, перекачуючі насоси, водоводи.

2. Визначення основних критеріїв дослідження. Очевидним є той факт, що забезпечення надійного ізоляційного комплексу свердловин з наявністю в продукції сірководню представляє певні труднощі через його надзвичайно агресивний вплив, як на цементний камінь, так і метал обсадних труб, з поверхнею яких газ взаємодіє з-за неякісного цементування або проникнення в результаті капілярно-пористої структури цементного кільця.

Асортимент корозійно-стійких в сірководневих середовищах цементів і тампонажних розчинів невеликий, вичерпується кількома видами. При цьому підвищення сірко-водне-стійкості цементного каменю шляхом введення кольматуючих добавок і зниження за рахунок цього його проникності не вирішує проблеми якісного кріплення свердловин, оскільки згодом цементний камінь під дією сірководню руйнується, і особливо швидко при його високому вмісті в газі. У зв'язку з цим питання розробки корозійно стійких тампонажних матеріалів залишається досить актуальним [20].

Застосування корозійно-стійких тампонажних матеріалів при цементуванні свердловин є лише частиною вирішення проблеми підвищення

надійності кріплення, так як корозійно-стійкий цементний камінь, представлений низькоосновними продуктами твердіння має знижене значення рН порової рідини, не забезпечує повною мірою стійкого стану металокопункцій при дії сірководню.

Тому особливу актуальність має комплексне рішення задачі: отримання цементного кільця підвищеної корозійної стійкості і одночасне забезпечення ефективного захисту поверхні обсадних труб від сірководневої корозії. Відсутність надійних методів корозійних випробувань цементного каменю в сірководневих середовищах вимагає розробки пристроїв і способів оцінки його стійкості з урахуванням термобаричних умов свердловин.

Метою цієї роботи було розробка критеріїв оцінювання, як тампонажного матеріалу, так і отриманого на його основі цементного каменю, а також розробка удосконаленої лабораторної експрес-методики оцінки захисної дії тампонажної композиції після її закачування та твердіння проти корозійного руйнування матеріалу обсадної колони в лабораторних умовах і проведення попередньої оцінки впливу різних чинників корозії на матеріал цементного каменю та сталеву поверхню, що застосовуються для будівництва і облаштування нафтових і газових свердловин, а також створення такої композиції тампонажного розчину, яка б після твердіння мала високу захисну властивість проти впливу високомінералізованої пластової води, насиченої сірководнем та двоокисом вуглецю при підвищених температурах, моделюючих виробничі умови.

Корозійну активність пластової води по відношенню до зразка сталі, що покритий цементним шаром, пропонується визначати потенціометричним методом, на базі потенціостату EP-20 А, автоматично керованою програмою за допомогою комп'ютера [16–19]. Для більш правильного виміру потенціалу в ході проведення експерименту були внесені деякі удосконалення, як у спосіб отримання цементних балок, так і спосіб виміру [20, 21].

3. Вклад основного матеріалу дослідження.

Сучасні електрохімічні методи встановлюють способи прискореного визначення та критерії оцінки

захисної дії цементного каменю, виготовленого з тампонажного розчину по відношенню до сталеві поверхні. Метод визначення заснований на оцінці пасивуючої дії цементного кільця по відношенню до сталеві поверхні і отриманні залежності щільності струму від поляризованої напруги (потенціодинамічний метод).

Електрохімічний метод застосовували для: оцінки здатності цементного каменю до пасивації сталеві поверхні в будь-який момент твердіння тампонажного матеріалу; оцінки впливу різних видів цементів і добавок до тампонажної суміші на захисну дію отриманого цементного каменю по відношенню до сталеві поверхні колони.

Тампонажну суміш для зразків готують згідно з заданою рецептурою і технології досліджуваного цементного каменю. Якщо цементна суміш містить зерна заповнювача розміром більше 1–10 мм, то їх відокремлюють з суміші на ситі з розміром осередків 1 мм. Виготовляють сталеві стрижні (матеріал повинен відповідати матеріалу колони) довжиною 120 мм, діаметром 3,6 мм. Поверхню стрижнів, включаючи торці, шліфують абразивною шкіркою до 7-го класу чистоти і перед закладенням в бетон знежирюють ацетоном. З тампонажної суміші формують зразки розмірами 40×40×160 мм. Виготовляють дев'ять зразків зі стрижнями із сталі К55 і три неармованих зразка. Стрижні укладають паралельно поздовжньої осі симетрії зразків з бетону так, щоб захисний шар бетону по всій довжині стрижнів дорівнював (10 ± 3) мм.

В умовах лабораторії була визначена швидкість корозії сталі К55 під шаром тампонажних бетонів з різними антикорозійними добавками в пластовій воді складу (табл. 1 і 2). Склад агресивних газів в пластовій воді (моль/л) при проведенні експерименту: вміст CO_2 та сірководню (склад газової суміші 80% CO_2 +20% H_2S) – 0,005/0,0066, температура 25 °С.

Таблиця 1 – Характеристика дослідного зразка сталі, %

| Марка | C | S | P | Mn | Si | V | N |
|------------|-------|--------|-------|------|------|-------|-------|
| Сталь К55* | <0,14 | <0,006 | <0,02 | <1,7 | <0,6 | <0,06 | <0,01 |

*Вміст Мо, Ні, Сг – відсутній, Nb-< 0.1%

Таблиця 2 – Характеристика пластової води (густина 1,1370 г/л; рН 6,29; загальна мінералізація 151280 мг/л)

| Показник | Значення показника, мг/л | | | | | Підсумок |
|---------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|----------|
| | K^+Na^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Fe^{2+} | Fe^{3+} | |
| Катіони, мг/л | 43347 | 10821 | 2736 | 100 | 2 | Σ 57006 |
| Аніони, мг/л | HCO_3^- | Cl^- | Γ | Br^- | SO_4^{2-} | Σ 94274 |
| | 109 | 94013 | 17 | 120 | 15 | |

Виміри проводили після набору бетоном міцності через 1 місяць і проведення випробувань в режимі змінного насичення пластової водою, що містить сірководень і вуглекислий газ і висушування (160 циклів). При вимірі використовували три паралельних зразка. На кожному зразку проводять тільки один вимір. Перед вимірюванням відколюють бетон у торця зразка так, щоб сталевий стрижень був

оголений на довжині (20 ± 10) мм. Прилеглу до оголеного стрижня поверхню бетону шириною (10 ± 5) мм і виступаючу з бетону поверхню сталевого стрижня шириною (10 ± 5) мм покривають лакофарбовим матеріалом або мастикою, що мають високий хімічний опір.

Режим насичення і висушування встановлювали на неармованих зразках. Зразки зважують,

поміщують в пластову воду і періодично (один раз на добу), витягуючи з води, зважують. Насичення зразків водою продовжують до тих пір, поки маса зразків не перестане збільшуватися більш ніж на 0,1% початкової. Цей період приймають як тривалість насичення основних армованих зразків. Потім зразки поміщують в сушильну шафу при температурі 60 °С і, періодично зважуючи (один раз на добу), висушують до початкової маси. Цей період приймають як тривалість висушування основних армованих зразків. Підготовлений зразок встановлюють в ємність з пластовою водою так, щоб його верх виступав над водою на 2–3 мм. Вимірювання електрохімічних характеристик отриманих зразків проводили при температурі пластової води (25 ± 5) °С.

Для проведення вимірювань потенціодинамічним методом застосовують потенціостат EP-20 А, автоматично керувану програмою за допомогою комп'ютера. Прилад складається з блоку живлення (± 5V, + 3.3V), плати з мікроконтролером EFM8LB12F64 (Silicon Labs) з інтегрованим 14-разрядним аналого-цифровим перетворювачем (ADC), який забезпечує вимірювання напруги і струмів, 16-разрядним ЦАП (DAC8581), операційними підсилювачами узгодження рівнів, а також адаптера COM-USB для обміну даними з комп'ютером.

Вимірювання проводили в скляній трьох електродній комірці з розділеними електродами при вільному доступі кисню. Значення електродних потенціалів вимірювалися за насиченістю хлорид-срібного електрода. Площа робочої поверхні сталевго стрижня, що стикається з цементним каменем – S, см², розраховували за формулою (1):

$$S = \pi D l + \pi D^2 / 4 \quad (1)$$

де: D – діаметр сталевго стрижня, см; l – довжина сталевго стрижня, см, покритого цементним каменем.

Щільність корозійного струму пропорційна швидкості корозії металу в досліджуваному середовищі, яку визначали екстраполяцією Тафельських ділянок на отримані поляризаційні криві до значення потенціалу вільної корозії. Зразком для випробування є бетонний зразок зі стрижнем зі сталі K55. Електрична схема для вимірювання потенціодинамічним методом показана на рис. 1 (1 – електрод порівняння; 2 – електролітичний ключ; 3 – зразок; 4 – допоміжний електрод; 5 – мікроамперметр; 6 – потенціостат; 7 – капіляр з електропровідним гелем).

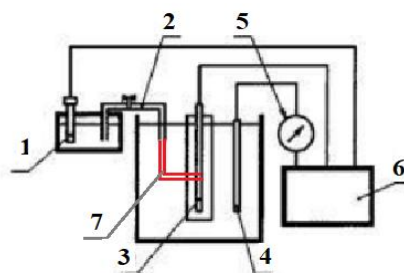
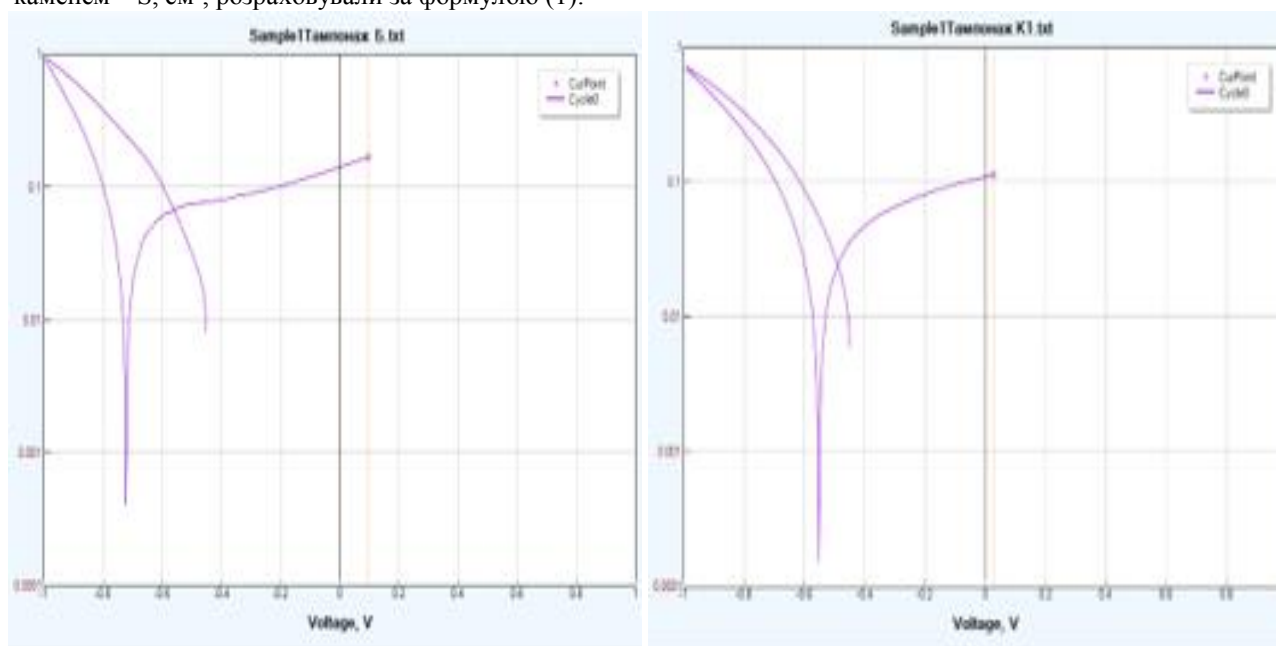


Рис. 1. Електрична схема вимірювання швидкості корозії під шаром цементного каменю, отриманого з тампонажного розчину

Типові циклічні поляризаційні криві сталі K55 під шаром цементного каменю приготованого з тампонажного розчину на основі портландцементу ПЦТ-1-100 наведені на рис. 2.



А – базовий варіант (без антикорозійних добавок)

Б – бетон з добавками інгібіторів корозії

Рис. 2. Вольтамперограми сталі K55 в пластовій воді з продувкою агресивними газами 80% CO₂ + 20% H₂S під шаром цементного каменю

Аналіз вольтамперних кривих показує, що додавання інгібіторів значно гальмує корозійні процеси, як в катодного так і анодних областях вольтампепрограми. В якості інгібіторів були використані продукти амінного очищення коксового газу. Щільність корозійного струму пропорційна швидкості корозії металу в середовищі, яке досліджувалося, визначали екстраполяцією Тафелівських ділянок на отриманих поляризаційних кривих до значення потенціалу вільної корозії. Швидкість корозії металу в розчині, який досліджувався, визначали за формулою:

$$K_m \left[\frac{g}{m^2 \cdot год} \right] = (i \cdot A) / (n \cdot 2,68 \cdot 10^{-2}) \quad (2)$$

де А – атомна маса заліза; n – число електронів, що

беруть участь в електрохімічній реакції; i – щільність струму корозії, А/см².

На основі певних швидкостей корозії визначали захисну дію тампонажного каменю по формулі:

$$Z = ((K_m - K_{minz}) / K_m) \cdot 100\% \quad (3)$$

де, K_m – швидкість корозії металу під цементним каменем без інгібіторів корозії; K_{minz} – швидкість корозії металу під цементним каменем з добавкою інгібіторів корозії.

Результати випробувань зразків тампонажних розчинів і отверділих зразків у вигляді балок після експозиції в пластовій воді, що містить сірководень і вуглекислий газ при температурі 25 °С приведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати випробувань зразків тампонажних розчинів і отверділих зразків

| Зразок цементного каменю | Щільність, кг/м ³ | Розтічність, м | Міцність при вигині, МПа, через 2 доби тужавіння | | | Водовідділення, мл | В/Ц | Захисна дія для методів, % | |
|--------------------------|------------------------------|----------------|--|---------------|----------------|--------------------|------|----------------------------|----------------|
| | | | 50 °С, 20 МПа | 75 °С, 30 МПа | 100 °С, 40 МПа | | | Електрохімічний | Гравіметричний |
| без домішок | 1,25 | 0,19 | 0,9 | 1,1 | 1,9 | 5,5 | 0,80 | – | – |
| з інгібітором | 1,23 | 0,19 | 0,9 | 1,0 | 2,0 | 5,5 | 0,95 | 85 | 68 |

* Гравіметричні виміри проводили на неармованих зразках. Захисну дію визначали по різниці маси зразків.

Розрахована швидкість корозії сталі К55 в пластовій воді з продувкою агресивними газами 80% CO₂ + 20% H₂S під шаром цементного каменю без антикорозійних добавок становить – 0,5 г/м²·год.

Аналогічно швидкість корозії сталі К55 в пластовій воді з продувкою агресивними газами 80% CO₂+20% H₂S під шаром цементного каменю з антикорозійними добавками становить 0,09 г/м²·год. Захисна дія цементного каменю становить – 85%. Комплексна захисна дія запропонованої композиції обумовлена двома факторами. З одного боку це зменшення проникнення пластової води, яка містить іони солей, які викликають корозію, з другого – це нейтралізація кислих сполук (сірководень та вуглекислий газ) з утворенням на зовнішній поверхні цементного каменю захисної плівки, яка стає перешкодою для подальшого проникнення водного розчину в структуру цементного каменю і тим самим запобігає його руйнуванню.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Таким чином, розроблений метод прискореного визначення критеріїв оцінки захисної дії цементного каменю по відношенню до сталевій поверхні колони дозволяє ефективно оцінювати якість тампонажних розчинів, використаних в складних гірничо-геологічних умовах для захисту матеріалу обсадних колон нафтових і газових свердловин.

1. Запропоновані критерії оцінки захисної дії тампонажного бетону по відношенню до сталевій поверхні обсадної колони та розроблено метод її прискореного визначення.

2. Показано, що добавки інгібіторів корозії до тампонажного розчину ефективно гальмують

корозійні процеси, як самого цементного каменю, так і матеріалу обсадної колони

Список літератури

1. Гульянц Г.М. Противикидне обладнання свердловин, стійке до сірководню: Довідковий посібник. М.: Надра, 1991. 348 с.
2. Чистовский А.И. Определение минерализации погребенных вод нефтяных месторождений Среднего Поволжья. Геология нефти и газа, 1973. №9, с.73–76
3. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах. Материалы между симпозиума / Под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. 367 с.
4. Ушивцева Л.Ф. Влияние инженерно-геологических особенностей соляных массивов на формирование техногенеза в недрах Астраханского свода: монография. М.: Изд-во ООО ИРЦ Газпром, ОАО «Газпром», 2005. 68 с.
5. Ушивцева Л.Ф., Серебряков О.И., Серебряков А.О. Геохимические методы поисков и эксплуатации месторождений нефти и газа: монография. Астрахань: ИД «Астраханский университет», 2019. 266 с.
6. Соловьев Н.Н., Кузьминов В.А., Салина Л.С. Перспективы поисков скопленных газа в южных районах Туранской плиты. Геология нефти и газа, 1996, №9, с. 17–23.
7. Beydoun Z.R. Геология і потенційні запаси вуглеводнів Аравійської плити в світлі тектоніки плит. Американська асоціація геологів-нафтовиків. Геологічні дослідження. 1991. Вип. 33. 77 с.
8. Sharland P.R., Archer R., Casey D.M., Davies R.B., Hall S.H., Heward A.P., Horbury A.D., Simmons M.D. Стратиграфія розрізу Аравійської плит // «ГеоАравія», Спец., № 2. Бахрейн: Галф Петролінк, 2001. 371 с.
9. Konert G., Al-Afifi A.M., Al-Hajri S.A. Стратиграфія палеозою і локалізація вуглеводнів Аравійської плити. 2001. Т.6, № 3, с. 407–442.
10. Al-Naqib K.M. Геология Аравійського півострова. Південний Ірак. Геологічна служба США. Спец. вид. 560-G. 1967. 54 с.
11. Murris R.J. Середній Схід: Стратиграфіческая еволюція і локалізація нафти // Бюлетень Американської асоціації геологів-нафтовиків. 1980. Т. 64, с. 597–618.
12. Al-Husseini M.I. Стратиграфія юрських відкладень західної і східної частини Аравійського затоки // «ГеоАравія». 1997. Т. 2, № 4, с. 361–382.

13. Стандарты NACE MR-01-75. Материалы для клапанов, устойчивых к сульфидному растрескиванию при производстве и замене трубопроводов / NACE Публикация IF166. Хьюстон, Техас, 1982–1983 гг.
14. Ляшенко А.В., Жирнов Р.А., Изюмченко Д.В. Опыт защиты от коррозии скважин при добыче углеводородной продукции с высоким содержанием сероводорода и диоксида углерода. Научно-технический сборник Вести газовой науки. № 4(15), 2013. с. 28–35.
15. Sandvik, Corrosion Resistance Sandvik SAF 2507, <http://www.sandvik.com>
16. Нестеренко С.В. Возможность использования новых аустенитно-ферритных сталей для изготовления теплообменного оборудования.. Матеріали І міжн. науково-технічного форуму з хімічних технологій і нафтогазоперерації. Мінськ, 27–30.11.2018. Мінск: БГТУ. 2018. Ч.1. 333 с. ISBN 978-985-530-723-6.
17. Поверхневе зміцнення матеріалів працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин : монографія / Б.П. Середя, Л.П. Банніков, С.В. Нестеренко, І.В. Кругльак та ін. – Кам'янське : ДДТУ, 2019. – 173 с.
18. Отраслевой стандарт ОСТ 39-234-89. Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания сероводорода. (приказ №100 Мин-ва нефтяной промышленности, 6.02.1989).
19. Немах А., Донський Д.Ф., Нестеренко С.В. Вивчення впливу CO₂, H₂S і температури пластової води нафтового родовища на розвиток пітингової корозії. Комунальне господарство міст, 2019, т.3, вип. 149, с. 58–68, DOI 10.33042/2522-1809-2019-3-149-58-68.
20. Перейма А.А. Разработка тампонажных материалов технологических жидкостей для закачивания и ремонта скважин в сложных горно-геологических условиях. Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук. Краснодар, 2009.
21. Зимакова Г.А. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний: методические указания к выполнению лабораторных и самостоятельных работ для студентов, обучающихся по направлению 270800 «Строительство» всех форм обучения/ Г.А. Зимакова, М.П. Зелиг. Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», 2014, 43 с.
6. Solov'ev N.N., Kuz'minov V.A., Salina L.S. Perspektivy poiskov skoplenij gaza v juzhnyh rajonah Turanskoj plity. Geologija nefiti i gaza, 1996, №9, pp. 17–23.7.
7. Beydoun Z.R. Geologija i potencijni zapasi vuglevodniv Aravij's'koj pliti v svitli tektoniki plit. Amerikans'ka asociacija geologiv-naftovikiv. Geologichni doslidzhennja. 1991. Vip. 33. 77 p.
8. Sharland P.R., Archer R., Casey D.M., Davies R.B., Hall S.H., Heward A.P., Horbury A.D., Simmons M.D. Stratigrafija rozrizu Aravij's'koj plit // «GeoAravija», Spec., № 2. Bahrejn: Galf Petrolink, 2001. 371 p.
9. Konert G., Al-Affif A.M., Al-Hajri S.A. Stratigrafija paleozoju i lokalizacija vuglevodniv Aravij's'koj pliti. 2001. T.6, № 3, pp. 407–442.
10. Al-Naqib K.M. Geologija Aravij's'kogo pivostrova. Pivdennij Irak. Geologichna sluzhba SShA. Spec. vid. 560-G. 1967. 54 p.
11. Murriss R.J. Serednij Shid: Stratigrafiches'ka evolucija i lokalizacija nafiti // B'juleten' Amerikans'koj asociacii geologiv-naftovikiv. 1980. T. 64, pp. 597–618.
12. Al-Husseini M.I. Stratigrafija jurs'kih vidkladen' zahidnoi i shidnoi chastini Aravij's'kogo zatoki. GeoAravija. 1997. T. 2, № 4, pp. 361–382.
13. Standarty NACE MR-01-75. Materialy dlja klapanov, ustojchivyh k sul'fidnomu rastreskivaniju pri proizvodstve i zamene truboprovodov. NACE Publikacija IF166. H'juston, Tehas, 1982/1983.
14. Ljashenko A.V., Zhirnov R.A., Izjumchenko D.V. Opyt zashhity ot korrozii skvazhin pri dobyche uglevodnorodnoj produkcii s vysokim soderzhaniem serovodoroda i dioksida ugleroda. Nauchno-tehn. sb Vesti gazovoj nauki. № 4(15), 2013, pp. 28–35.
15. Sandvik, Corrosion Resistance Sandvik SAF 2507, <http://www.sandvik.com>
16. Nesterenko S.V. Vozmozhnost' ispol'zovanija novyh austenitno-ferritnyh stalej dlja izgotovlenija teploobmennogo oborudovanija.. Materialy I mizhn. naukovu-technichnogo forumu z himichnyh tehnologij i naftogazopererabci. Mins'k, 27–30.11.2018. Minsk: BG TU. 2018. Ch.1. 333 p. ISBN 978-985-530-723-6.
17. Poverhneve zmichennja materialiv pracujuchih v umovah kompleksnogo vplivu agresivnyh rečovyn : monografija / B.P. Sereda, L.P. Bannikov, S.V. Nesterenko, I.V. Krugljak ta in. – Kam'jans'ke : DDTU, 2019. 173 p.
18. Otrasevoj standart OST 39-234-89. Voda dlja zavodnenija nefjanyh plastov. Opredelenie soderzhanija serovodoroda. (prikaz №100 Min-va nefjanoj promyshlennosti, 6.02.1989).
19. Nema A., Dons'kij D.F., Nesterenko S.V. Vivchennja vplivu CO₂, H₂S i temperaturi plastovoi vodi naftovogo rodovishha na rozvitok pitingovoi korozii. Komunal'ne gospodarstvo mist, 2019, t.3, vip. 149, pp. 58–68, DOI 10.33042/2522-1809-2019-3-149-58-68.
20. Perejma A.A. Razrabotka tamponazhnyh materialov tehnologicheskijh zhidkostej dlja zakachivania i remonta skvazhin v slozhnyh gorno-geologicheskijh uslovi-jah. Special'nost' 25.00.15 – Tehnologija burenija i osvoenija skvazhin. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehn. nauk.Krasnodar, 2009.
21. Zimakova G.A. Zashhita betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij ot korrozii. Metody ispytanij: metodicheskie ukazanija k vypolneniju laboratornyh i samostojatel'nyh rabot dlja studentov, obuchajushhijhsja po napravleniju 270800 «Stroitel'stvo» vseh form obuchenija/ G.A. Zimakova, M.P. Zelig. Tjumen': RIO FGBOU VPO «TjumGASU», 2014, 43 p.

References (transliterated)

Надійшла (received) 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Нестеренко Сергій Вікторович (Nesterenko Sergey Viktorovich) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2089-6786>, E-mail: nester_hnang@gmail.com, тел. +38 0686126057

Донський Дмитро Федорович (Donsky Dmitry Fedorovich) – кандидат технічних наук, доцент кафедри видобування нафти, газу та конденсату, Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3546-6110> E-mail: dfdonsky@gmail.com тел. +380-95-810-4536

Амір Немах Аладжмін (Amir Nema Alajmin) – аспірант кафедри видобування нафти, газу та конденсату Науково-навчального інституту хімічної технології та інженерії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5929-7847> E-mail: ameernema30@gmail.com тел. 0577076585

С. І. БУХКАЛО**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ КРОХМАЛЮ З КАРТОПЛІ ТА КУКУРУДЗИ**

В статті наведено огляд з аналізу можливостей вирішення деяких задач навчання студентів НТУ «ХПІ» у межах розвитку комплексних технологій виробництва різновидів крохмалю (частина 1). Метою дослідження визначено підвищення ефективності використання різновидів продукції для різних галузей промисловості на комплексних підприємствах. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань як організація збирання і транспортування сировини, її ідентифікація та методи контролю якості; вибір науково-обґрунтованих методів переробки та подальшої модифікації; розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки сировини; вибір підприємств для виробництва і обґрунтування вибору усіх видів ресурсів для реалізації цих проектних рішень. Можливості теми представлені у вигляді матеріалів для комплексних проектів студентів на прикладах переробки різноманітної сировини або різновидів модифікації її властивостей.

Ключові слова: комплексні технології, науково-обґрунтовані методи, переробка та аналіз властивостей.

С. И. БУХКАЛО**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КРАХМАЛА ИЗ КАРТОФЕЛЯ И КУКУРУЗЫ**

В статье приведен обзор и анализ возможностей решения некоторых задач обучения студентов НТУ «ХПИ» в рамках развития комплексных технологий производства крахмала (часть 1). Целью исследования определено повышение эффективности использования разновидностей продукции для различных отраслей промышленности на комплексных предприятиях. Исследования направлены на изучение таких вопросов, как организация сбора и транспортировки сырья, его идентификация и методы контроля качества; выбор научно-обоснованных методов переработки и дальнейшей модификации; разработка необходимых технологических схем и оборудования для переработки сырья; выбор предприятий для производства и обоснование выбора всех видов ресурсов для реализации этих проектных решений. Возможности темы представлены в виде материалов для комплексных проектов студентов на примерах переработки различного сырья и разновидностей модификации его свойств.

Ключевые слова: комплексные технологии, научно обоснованные методы, переработка и анализ свойств.

S. I. BUKHALO**PROSPECTS FOR STARCH TECHNOLOGIES FROM POTATO AND MAIZE DEVELOPMENT**

The paper provides an overview and analysis of the possibilities of solving some problems in students of NTU "KhPI" training in the framework of integrated starch production technologies development from potato and maize (part 1). The aim of the study is to increase the efficiency of use of varieties of products for various industries at complex and integrated sites for the starches production. Research is aimed to study such issues as the organization of the collection and transportation of raw materials, its identification and quality control methods; selection of scientifically based processing methods and further modifications; development of the necessary process flowsheets and equipment for processing raw materials; selection of enterprises for production and justification to select each types of resources for the implementation of these design decisions. Opportunities of the topic are presented in the form of materials for complex projects of students using examples of processing various raw materials and varieties of modification of its properties.

Keywords: complex technologies, scientifically based methods, processing and analysis of properties.

Вступ. Сучасні виробництва крохмалю складаються з різноманітних процесів, у ході яких очищений крохмаль відділяється від інших компонентів сировини: метою є отримання нерозчинного крохмалю у вигляді непошкоджених або цільних гранул – нативний крохмаль. Крохмаль утримується в клітинах рослинних тканин у вигляді крохмальних зерен різної форми і при одержанні сирого крохмалю основною метою є добування цих зерен і їхнє очищення від забруднень. Для цього руйнують клітинні стінки рослинної сировини, що часто досягається механічним впливом. Нативні крохмалі мають слабку структуру, яка не завжди витримує технологічні параметри роботи сучасного обладнання. Комплексні технології виробництва крохмалопродуктів дозволяють створити інноваційні галузі можливого застосування, а також знизити собівартість продукції, розширити асортимент її застосування та виробництва.

При цьому модифікація крохмалю дозволяє впливати на зміни його структури і на водневий зв'язок контрольованим способом: хімічним, біохімічним, фізичним та ін.

Збільшений за останній час попит на натуральні інгредієнти, наприклад, стимулює розробку фізично модифікованих крохмалів в гранульованому стані [1, 2, 5] – згущувачі, а гелеутворюючі властивості крохмалю визначаються в основному мікроструктурою системи, яка в свою чергу залежить від умов обробки та природного джерела крохмалю. Крохмальні дисперсії являють собою колоїдні системи, в яких набряклі зерна крохмалю утворюють дисперсну фазу, а розчинний матеріал, і в першу чергу амілоза, утворюють дисперсійне середовище. Зі збільшенням концентрації крохмалю набухання і розчинність його знижуються в зв'язку з обмеженою кількістю вільної води, і різниця між станом крохмалю стає менш вираженою.

З іншого боку, для повного розчинення гранульованої структури потрібна обробка при температурах понад 100 °C і механічний особливий вплив. Для практичного застосування крохмалю в якості згущувача зазвичай перемішують набряклі крохмаль, оскільки це сприяє підвищенню в'язкості

© Бухкало С.І., 2019

розчину. Однак при екстенсивному набуханні зерна крохмалю стають чутливими до втрати гранульованої цілісності при механічному впливі, причому їх деформація залежить від інтенсивності зсувного потоку [1].

Однак при цьому виникає нова відповідальність, наприклад, стосовно прийняття правильних не тільки технічних, технологічних, конструкційних, а також

комплексних стратегічних і тактичних рішень.

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

В спектральній характеристиці нативних і модифікованих крохмалів дослідниками виявлені загальні порівняльні тенденції за наявності та формою піків інфрачервоних кривих (рис. 1) [1].

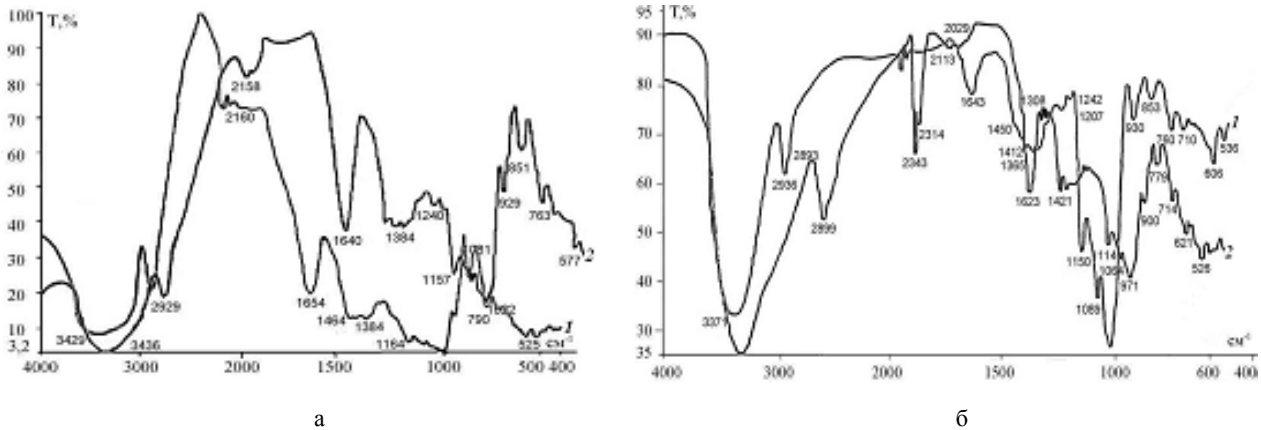


Рис. 1. ІЧ-спектри крохмалів: а – картопляного, 1 – нативного, 2 – екструзійного; б – кукурудзяного, 1 – нативного, 2 – екструзійного.

Відмінності в спектрах, за висновками дослідників для окремих видів крохмалів і амілози визначаються специфічними способами виробництва крохмалю та виділення їх складових, а також зміною в структурі нових ботанічних сортів вихідного рослинної сировини.

В ході екструзії борошна, крохмалю, або також

сумішей різних крохмалів змін функціонального складу полісахаридів не відбувається – спостерігається перерозподіл системи водневих зв'язків ОН-груп, при цьому загальна кількість і міцність цих зв'язків в модифікованих полісахаридах зменшується, що пов'язано з протіканням реакцій деструкції полісахариду при його екструзії.

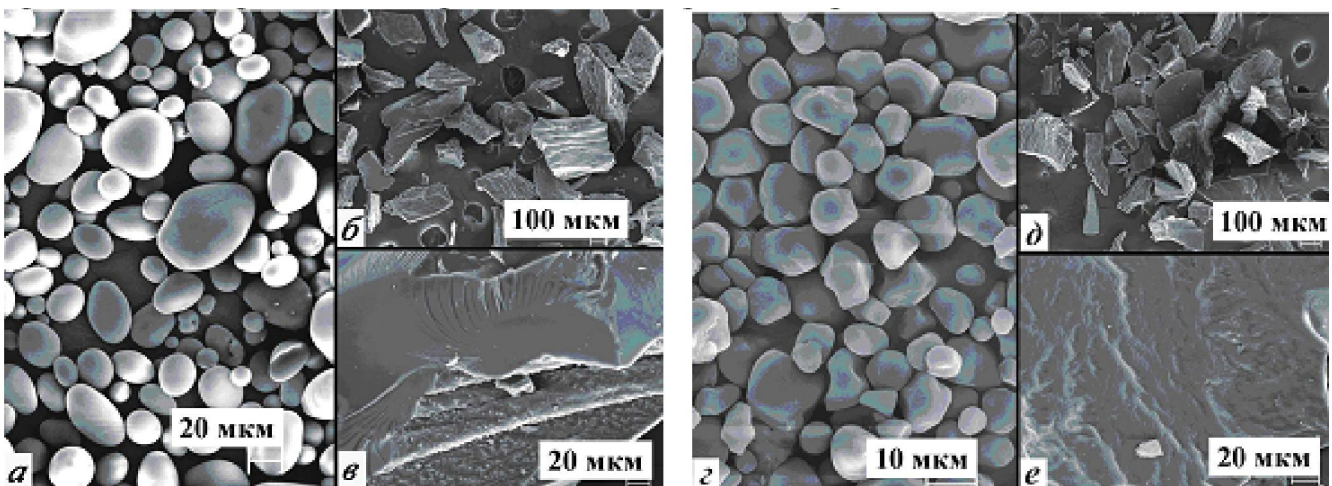


Рис. 2. Морфологічна структура крохмалів. Картопляного: а – нативного, б – екструзійного; в – поверхня часток екструзійного крохмалю. Кукурудзяного: а – нативного, б – екструзійного, в – поверхня часток екструзійного крохмалю

Науковими дослідженнями доказано, що морфологічна (табл. 1) і фазова (табл. 2, рис. 2) структура залежить від виду рослинної крохмалеутримуючої сировини і від її сортової

визначеності, а також деякими умовами зберігання та підготовки сировини до виробництва за нормативно-технічною документацією [2–5].

Таблиця 1. Морфологічна характеристика нативних крохмалів різновидів ботанічного походження

| Нативні крохмалі | Параметри | | | |
|------------------|--------------|--------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Середнє, мкм | min–max, мкм | Розподіл гранул за розмірами | Форма гранул |
| Картопляний | 21,7 ± 2,36 | 7,7–60,0 | Бімодальний | Неправильна овальна |
| Кукурудзяний | 9,8 ± 0,42 | 3,6–19,2 | Мономодальний | Неправильна багатогранна |
| Ржаний | 21,2 ± 2,36 | 4,9–42,8 | Тримодальний | Овальна і округла |
| Пшеничний | 12,4 ± 1,9 | 2,8–27,1 | Бімодальний | Правильна овальна і округла |
| Трітікалевий | 13,2 ± 1,75 | 4,0–30,7 | Бімодальний | Правильна овальна і округла |
| Сорговий | 11,0 ± 0,76 | 3,5–21,7 | Мономодальний | Овальна і багатогранна |
| Ячмінний | 10,9 ± 1,15 | 3,0–21,4 | Мономодальний | Овальна і округла |
| Рисовий | 5,3 ± 0,29 | 2,7–7,9 | Тримодальний | Неправильна овальна |
| Вівсяний | 7,4 ± 0,87 | 4,0–14,9 | Мономодальний | Неправильна округла |
| Гороховий | 20,4 ± 2,57 | 6,1–32,3 | Мономодальний | Неправильна овальна |
| Нутовий | 14,8 ± 0,93 | 6,0–25,6 | Мономодальний | Правильна овальна |
| Амарантовий | 1,1 ± 0,04 | 0,5–1,5 | Мономодальний | Багатогранна |
| Тапіоковий | 10,6 ± 0,5 | 2,8–31,2 | Бімодальний | Неправильна округла |

Особливості фазової структури крохмалів (табл. 2) дослідники визначали за показниками: відносна ступінь кристалічності, % – X; відносна ступінь аморфності, % – a_k ; коефіцієнт спорідненості до хімічного модифікуючого фактору $k_x = a_k / a_{k \max}$.

Таблиця 2. Особливості фазової структури крохмалів

| Показники | X, % | a_k , % | $k_x = a_k / a_{k \max}$ |
|-------------------------------------|------|-----------------------|--------------------------|
| Зерновий крохмаль | | | |
| Кукурудзяний | 20,0 | 80,0 | 0,986 |
| Пшеничний | 36,4 | 63,6 | 0,784 |
| Ржаний | 27,5 | 72,5 | 0,894 |
| Трітікалевий | 28,6 | 71,4 | 0,880 |
| Ячмінний | 18,9 | 81,1 ($a_{k \max}$) | 1,000 |
| Рисовий | 39,6 | 60,4 | 0,745 |
| Сорговий | 35,0 | 65,0 | 0,801 |
| Зерно-бобовий крохмаль | | | |
| Нутовий | 22,8 | 77,2 | 0,952 |
| Гороховий | 18,9 | 81,1 ($a_{k \max}$) | 1,000 |
| Бульбовий крохмаль | | | |
| Тапіоковий | 39,4 | | |
| Картопляний | 35,0 | | |
| Сорти картоплі української селекції | | | |
| Дзвін | 38,8 | | |
| Лелека | 37,2 | | |
| Сорти картоплі білоруської селекції | | | |
| Лазуріт | 41,8 | 58,2 | 0,894 |
| Скарб | 42,9 | 81,1 ($a_{k \max}$) | 1,000 |
| Сорти картоплі німецької селекції | | | |
| Albatros | 37,5 | 62,5 | 0,960 |
| Kormoran | 37,9 | 62,1 | 0,954 |
| Kranich | 37,6 | 62,4 | 0,959 |
| Sonate | 34,9 | 65,1 ($a_{k \max}$) | 1,000 |

Крохмаль легко змінює фізико-хімічні властивості під дією теплової обробки, хімічних реагентів, амілолітичних ферментів. Ці процеси супроводжуються деструкцією полімерних молекул крохмалю, що складаються з амілози й амілопектину. На основі цих процесів одержують модифіковані крохмалі й інші крохмалопродукти: патока, декстрини, глюкоза.

При нагріванні у воді зерна крохмалю руйнуються з утворенням клейстеру. Клейстеризація крохмалю – складний процес, що йде в три основні

стадії. Спочатку крохмальні зерна набухають, приєднуючи невелику кількість води. При підвищенні температури приєднується велика кількість води, що супроводжується сильним набряканням зерен зі збільшенням їхнього об'єму в сотні разів і підвищенням в'язкості розчину. Ця стадія незворотна. Набрякання крохмалю відбувається внаслідок розриву водневих зв'язків і гідратації макромолекул полісахаридів. На останній стадії розчинні полісахариди витягуються водою, зерна втрачають форму і перетворюються в мішечки,

суспендовані в розчині. Клейстеризація картопляного крохмалю відбувається при температурі 55–68 °С, кукурудзяного – при температурі 64–71 °С.

Розглянуті продукти одержують на спеціалізованих крохмале-патокових виробництвах, оснащених потоковими механізованими лініями. На малих виробництвах продукти виходять низької якості, малі виробництва нерентабельні [2].

Сировина для виробництва крохмалопродуктів. Для промислового виробництва крохмалю сировиною є картопля, зерна кукурудзи, пшениці, жита, рису, а також виробляють тапіоковий, гороховий, амарантовий, ячмінний, сорговий, трітїкалевий, вівсяний крохмалі. Широко використовуються картопля і кукурудза у якості великотонажної сировини виробництва (табл. 3).

Таблиця 3. Склад крохмалю з картоплі і кукурудзи

| Сировина | Вміст, % | | Склад сухої речовини (СР), % | | | | | | |
|-----------|----------|----|------------------------------|-------------------|------------|------|-------|--------------------|------|
| | вологи | СР | крохмаль | азотисті речовини | клітковина | зола | жир | розчинні вуглеводи | інші |
| Картопля | 75 | 25 | 74 | 8 | 4 | 4 | 0,8 | 3,2 | 6 |
| Кукурудза | 13 | 87 | 70 | 12 | 1,8 | 1,5 | 6–6,5 | 3–5 | 4 |

Кукурудза в порівнянні з картоплею має кращу транспортність і краще зберігається, тому на цій сировині працюють цілий рік. На картоплі – 3–5 місяців у році. З кукурудзи вивільняти крохмаль складніше через особливості будови сировини і великий вміст у ній білка й жиру. Картопляний крохмаль дає більш в'язкі клейстери, тому його споживча вартість вища. На переробку надходить кукурудза вологістю 13–16 %, картопля 75 %. У складі сухих речовин картоплі знаходяться крохмалю 74 %, кукурудзи – 70 % до маси сухого зерна. Ці види сировини рівноцінні за виходом у перерахуванні на сухі речовини [5–8].

Важливо відмітити: несолоджені сировина бродильних виробництв – це також і крохмалевмісні матеріали – сировина для виробництва крохмалопродуктів, які практично не мають ферментативної активності. До такого виду сировини відносяться зернові культури (табл. 4): ячмінь, рис, кукурудза, пшениця, сорго, овес, жито, тритикале, просо, гречка, сиропи з зернових культур, екстракти солоду.

Залежно від складу крохмалевмісну сировину можна використовуватися або на етапі затирання зернопродуктів, або безпосередньо вноситися в сушловарочний котел. Застосування несолоджені сировини в пивоварінні сприяє:

- зниження собівартості, наприклад, при використанні ячменю;
- збільшення екстрактивності суслу при використанні рису, кукурудзи, сорго, пшениці і сиропів;
- збільшення продуктивності варильного цеху при використанні сиропів, крохмалю та зернових культур з більшою екстрактивністю;
- створення нових сортів пива;
- підвищення колоїдної і смакової стійкості пива.

З точки зору застосування злаків в пивоварінні і виробництві зернових продуктів слід звернути увагу на наступні структури зерна: оболонки, алейроновий шар, ендосперм і зародок. розрізняють плівчасті і голозерні культури (табл. 4).

Таблиця 4. Хімічний склад структур зерна

| Морфологічна структура | З'єднання |
|------------------------------|---|
| Половова оболонка | Целюлоза, фенольні сполуки (лігнін) |
| Плодова і насіннева оболонки | Целюлоза, фенольні сполуки, зокрема, проантоціанідіни, таніни |
| Алейроновий шар | Геміцелюлоза (глюкан, пентозани), жири, моно- і олігосахариди, білки, вітаміни і мікроелементи, білок, в тому числі і білок ферментів, жири, моно- і олігосахариди, білки, вітаміни і мікроелементи, фенольні сполуки, зокрема, антоціаногени (антоціанідіни) |
| Ендосперм | Крохмаль, геміцелюлоза (глюкан і пентозани) жири, моно- і олігосахариди, білки, вітаміни і мікроелементи, ферулова кислота |
| Зародок | Жири, моно- і олігосахариди, білки, вітаміни і мікроелементи. Ферменти. |

При оцінці придатності зернового матеріалу в якості несолоджені сировини слід знати хімічний склад окремих структур зерна, зокрема вміст в них крохмалю, некрохмалистих полісахаридів, білка, деяких амінокислот (проліну, метіоніну, цистеїну), фенольних сполук, вітамінів (В1, В3, В7, Е) і мінеральних компонентів. Особливо слід звернути увагу на кількість в зерновому матеріалі іонів К, Р, Mg, Zn, Fe, Ca, Si. У таблиці 4 наведені компоненти зерна, які мають найбільше значення в технології

зернових напоїв, формуванні їх сенсорного профілю і стабільності властивостей при зберіганні.

Крохмаль – основний запасний полісахарид, який складається з двох фракцій: амілози і амілопектину.

Амілоза, у свою чергу, складається з 60–2000 глікозидних залишків, пов'язаних в лінійну послідовність α -1,4-глікозидними зв'язками. Макромолекула амілози має α -спіральною структуру, в якій на кожен виток спіралі приходиться 6 моносаха-

ридних ланок. кількість глікозидних залишків в амілопектину становить від 6000 до 40000; α , D-Глікопіранозні залишки пов'язані α -1,4, а в точках розгалуження – α -1,6-глікозидними зв'язками. Некрохмалисте полісахариди представляють собою целюлозу, геміцелюлози, геми-речовини. ці речовини відносяться до харчових волокон.

Целюлоза (клітковина) – лінійний гомополісахарид, що складається з α , D-глюкопіраноз, молекули якої з'єднані α -1,4-глікозидними зв'язками. Структурним повторюваним фрагментом в целюлозі є дисахарид целобіоза.

Геміцелюлоза (ГЦ) входить у склад клітинних стінок алейронового шару і ендосперму. У клітинах алейронового шару переважають пентозани, в той час як в клітинах ендосперму більше міститься глюканів, ніж пентозанів. Співвідношення між глюканами і пентозанами в клітинних стінках визначається природою злаків і кліматичними умовами їх обробітку. β -Глюкан є полімером глюкози, в якому 74% зв'язків представлені зв'язками β -1,4, в результаті при гідролізі утворюється целобіоза, а 26% зв'язків це β -1,3 (при гідролізі утворюється ламінарібіоза). Пентозани представлені полісахаридами, що складаються із залишків ксилози, з'єднаних β -1,4-зв'язками. Крім того, в них можуть бути бічні ланцюжки, що складаються з ксилози, арабінози і уронових кислот. Полімери з ксилози і арабінози називаються арабіноксіланами.

Арабіноксілани утворюють ефірні зв'язку з феруловою кислотою і білками.

Гума-речовини мають меншу, ніж ГЦ масу і розчиняються в гарячій воді. Геміцелюлози розчиняються в розбавлених лугах. Гума-речовини також входять до складу клітин ендосперму. Вони мають меншу в порівнянні з геміцелюлозою молекулярну масу.

При розробці технологій зернових продуктів з дієтичними властивостями слід звернути увагу на некрохмалисті вуглеводи, і в першу чергу на β -глюкан. Продукти, що містять глюкани, сприяють зниженню холестерину в крові, запобігають захворюванню діабетом 2 типу. Крім того вони є ентеросорбентами. Також до харчових волокон відносять лігнін та таніни, що входять в структуру клітинних стінок.

При одержанні крохмалю з картоплі (рис. 3) технологічний процес складається з таких операцій: миття, здрібнювання, промивання маси водою, а потім пропущення крохмального молочка через сита: мезга залишається на ситі, а воду з крохмалем відстоюють у чанах або розділяють на центрифугі. Одержують сирий крохмаль зі вмістом вологи в масі 50 %. У такому вигляді сирий крохмаль використовують для виробництва крохмалопродуктів і крупи саго. Для вироблення сухого крохмалю проводять сушіння.

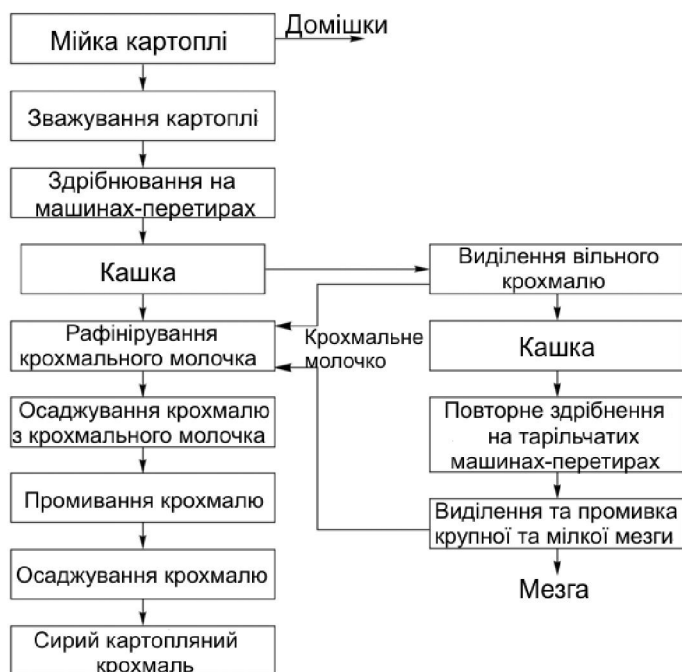


Рис. 3. Функціональна схема одержання крохмалю з картоплі

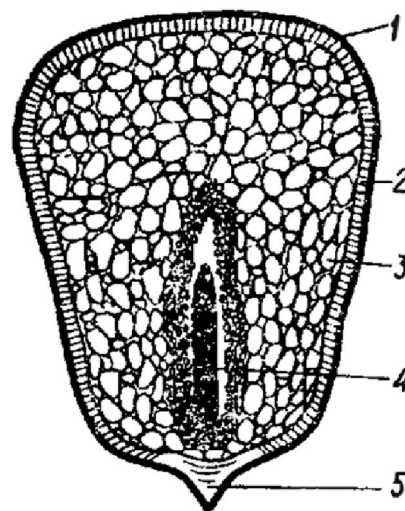


Рис. 4. Будова зерна: 1 – перикарпій; 2 – алейроновий шар; 3 – ендосперм; 4 – зародок; 5 – чохлак

Виробництво крохмалю з зернових має особливості. Через більш складну будову зерна крохмалю (рис. 4), виділення його з клітин вимагає додаткових операцій: замочування зерна в підкисленій

воді (вміст двооксиду сірки 0,15–0,2%), після чого проводять дроблення, відділення зародка, тонкий розмел крупок. Далі проводять процес аналогічно процесу одержання крохмалю з картоплі [5–10].

При вологості 13–14% зерно кукурудзи може зберігатися до двох і більше років. Завдяки цьому кукурудзу можна переробляти цілий рік. Зерна кукурудзи мають зародок, маса якого становить 8–12% від маси зерна, а жирові речовини містяться у зародку.

Метою технології (рис. 5) є максимальне вивільнення із зерна крохмалю стандартної якості і найбільш ефективний розподіл, використання всіх інших складових частин зерна, тим самим забезпечуючи комплексне використання сировини.

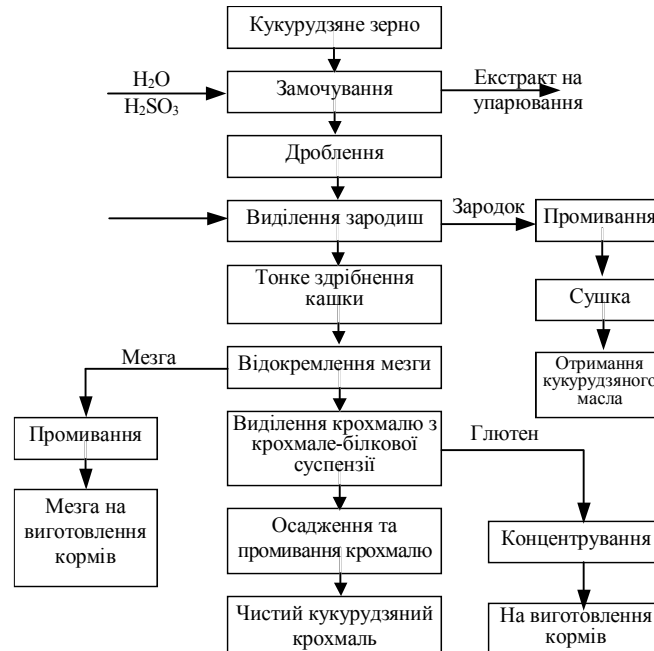


Рис. 5. Функціональна схема отримання крохмалю з кукурудзяного зерна.

Загальні положення виробництва модифікованих крохмалів. Однак до теперішнього часу не до кінця досліджені особливості і механізми модифікації крохмалю з крохмалювмісної сировини, недостатньо використовуються модифіковані крохмалі та крохмалепродукти для розробки нових продуктів.

З результатів аналітичного та виконаного нами експериментального дослідження стало відомо, що визначення зміни фізико-хімічних ($1 \rightleftharpoons 1'$), органолептичних (4), реологічних ($3 \rightleftharpoons 3'$) та технологічних ($2 \rightleftharpoons 2'$) властивостей надають певні зв'язки з подальшою модифікацією за функціональною схемою (рис. 6) [11–13] і корелюють з даними табл. 2–4.

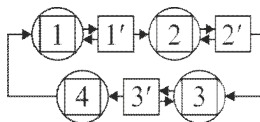


Рис. 6. Визначення зміни властивостей сировини

Таким чином, дослідження фізико-хімічних, технологічних і органолептичних властивостей крохмалю і крохмалепродуктів, а також створення сучасних високоєфективних технологій отримання модифікованих крохмалів продуктів з

крохмалювмісної модифікованої сировини є актуальною проблемою для харчової промисловості.

Крохмальні полісахариди є лабільними реакційно-здатними сполуками, вони активно взаємодіють з іонами металів, кислотами, лугами, окислювачами, поверхнево-активними речовинами. Це дозволяє модифікувати молекули крохмалю, змінюючи їх нативні властивості: гідрофільність, здатність до клейстеризації і драглетування, а також механічні характеристики желе. Одні види модифікації сприяють підвищенню розчинності крохмалю у воді, інші обмежують набухання.

Модифіковані крохмалі виробляють за рахунок фізичних, хімічних і біохімічних впливів на похідний крохмаль: модифіковані крохмалі за характером змін поділяють на розщеплені, заміщені, сополімери та ін. (рис. 7: 1 – гідролізовані крохмалі кислотами та ферментами; 2 – окиснені крохмалі хімічними реагентами: перекис водню H_2O_2 , калію перманганат $KMnO_4$; калій бромнуватокислий $KBrO_3$, калій йоднокислий KJO_4 , хлорнувата кислота $HClO_3$ та інші; 3 – опромінений крохмаль; 4 – декстрини; 5 – складні ефіри, наприклад фосфатні, ацетатні та інші; 6 – прості ефіри – наприклад, карбоксиметил крохмаль; 7 – зшиті крохмалі, наприклад, хлорокисом фосфору, епіхлоргідрином, біфункціональними з'єднаннями).

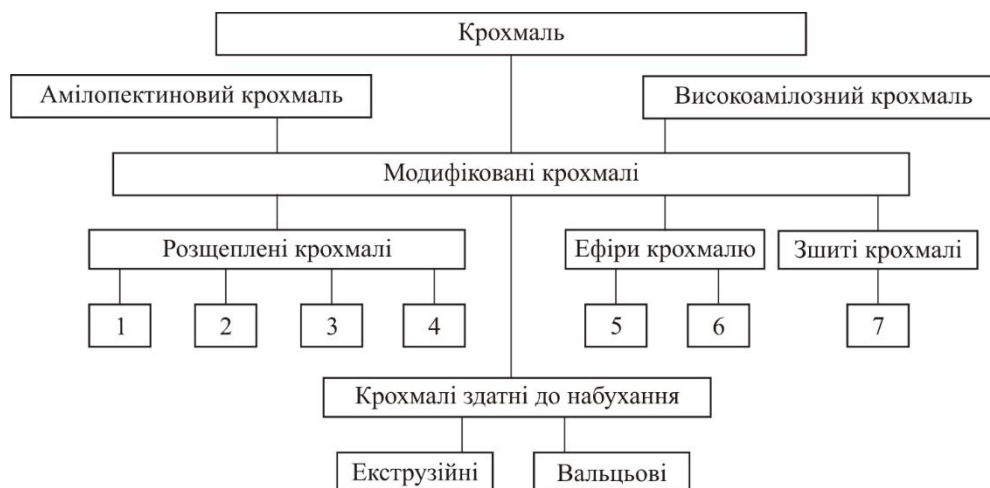


Рис. 7. Класифікація промислових модифікованих крохмалів

З заданими властивостями модифікований крохмаль можна отримати за допомогою селекційного відбору сировини або хімічної деструкції за допомогою кислот, лугів, а також в результаті дії фізичних факторів: температури, тиску, механічної оброблення, заморожування, відтавання та ін. Якщо реакція протікає в кислому середовищі, то спостерігаються процеси деструкції, які призводять до отримання ряду продуктів – рідко-киплячого крохмалю (з низькою в'язкістю), патоки, глюкози.

Прикладом дії механічної обробки може служити сухе розщеплення крохмалю вібраційним помелом, при якому поряд з механічним подрібненням крохмальних зерен відбувається процес деструкції молекул. З огляду на вплив, який мають ті чи інші властивості крохмалю на якість харчових продуктів, доцільно застосовувати в цілому ряді виробництв модифіковані крохмалі.

Попередньо оклейстеризований крохмаль отримують шляхом клейстеризації крохмальної суспензії, подальшого висушування у вигляді тонкої плівки на вальцьових сушарках і подрібнення в порошок. Відмінною особливістю цього крохмалю є здатність швидкої регідратації в воді, що дає можливість використовувати його в якості згущувача в харчових продуктах без нагрівання (пудинги, начинки).

Крохмаль, наприклад, модифікований кислотою, отримують шляхом обробки крохмальної суспензії сірчаною кислотою при температурі 25–55 °С (зазвичай при температурах, близьких до початку клейстеризації), час обробки залежить від ступеня в'язкості, яку хочуть отримати, і може складати 6–24 годин. Крохмаль практично не розчиняється в холодній воді, але добре розчинний у киплячій воді. Для нього, по порівнянню з вихідним, характерні більш низька в'язкість гарячих клейстером, зменшення сили крохмального гелю, збільшення температури клейстеризації крохмалю. Завдяки

здатності цього крохмалю утворювати гарячі концентровані клейстери, з досить високим ступенем драглеутворення, які при охолодженні дають гель, крохмаль можна з успіхом застосовувати в якості пом'якшувача при виробництві желейних цукерок, пудингів і ряду інших виробів з структурою типу желе, а також для отримання захисних плівок.

Таким чином, напрямки виробництва модифікованих крохмалів можна представити у вигляді науково-обгрунтованої схеми: 1) крохмалі, модифіковані кислотою, розщеплені, окислені, заміщені, здатні до набухання; 2) крохмалі, модифіковані кислотою, наприклад, соляною або сірчаною (1–3%), при температурі 45–50 °С та інші сучасні методи та способи, кількість яких зростає.

Природні властивості крохмалю можуть бути змінені в результаті фізичного, хімічного, біологічного або комбінованого впливу. Крохмалі зі зміненими властивостями після такої обробки називають модифікованими крохмалю. Умовно, за характером модифікації структури, їх підрозділяють на три групи: здатні до набухання, розщеплені і заміщені крохмалі.

Модифікацію крохмалів зазвичай проводять із застосуванням соляної або сірчаної кислоти. Суспензію нагрівають до температури нижче температури клейстеризації крохмалю. Витрата кислоти становить 1–3% до кількості крохмалю, температура, при якій протікає реакція, становить 45–50 °С. У промисловості найчастіше крохмалі, модифіковані кислотою, характеризують за показником плинності – величиною, зворотної в'язкості. Кукурудзяний крохмаль, модифікований кислотою, використовують в текстильній промисловості для шліхтування основ і обробки як бавовняних, так і змішаних тканин. Крохмаль, модифікований кислотою, застосовують в паперовому виробництві для підвищення стійкості до зношування та поліпшення якості друку. У харчовій промисловості модифіковані крохмалі цього типу

використовують для виготовлення желейних цукерок, східних солодоців та ін.

Розщеплені крохмалі виробляють шляхом термічної і механічної обробки з використанням в цьому процесі кислоти, окиснювачів, ферментів, деяких солей та інших добавок, що викликають деструкцію полісахаридних ланцюгів. Клейстер розщеплених крохмалів мають знижену в'язкість, високу прозорість і підвищену стабільність при зберіганні. Найбільш простим, часто вживаним способом модифікації крохмалю, є слабка обробка його кислотою при нагріванні нижче температури клейстеризації.

Ступінь окислювання залежить від витрати реагенту та умов проведення реакції. За своїми властивостями окислені крохмалі подібні крохмалю, модифікованим кислотою, але відрізняються більш низькою в'язкістю їх клейстерів і стабільністю при зберіганні.

Крохмалі, окислені йодною кислотою, мають по дві альдегідні групи в глюкозному залишку і їх називають диальдегідними. Вони мають високу реакційну здатність, широко застосовуються для підвищення міцності паперу і в якості дубильних речовин в текстильному виробництві. При ступені окислення до 2% подібного типу крохмалі використовують в харчовій промисловості.

При обробці картопляного або кукурудзяного крохмалю перманганатом калію в кислому середовищі отримують модифікований здатний до драглеутворення крохмаль, який використовують для деяких кондитерських виробів, а також як стабілізатор морозива і продуктів молочної промисловості. Методом окислення може бути отриманий також крохмаль із зміненими властивостями для текстильної промисловості.

Драглеутворюючу здатність окисленого крохмалю оцінюють по виду і структурі желе 8,5% клейстеру, приготовленого в тонкостінному стакані, після охолодження при температурі 17–20 °С протягом 60 хв. Отримане при цих умовах желе, повинно вийматися з склянки зі збереженням форми і мати щільну і пружну консистенцію.

Крохмаль, окислений перманганатом калію,

застосовують в якості замінювача агару і пектину при виробництві желейних кондитерських виробів.

В даний час в технології продуктів харчування дозволено використовувати крохмаль, окислений гіпохлоритом натрію. Однак в процесі його виготовлення кількість цього реагенту не повинна перевищувати 5,5% за активним хлору до маси крохмалю, а вміст карбоксильних груп в кінцевому продукті не повинен перевищувати 1,1%. Окислені гіпохлоритом натрію крохмалі знаходять застосування у виробництві паперу, текстильної промисловості, для крохмалення білизни та інших цілей.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Таким чином, представлені вище матеріали доповнюють заняття зі студентами та розширюють можливості їх самостійну роботу формують вміння при написанні висновків з проведеної експериментальної роботи, наприклад, оформлення об'єктів ІВ [12–20]:

- 1) визначення нового асортименту виробів за інноваційними властивостями модифікованих крохмалів;
- 2) класифікація об'єктів інтелектуальної власності відповідно до діючого законодавства у технології виробництва крохмалю з картоплі та кукурудзи;
- 3) обираючи найбільш доцільного для кожного окремого випадку технології дослідження в галузі.

При цьому у студентів виробляються необхідні навички: користування лабораторним обладнанням та комп'ютерною технікою з метою виявлення закономірностей процесів та методів дослідження; проведення експерименту та реалізації отриманих результатів; публічний захист наукової розробки, аналітичний компетентнісний аналіз наукової та прикладної частини і т.і. Загальний еволюційний процес як процес самоорганізації, незважаючи на його можливу стихійність, має певну спрямованість: проходить зростання цільових різновидів механізмів різноманітних форм, складності структур та властивостей.

5. 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.
6. Бухкало С.І.. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання): [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.
7. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
8. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». С. 217.
9. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2018. – 98 с.
10. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології крохмалю) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2019. – 98 с.

Список літератури

1. Литвяк В.В. Развитие теории и практики модификации крахмалосодержащего сырья для создания новых продуктов Специальность 05.18.05 – Технология сахара и сахаристых продуктов, чая, табака и субтропических культур. Дис. на соискание ученой степени д. т. наук, Краснодар. 2013, 40 с.
2. Литвяк, В.В. Способ получения микробиологически чистого крахмала и способ получения модифицированного крахмала: Патент № 10952. ВУ, МПК 7С 08В 30/00, А 23L 3/005, А 23L 3/10 / В.В. Литвяк, З.В. Ловкис, Н.Н. Петюшев, Л.П. Круль, Е.В. Гринюк, Е.А. Мурашко; заявка №а20060518; заявитель РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» – заявл. 26.05.2006; опубл. 30.08.2008. – 4 с.
3. Рихтер, М. Избранные методы исследования крахмала/ М. Рихтер, З. Аугустас, Ф. Ширбаум; пер. с немец. – М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 182 с.
4. Андреев, Н.Р. Основы производства нативных крахмалов / Н.Р. Андреев. – М.: Пищепромиздат, 2001. – 289 с.

11. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
12. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks / Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
13. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
14. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. X.: НТУ «ХПІ». 205 с.
15. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. X.: НТУ «ХПІ». 206 с.
16. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. X.: НТУ «ХПІ». 201 с.
17. Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. X.: НТУ «ХПІ». 208 с.
18. Бухкало С.І. Удосконалення методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». X.: НТУ «ХПІ». 2014. № 16. С. 3–11.
19. Сирку М.А., Бухкало С.І., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнута М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
20. Ситник В.В., Яценко Б.С., Бухкало С.І., Сирку М.А., Касьян А.С., Оса О.В. Визначення експериментальних властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019: Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 343.
5. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. та ін. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. 832 p.
6. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja): [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 412 p.
7. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 456 p.
8. Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noї tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «KhPI», 217 p..
9. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2018. 98 p.
10. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii kromalju) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2019. 98 p.
11. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17-19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
12. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI». 2019. – No. 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
13. Bukhhalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17-19 maja 2017. Kh.: Ch. III, – p. 14.
14. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 205 p.
15. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018р. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 206 p.
16. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018р. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. Kharkiv: NTU «KhPI», 201 p.
17. Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Olhovska O.I. та ін. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noї vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018р. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. H.: NTU «KhPI». 208 p.
18. Bukhhalo S.I. Udoskonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI». 2014. № 16, pp. 3–11.
19. Sirk M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019: Ch. II/za red. prof. Sokola Є.І. – Kh.: NTU «KhPI», p. 342.
20. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirk M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Vznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konf. (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II/za red. prof. Sokola Є.І. – Harkiv: NTU «HPI», p. 343.

References (transliterated)

1. Litvjak V.V. Razvite teorii i praktiki modifikacii krahmalosoderzhashego syr'ja dlja sozdanija novyh produktov Special'nost' 05.18.05 – Tehnologija sahara i saharistyh produktov, chaja, tabaka i subtropicheskikh kul'tur. Dis. na soiskanie uchenoj stepeni d. t. nauk, Krasnodar. 2013, 40 p.
2. Litvjak, V.V. Sposob poluchenija mikrobiologicheskoi chistogo krahmala i sposob poluchenija modifitsirovannogo krahmala: Patent № 10952. BY, MPK 7S 08V 30/00, A 23L 3/005, A 23L 3/10 / V.V. Litvjak, Z.V. Lovkis, N.N. Petjushev, L.P. Krul', E.V. Grinjuk, E.A. Murashko; zajavka №a20060518; zajavitel' RUP «Nauchno-prakticheskij centr NAN Belarusi po prodovol'stviju». – zajavl. 26.05.2006; opubl. 30.08.2008. – 4 p.
3. Rihter, M. Izbrannye metody issledovanija krahmalu / M. Rihter, Z. Augustat, F. Shirbaum; per. s nem. M.: Pishh. prom., 1975. 182 p.
4. Andreev, N.R. Osnovy proizvodstva nativnyh krahmalov / N.R. Andreev. – M.: Pishhepromizdat, 2001. – 289 p.

Надійшла (received) 23.08.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

С. І. БУХКАЛО**МОЖЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ МОДИФІКОВАНИХ КРОХМАЛІВ**

В статті наведено огляд з аналізу можливостей вирішення деяких задач навчання студентів НТУ «ХПІ» у межах розвитку комплексних технологій виробництва різновидів модифікованих крохмалів (частина 2). Метою дослідження визначено підвищення ефективності використання різновидів продукції для різних галузей промисловості на комплексних підприємствах з виробництва модифікованих крохмалів. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань як організація збирання і транспортування сировини, її ідентифікація та методи контролю якості; вибір науково-обґрунтованих методів переробки та подальшої модифікації; розробка необхідних технологічних схем та обладнання для переробки сировини; вибір підприємств для виробництва і обґрунтування вибору усіх видів ресурсів для реалізації цих проектних рішень. Можливості теми представлені у вигляді матеріалів для комплексних проектів студентів на прикладах переробки різноманітної сировини або різновидів модифікації її властивостей.

Ключові слова: комплексні технології, науково-обґрунтовані методи, виробництво та аналіз властивостей, модифікованих крохмалів.

С. И. БУХКАЛО**ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ**

В статье приведен обзор и анализ возможностей решения некоторых задач обучения студентов НТУ «ХПИ» в рамках развития комплексных технологий производства разновидностей модифицированного крахмала (часть 2). Целью исследования определено повышение эффективности использования разновидностей продукции для различных отраслей промышленности на комплексных предприятиях производства модифицированных крахмалов. Исследования направлены на изучение таких вопросов, как организация сбора и транспортировки сырья, его идентификация и методы контроля качества; выбор научно-обоснованных методов переработки и дальнейшей модификации; разработка необходимых технологических схем и оборудования для переработки сырья; выбор предприятий для производства и обоснование выбора всех видов ресурсов для реализации этих проектных решений. Возможности темы представлены в виде материалов для комплексных проектов студентов на примерах переработки различного сырья и разновидностей модификации его свойств.

Ключевые слова: комплексные технологии, научно обоснованные методы, производство и анализ свойств, модифицированные крахмалы.

S. I. BUKHALO**OPPORTUNITIES FOR MODIFIED STARCH TECHNOLOGIES DEVELOPMENT**

The paper provides an overview and analysis of the possibilities of solving some problems in students of NTU "KhPI" training in the framework of integrated modified starch production technologies development from potato and maize (part 2). The aim of the study is to increase the efficiency of use of varieties of products for various industries at complex and integrated sites for the modified starches production. Research is aimed to study such issues as the organization of the collection and transportation of raw materials, its identification and quality control methods; selection of scientifically based processing methods and further modifications; development of the necessary process flowsheets and equipment for processing raw materials; selection of enterprises for production and justification to select each types of resources for the implementation of these design decisions. Opportunities of the topic are presented in the form of materials for complex projects of students using examples of processing various raw materials and varieties of modification of its properties.

Keywords: complex technologies, scientifically based methods, processing and analysis of properties modified starches.

Деякі теоретичні питання зі способів модифікації крохмалю. Похідні крохмалю, отримані з нього шляхом різновидів обробки для необхідної зміни властивостей, називаються модифікованими (видозміненими) крохмалю і декстринами (рис. 1). Так, наприклад, розщеплені крохмалі (рідкокиплячі) утворюють клейстери низької в'язкості; виробляють їх шляхом розщеплення полісахаридних ланцюгів кислотою, окислювачами, амілазами, деякими солями і т. ін. У результаті такої дії проходить хаотичне або направлене розщеплення глюкозидних і інших зв'язків, знижується молекулярна маса, виникають внутрішні і міжмолекулярні зв'язки – з'являються карбонільні і карбоксильні групи, але, як правило, зерниста форма крохмалю зберігається.

У результаті реакції гідроксильних груп крохмалю з органічними і неорганічними речовинами утворюються прості і складні ефіри, в тому числі амілофосфорнокислі складні ефіри, які часто називають фосфатно-модифікованими крохмалю, а також продукти окислення крохмалю.

Етерифіковані крохмалі отримують введенням в молекулу крохмалю невеликого числа груп складно-ефірного зв'язку для заміщення. В основному це ацетильні, фосфорні групи. Ацетати крохмалю отримують обробкою зерен крохмалю оцтової кислотою або ацетангідридом в присутності каталізатора. розчини ацетатів крохмалю дуже стабільні, оскільки наявність ацетил-груп перешкоджає асоціації двох амілозних молекул і довгих бокових ланцюгів амілопектину. Ацетати крохмалю мають знижену здатність до ретроградації, утворюють прозорі і стабільні клейстери; застосовуються в заморожених продуктах, пекарських виробках, інстант-порошках [1–3].

Крохмалефосфат отримують при нагріванні суміші крохмалю і водорозчинних фосфатів. Монофосфатні ефіри зернового крохмалю отримують реакцією сухої суміші крохмалю і кислих солей орто, піро- або триполіфосфату при підвищеній температурі (50–60°C) протягом 1 год.

© Бухкало С.І., 2019

Такі крохмалі мають більш низьку температуру клейстеризації, набухають у холодній воді. Монофосфатні крохмалі застосовують в заморожених продуктах як згущувач, за рахунок його виключної стабільності при заморожуванні (відтаванні). Монофосфатні крохмалі застосовують в заморожених продуктах як згущувач, за рахунок його виключної стабільності при заморожуванні (відтаванні). Монофосфатні крохмалі застосовують в заморожених продуктах як згущувач, за рахунок його виключної стабільності при заморожуванні (відтаванні). Монофосфатні крохмалі застосовують в заморожених продуктах як згущувач, за рахунок його виключної стабільності при заморожуванні (відтаванні).

спостерігається синерезис. Завдяки цим властивостям поперечно-зшиті крохмалі застосовують в дитячому харчуванні, для салатних приправ, фруктових начинках, кремах.

Модифіковані крохмалі виробляють за рахунок фізичних, хімічних і біохімічних впливів на похідний крохмаль: модифіковані крохмалі за характером змін поділяють на розщеплені, заміщені, сополімери та ін. (рис. 1: 1 – гідролізовані крохмалі кислотами (рис. 2) та ферментами [4–9]; 2 – окиснені крохмалі хімічними реагентами: перекис водню H_2O_2 , калію перманганат $KMnO_4$; калій бромнуватокислий $KBrO_3$, калій йоднокислий KJO_4 , хлорнувата кислота $HClO_3$ та інші; 3 – опромінений крохмаль; 4 – декстрини; 5 – складні ефіри, наприклад фосфатні, ацетатні та інші; 6 – прості ефіри – наприклад, карбоксиметил крохмаль; 7 – зшиті крохмалі, наприклад, хлорокисом фосфору, епіхлоргідринном, біфункціональними з'єднаннями), приклади та можливості технології представлені у статті.



Рис. 1. Класифікація промислових модифікованих крохмалів.

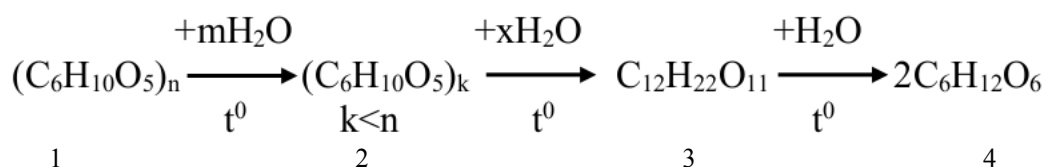


Рис. 2. Кислотний гідроліз крохмалю (1), декстрини (2), мальтоза (3) та глюкоза (4).

Крохмаль піддається кислотному гідролізу, який протікає східчасто і безладно (рис. 2). При розщепленні він спочатку перетворюється в полімери з меншим ступенем полімеризації – декстрини, потім в дисахарид мальтозу, і в підсумку – в глюкозу. Таким чином, виходить цілий набір сахаридів [1, 9].

Модифікований крохмаль, здатний до набухання в холодній воді, отримують з картопляного крохмалю вологотермічною обробкою, яка викликає часткове або повне руйнування структури зерен крохмалю. Функціональна схема операцій виробництва таких крохмалів має наступні стадії:

прийом сировини → виробництво суспензії крохмалю (CP 40–42%) → вплив за видом призначення крохмалю хімічних реагентів

(алюмокалієвих квасців, солей фосфорної кислоти, метилцелюлози та ін.) → витримка 15 хвилин при температурі 40–45°C → вальцева сушилка для клейстеризації і висушування → здрібнення плівок → просівання модифікованого крохмалю → фасування → пакування.

До групи модифікованих крохмалів здатних до набухання відносять ті, які пройшли вологотермічну обробку, що викликала часткове або повне незворотне руйнування структури зерен крохмалю. Модифіковані крохмалі цієї групи мають здатність набухати в холодній воді і повністю або частково переходити в розчинний стан. Властивості таких крохмалів залежать від виду вихідної сировини і умов її обробки до клейстеризації під час висушування. Спрямовану зміну деяких

властивостей крохмалів здатних до набухання здійснюють попередньою обробкою сировини хімічними реагентами або проведенням вологотермічної обробки крохмалю в присутності хімічних речовин (кислоти, луги, антисептики та ін.). Вищевказані крохмалі широко застосовують для брикетування кормів, агломерації порошку руд, вугілля та інших продуктів.

Визначення загальних властивостей модифікованих крохмалів та деяких галузей використання продукції. Вищевказані крохмалі широко застосовують для брикетування кормів, агломерації порошку руд, вугілля та інших продуктів. У нафтовій і газовій промисловості їх використовують в якості стабілізаторів глинистих розчинів для буріння свердловин. У харчовій промисловості їх додають в пудинги, продукти харчування – хліб, макарони та ін.

Залежно від призначення модифікованого крохмалю розроблені різні варіанти проведення клейстеризації, введення добавок (сіль, жири, білки) або наповнювачів, як окремо, так і в комбінації. Карбоксиметил крохмалі отримують обробкою картопляного крохмалю монохлорацетовою кислотою в спиртовому середовищі з подальшою нейтралізацією суміші і відмочкою продукту 8% спиртом. Як загусник він використовується при отриманні маложирних стабілізуючих емульсій. Цей крохмаль сумісний з желатином – їх одночасне використання призводить до збільшення міцнісних характеристик продукту майже у 5 раз. Його застосування дозволяє також знизити коагуляцію желатину без зниження міцності системи. Крохмаль з подібною структурою, утворюється при випічці хліба, отримують в результаті декількох циклів заморожування і відтавання крохмального клейстеру. Внаслідок глибокої ретроградації крохмальних полісахаридів утворюється піниста, нерозчинна в холодній воді система, яку після просочування сиропами використовують, наприклад, в якості начинки для цукерок [8, 9].

Модифіковані крохмалі засвоюються в організмі людини легко і виконують, перш за все, енергетичну функцію. Модифікований крохмаль застосовують при виготовленні желеєвих виробів, борошняних кондитерських виробів, оздоблювальних

напівфабрикатів типу кремів, як загусник і стабілізатор для соусів, мороженого і ін.

Визначення загальних технологій модифікованих крохмалів та галузей використання продукції. Фізико-хімічні властивості нативного крохмалю в значній мірі залежать від природних особливостей крохмалеутримуючої сировини і не завжди відповідають запитам споживачів. Промисловий поділ крохмалю на амілозні і амілопектинові фракції (рис. 3 та 4) здійснюють за допомогою утворення комплексів з полярними органічними сполуками, методом фракційного осадження, методом кристалізації без додавання комплексоутворювачів, або також за допомогою гідродинамічного поділу [3–9] та іншими способами з урахуванням складових за темою виробництва модифікованих крохмалів (табл. 1) відповідно до наведених алгоритмів. Наприклад, модифікований крохмаль здатний до драглеутворення один з видів окисленого крохмалю, отримують обробкою крохмальної суспензії перманганатом калію в кислому середовищі. Застосовують як речовини для утворення желе замість агару і агароїда. У крохмалі глюкозидні залишки містять ряд реакційних груп у різних вуглецевих атомів. Здатність цих груп вступати в реакції заміщення використовують для виробництва заміщених крохмалів. Технологічний процес для виробництва окисненого крохмалю здатного до драглеутворення можна визначити за схемою:

- 1) обробка картопляного крохмалю у вигляді крохмального молока соляною кислотою;
- 2) у підігріту до температури 35–40 °С крохмальну суспензію подають розчин марганцево-кислого калію ($KMnO_4$) і витримують 30 хв;
- 3) після окислення крохмальне молоко 3–4 рази промивають чистою водою;
- 4) згущують на осаджуючих центрифугах;
- 5) крохмаль механічно зневоднюють;
- 6) висушують на пневматичній сушарці, отриманий модифікований крохмаль, застосовують, наприклад, як стабілізатор для морозива.

Функціональна схема виробництва такого крохмалю багатостадійна і характеризується наявністю хімічних реакцій підкислення та подальшого окислення.

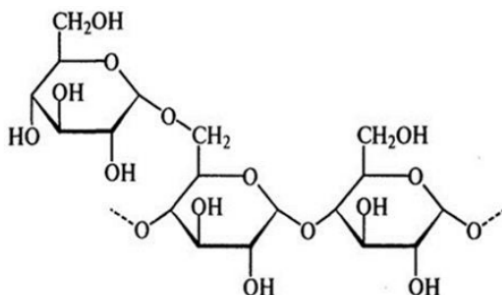


Рис. 3. Хімічна формула амілопектину

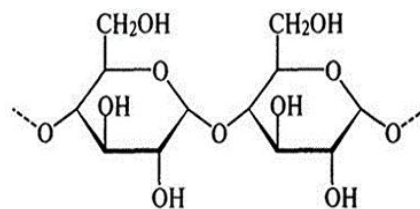


Рис. 4. Хімічна формула амілози

Таблиця 1 – Складові дослідження за темою виробництва модифікованих крохмалів

| № | Зміст |
|---|--|
| 1 | Аналіз науково-технічної і патентної інформації, постановка цілей і задач |
| 2 | Теоретичні відомості для експериментального вивчення різновидів модифікації: 2.1. Хімічні процеси; 2.2. Методи опромінення; 2.3. Різновиди декстринізації; 2.4. Різновиди механізмів зшивання та інші способи модифікації |
| 3 | Теоретичні відомості для розробки методів дослідження: 3.1. Методи визначення органолептичних властивостей; 3.2. Визначення морфологічних властивостей та структури поверхні; 3.3. Фазової структури або її зміна; 3.4. Визначення температури клейстеризації та реологічних властивостей клейстерів. |
| 4 | Опис загальної технології виробництва: 4.1. Функціональна схема підготовчих стадій; 4.2. Функціональна схема основних стадій; 4.3. Функціональна схема заключних стадій; 4.4. Вибір визначальних факторів і вивчення механізму їх впливу на ефективність виробництва |
| 5 | Опис експериментального дослідження: 5.1. План тестування: ботанічні особливості нативних крохмалів та технологічні параметри дослідження; 5.2. Приклади тестування: тестування правильності введених значень та коректності дослідження; 5.3. Визначення функціональної залежності експериментальних досліджень; 5.4. Вивчення впливу допоміжних операцій технології; 5.5. Перевірка коректності експериментального дослідження. |
| 6 | Пропозиції з удосконалення технології модифікованих крохмалів. |
| 7 | Висновки |

Особливістю крохмалю, який має здатність до набухання – розчинення у холодній воді і утворення клейстерів різної в'язкості, можна назвати вологотермічну обробку, яка призводить до часткового або повного руйнування структури зерен крохмалю. Даний вид крохмалю, наприклад, можна отримати обробкою суспензії кукурудзяного крохмалю після додавання в неї алюмінієво-калієвих квасців і антисептика катапін. Потім суспензія з концентрацією 31–33% сухих речовин насосом подається на вальцову сушилку, барабан якої обігрівается паром. Тонкий шар суспензії швидко висихає, утворюючи тонку плівку на барабані, яка знімається ножом з подальшим подрібненням плівки в порошок, частинки якого набухають при змочуванні водою і збільшуються в об'ємі. Крохмаль, який має здатність до набухання використовують в харчовій промисловості – продукти швидкого приготування, стабілізатори та загусники.

Модифіковані крохмалі окисненого типу отримують впливом на зерна крохмалю різних окиснювачів, окислення крохмалю проводять у присутності певної кількості води при різних значеннях рН. Окислені крохмалі відносять до групи модифікованих розщеплених крохмалів, вони відрізняються від звичайних крохмалів появою в елементарних ланках нових функціональних груп – карбоксильних і карбонільних і зниженою молекулярною масою полісахаридів (табл. 3). В якості окиснювачів застосовують, наприклад, гіпохлорити, перманганат, йодну кислоту, її солі та інші сполуки. При дії на крохмаль окиснювачів відбувається гідролітичне розщеплення глюкозидних зв'язків з утворенням карбонільних груп, окислення спиртових груп у карбонільні, а потім в карбоксильні. Ступінь, окислення залежить від витрати реагенту та умов проведення реакції. За своїми властивостями окислені крохмалі схожі з

крохмалю, модифікованим кислотою, і відрізняються здатністю до утворення клейстерів пониженої в'язкості і стабільних при зберіганні. До окисленим крохмалів відноситься модифікований крохмаль для драглеутворення, що готується шляхом обробки картопляного або кукурудзяного крохмалю перманганатом калію в кислому середовищі. Його використовують як драглеутворюючий компонент для деяких кондитерських виробів, в якості стабілізатора морозива, продуктів харчоконцентратної і молочної промисловості. Залежно від способу окислення продукція має застосування у паперовій промисловості для підвищення міцності паперу у якості дубильних речовин, а при низькому ступеню окислення (до 2%) в харчовій промисловості.

Підгрупа ефірів крохмалю включає модифіковані крохмалі в яких до мономерів полісахаридних ланцюгів приєднані залишки хімічних речовин, зокрема ефірні – ацетатні, фосфатні, оксипропілові, оксипропілові групи і т.д. Сюди ж відносяться зшиті крохмалі в яких між полісахаридними ланцюгами введений зшиваючий агент – радикал. Глюкозні залишки містять реакційні групи: кінцеві редуруючі і спиртові у другого, третього і шостого атомів. Здатність цих груп вступати в хімічні реакції з різними органічними і неорганічними сполуками використовують для виробництва багатьох видів простих і складних ефірів крохмалю. Введення в молекули полісахаридів крохмалю навіть незначної кількості істотно змінює властивості клейстерів. Глюкозидні залишки, з яких побудовані полісахаридні ланцюги крохмалю, містять ряд реакційно-здатних груп – кінцеві редуруючі групи, спиртові групи у другого, третього і шостого вуглецевих атомів. Здатність цих груп вступати в реакції заміщення з різними органічними і неорганічними сполуками використовують в промисловості для виробництва ряду модифікованих

крохмалів, що відносяться до групи заміщених модифікованих крохмалів, що включають прості і складні ефіри та зшиті крохмалі. Введення в молекули полісахаридів крохмалю навіть незначної кількості радикалів дозволяє значно змінити властивості крохмалю – підвищити в'язкість і стабільність їх клейстерів, усунути їх тягучість і липкість, поліпшити стабілізуючу дію, здатність до утримання на волокнах целюлози, бавовни і на штучних волокнах, посилити плівкоутворювальну здатність і т. п. Монокрохмальфосфати утворюють стабільні клейстери, що відрізняються підвищеною прозорістю, стійкістю до заморожування, відтаювання та ін. Дикрохмальфосфати утворюють клейстери, стійкі до нагрівання і механічної дії, їх використовують при виробництві майонезів, кондитерських та м'ясних виробів і т.д.

Ацетилований крохмаль (ацетат крохмалю) має здатність утворювати стабільні прозорі плівки, його використовують у якості загусники. Ацетат крохмалю – це загальна назва найрізноманітніших за складом продуктів, які отримують з використанням крижаної оцтової кислоти, оцтового ангідриду і інших реагентів. При ацетилюванні у крохмальній ОН-групі атом водню заміщується залишком оцтової кислоти. В ході реакції проходить утворення ефіру і деструктивне розщеплення крохмалю. При максимальному ступені ацетилювання в кожному глюкозному залишку гідроксильні групи утворюють ефірні зв'язки із залишками оцтової кислоти. Триацетат крохмалю теоретично містить 44,8% ацетильних груп по масі безводного залишку глюкози. У промислових умовах виробляють зазвичай ацетати крохмалю з низьким ступенем заміщення. Вони мають здатність утворювати стабільні, прозорі клейстери, при висиханні яких утворюються міцні плівки. Введення ацетильних груп підвищує стабілізуючу дію крохмалю, затримуючи старіння клейстеру.

Ацетилювання перешкоджає або зводить до мінімуму асоціацію амілозних фракцій зерен крохмалю і зовнішніх розгалужень амілопектину. Досить отримати невелику масу ацетильних груп, щоб домогтися підвищення стійкості клейстеру. При ацетилюванні відбувається не тільки утворення складного ефіру, а й деструктивне розщеплення крохмалю. Додаванням до оцтової кислоти мінеральних кислот можна посилити процес деструкції, що дозволяє регулювати властивості приготовлених ацетатів крохмалю. Ацетилювання крохмалю знижує в'язкість клейстерів з нього, але підвищує їх стабільність і плівкоутворювальну здатність. Цей крохмаль застосовують як структуроутворювач, згущувач, плівкоутворювач в харчовій і інших галузях промисловості. Ацетатний крохмаль застосовують у виробництві продуктів дитячого харчування, консервованих фруктових начинок і кремів. До таких харчових виробів пред'являються вимоги тривалого зберігання в умовах різних температур. Для поліпшення

структурно-механічних властивостей желе ацетилювання крохмалю комбінують з введенням в полісахаридні ланцюги поперечних зв'язків. Поперечні зв'язки підвищують стійкість клейстерів до дії високих температур, перемішування і низьких значень рН. Поперечно-зв'язані ацетиловані крохмалі використовують при виробництві консервованих, заморожених, випічних і сухих продуктів харчування. Ацетиловані крохмалі після попередньої клейстеризації застосовують в сухих сумішах кремів і начинок. У текстильному виробництві ацетати крохмалю в основному використовуються для шліхтування пряжі, а у виробництві паперу – переважно для покриттів: поверхнева проклейка дозволяє поліпшити якість друку, підвищити стійкість паперу до стирання, розчинника і жиру.

Декстринами називають крохмалі, піддані більш енергійній обробці теплом і летючими кислотами або іншими реагентами з тим, щоб отримувати на базі декстринів клей з різними властивостями. Умови реакції (температура, кислотність, тривалість) підбираються таким чином, щоб отримувати декстрини потрібної якості. Зазвичай декстрини отримують змішуванням сухого крохмалю з потрібною кількістю летючої (наприклад, соляної) кислоти, після чого суміш піддають в спеціальних апаратах дії високих температур. Зміною дозування кислоти, регулюванням температури і тривалості процесу можна отримати декстрини з різними властивостями за кольором, клейкими властивостями, розчинності у холодній воді, кольоровій реакції з йодом, наявності глюкози. Зазвичай, процес декстринізації крохмалю проходить у дві стадії: 1) крохмаль втрачає капілярну і частину адсорбційної утримуваної вологи, при цьому вологість самого крохмалю наближається до 2–3 %; 2) проходять процеси деполімеризації, піролізу і утворення нових глюкозидних зв'язків, що збільшує розгалуження полісахариду, тобто проходить інтенсивна декстринізація крохмалю, вміст вологи знижується до 0,5–0,6%. Декстрини набирають заданого кольору, розчинності (його вологість повинна бути приблизно 5%) та здатності до склеювання, яка для декстринів особливо цінна в тих випадках застосування, коли потрібні нешкідливі клеї, наприклад при виготовленні тари для харчових продуктів, в тютюновій промисловості і т. ін. Для контролю за розщепленням крохмалю (табл. 2) зручно використовувати реакцію з йодом визначення декстринів [5, 6, 10–12].

Для лінійних декстринів блакитне фарбування з йодом спостерігається при ступені полімеризації більше 47, синьо-фіолетове – при 39–46, червоно-фіолетове – при 30–38, червоне – при 25–29, коричневе при 21–24. При $p < 20$ пофарбований комплекс не утворюється, у цьому випадку ступінь гідролізу визначають по здатності до відновлення гідролізату. Визначення масової частки декстринів по методу М.П. Попова й Е.Ф. Шаненко призначене для

об'єктів круп'яної і комбікормової галузі. Техніка визначення складається з наступних операцій: 10–15 г зерна подрібнюють на лабораторному млині, 2 г продукти (прохід через сито 1 мм) зважують, кількісно переносять у склянку механічної мішалки, додають 200 см³ дистильованої води й екстрагують

протягом 5 хв. при інтенсивному перемішуванні. Суміш фільтрують і у фільтраті визначають вміст декстринів: визначають оптичну щільність отриманого розчину на спектрофотометрі СФ-4А або на фотоелектроколориметрі ФЭК-56М при довжинах хвиль 660 нм і 530 нм з світлофільтрами.

Таблиця 2. Характеристика нативних крохмалів для різновидів ботанічного походження

| | |
|---|---|
| 1 | Аналіз науково-технічної і патентної інформації та документації, постановка цілей і задач |
| 2 | Органолептичні показники для експериментального вивчення різновидів модифікації: 2.1. Визначають в послідовності: зовнішній вигляд (однорідність), потім – колір і запах. Для визначення зовнішнього вигляду і кольору частину середньої проби крохмалю поміщають на пластинку з безбарвного скла розміром 13x18 см. Поверхню крохмалю покривають другою пластинкою з такого ж скла, домагаються утворення гладкої поверхні проби крохмалю і визначають зовнішній вигляд і колір при розсіяному денному світлі (білий, допускається жовтуватий відтінок). 2.2. Для визначення запаху в порцелянову чашку або склянку зважують наважку крохмалю масою близько 20 г, заливають теплою водою при температурі близько 50 °С, перемішують і залишають в спокої. Після 0,5 хв воду зливають і визначають запах (властивий крохмалю). |
| 3 | Метод визначення кількості вкраплень – підрахунок кількості вкраплень на 1 дм ² поверхні крохмалю. 3.1. Використовують пластину з безбарвного скла розміром 10x15 см, на яку нанесені контури прямокутника розміром 5x2 см з розбивкою на клітини розміром 1x1 см. Невелику кількість крохмалю, взятого на шпатель, насипають на аркуш білого паперу або на скло. На поверхню крохмалю кладуть скляну пластинку з нанесеними на неї контурами прямокутника і клітинами. Крохмаль злегка притискають склом і підраховують вкраплення на всій окресленій площі. Підрахунок проводять не менше п'яти разів після перемішування проби. 3.2. Кількість вкраплень X, шт. (для кукурудзяного крохмалю 1 сорту – 300; першого сорту та амілопектинового – 500) на 1 дм ² поверхні крохмалю, обчислюють за формулою $X = (n \cdot 100) / (5 \cdot 10)$, де n – загальна сума вкраплень після п'яти підрахунків, шт.; 10 – площа окресленого прямокутника, см ² . |
| 4 | 4.1. Метод визначення вологи висушуванням до постійної маси – суть методу полягає в висушуванні наважки крохмалю при температурі (105±2) °С до постійної маси. Метод слід застосовувати при виникненні розбіжностей в оцінці якості продукції. Масова доля вологи кукурудзяного крохмалю, не більше, %: вищого та першого сортів – 14; амілопектинового – 16. 4.2. Визначення вологи методом прискореного висушування – суть методу полягає в висушуванні наважки крохмалю при температурі (130 + 2) °С протягом певного часу |
| 5 | 5.1. Метод визначення загальної золи – суть методу полягає у визначенні вогнетривкого залишку крохмалю при спалюванні його в муфельній печі при температурі 600–650 °С. 5.2. Масова доля загальної золи кукурудзяного крохмалю в перерахунку на сухі речовини, не більше, %: вищого сорту – 0,20; першого сорту та амілопектинового – 0,30. 5.3. Метод визначення золи (піску), нерозчинної в 10% розчині соляної кислоти – суть методу полягає в розчиненні навішування крохмалю 10% розчином соляної кислоти, фільтрації отриманого розчину і визначенні масової частки золи (піску) після спалювання осаду на фільтрі в муфельній печі при температурі 600-650 °С. |
| 6 | Кислотність (КЧ) – об'єм розчину гідроксиду натрію молярної концентрації 0,1 моль/дм ³ (0,1 н) на нейтралізацію кислот і кислих солей, що містяться в 100 г сухих речовин крохмалю у присутності індикатора фенолфталеїну; для кукурудзяного крохмалю КЧ, см ³ , не більше: вищого сорту – 20; першого сорту та амілопектинового – 25. |
| 7 | Метод визначення протеїну в кукурудзяному крохмалі достатньо складний – суть методу полягає в окисленні наважки крохмалю концентрованою сірчаною кислотою при нагріванні з подальшим відгоном аміаку і перерахунком кількості азоту в ньому на протеїн. Масова доля протеїну кукурудзяного крохмалю в перерахунку на сухі речовини, не більше, %: вищого сорту – 0,80; першого сорту та амілопектинового – 1,00. |
| 8 | Метод визначення сірчистого ангідриду – суть методу полягає в окисленні сірчистої кислоти розчином йоду при титруванні фільтрату крохмальної суспензії. Вміст діоксиду сірки (SO ₂) для кукурудзяного крохмалю, мг/кг, не більше 50,00 для всіх його різновидів |
| 9 | Проведення кольорової реакції з йодом для амілопектинового кукурудзяного крохмалю: фарбування розведеного клейстеру розчином йоду і порівняння кольору з кольором зразка: від червоного до червоно-фіолетового. |
| | Пропозиції з удосконалення аналізу модифікованих крохмалів. Висновки |

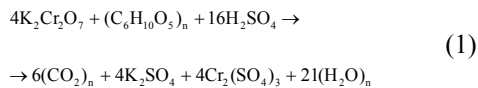
Оптимальна вологість продукту лежить в інтервалі 14–16%. При зниженні або підвищенні вологості суміші кількість декстринів зменшується, що пов'язане з недостатнім ступенем клейстеризації крохмалю й гідролізації крохмалю до декстринів, а також підвищенням температури, що приводить до термічного розкладання декстринів. У результаті чого обробка може вважатися недостатньою, тому що не приводить до належних змін у складі крохмалю.

Зшиті модифіковані крохмалі виробляють шляхом обробки крохмалю протягом 10–20 годин

при температурі 25–50 °С за допомогою формальдегіду, епіхлоргідрину або триметилфосфату натрія. Після закінчення реакції суспензію нейтралізують кислотою, фільтрують, продукт промивають водою і сушать. Такі крохмалі використовують у харчовій, паперовій, текстильній промисловості для підвищення стійкості полісахаридних ланцюгів при тепловій або механічній обробці. Відмінності в спектрах, за висновками дослідників для окремих видів крохмалів і амілози визначаються специфічними способами

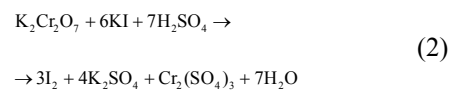
виробництва крохмалю та виділення їх складових, а також зміною в структурі нових ботанічних сортів вихідної рослинної сировини.

До основних органолептичних показників, які характеризують якість крохмалю відносять: зовнішній вигляд, колір, запах і блиск. За зовнішнім виглядом крохмаль є однорідним порошком білого з жовтуватим відтінком коліру, для II сорту – білий колір з сірватим відтінком. Запах усіх видів і сортів крохмалю має бути властивий йому, без сторонніх. Блиск крохмалю залежить в основному від розміру крохмальних зерен, тому крупні зерна мають більш виражений блиск. Один з методів кількісного визначення крохмалю у сировині – титрометричний метод Починка. Сутність методу полягає в тому, що крохмаль екстрагують із наважки нітратом кальцію, у якому інші полісахариди не розчиняються. З розчину крохмаль осаджують йодом, що також є специфічним реагентом, він вступає в сполуку тільки із крохмалем і утворює з ним нерозчинний комплекс. Потім йодний комплекс центрифугуванням відокремлюють від розчинника, ретельно промивають і окислюють відомою кількістю біхромату калію в кислому середовищі. Реакція окислювання йде по рівнянню:



Надлишок біхромату калію визначають йодметричним способом. Метод йодометрії – один з окислювально-відновних методів об'ємного аналізу, він заснований на використанні окислювально-відновних властивостей йоду. Атоми йоду, приймаючи електрони від речовин-відновників, поводяться в реакціях як окиснювачі. Аніони йоду, навпроти, легко віддають свої електрони речовинам-окиснювачам і, отже, грають у реакціях роль відновників. Ці окислювально-відновні властивості йоду і його іонів лежать в основі йодометрії. Зовнішньою ознакою розглянутої реакції є знебарвлення бурого розчину йоду. Точка еквівалентності при титруванні встановлюється за допомогою крохмалю, що грає в цьому випадку роль індикатора (перехід від синього до безбарвного).

Йодометрія частіше застосовується для кількісного визначення окиснювачів. Титрування ведеться, як правило, методом заступника. Титрування заступника застосовують, коли немає підходящої реакції або індикатора для прямого титрування. При титруванні з заступником аналізована речовина й робоча речовина між собою безпосередньо не взаємодіють. Спочатку один з них взаємодіє з якоюсь третьою речовиною, узятою в надлишку, а продукт, що вийшов при цій взаємодії (він і є заступник) титрують робочим розчином. Тобто, кількість речовини еквівалента аналізованого розчину дорівнює кількості речовини еквівалента робочого розчину, хоча вони між собою безпосередньо не взаємодіють. В реакційну суміш додають йодид калію, що вступає в реакцію з біхроматом калію. Реакція йде по рівнянню:



Йод, що виділився, титрують тіосульфатом натрію. По кількості витраченого на титрування тіосульфату натрію визначають кількість крохмалю, приймаючи 1 мл 0,1 N розчину тіосульфату натрію еквівалентним 0,675 мг крохмалю. Йод, що виділився при руйнуванні йодного комплексу біхромату калію, практично не робить впливу на результати аналізу.

Паралельно з основним дослідом проводять «сліпий» з метою внесення виправлення на йод, що виділився при реакції $K_2Cr_2O_7$ з KI відповідно до об'ємів. Вміст крохмалю (в %) розраховують за формулою [5, 6]:

$$K = 0,675(a - a_1)\delta \cdot 100 / (b \cdot N \cdot 1000), \quad (3)$$

де a – об'єм 0,1 N розчину тіосульфату натрію, витрачений на титрування «сліпого» дослід, мл; a_1 – те ж саме, титрування основного дослід, мл; δ – загальний об'єм розчину крохмалю, мл; b – об'єм розчину, узятий на осадження крохмалю, мл; N – наважка, г; 1000 – перевод міліграмів у грами.

Таблиця 3. Характеристика окиснених крохмалів для різновидів ботанічного походження

| | |
|---|--|
| 1 | Аналіз науково-технічної і патентної інформації та документації, постановка цілей і задач |
| 2 | Окиснений желіруючий крохмаль виробляють двох видів: картопляний і кукурудзяний. В залежності від показника міцності драглів окиснений желіруючий картопляний крохмаль виробляють трьох марок: А, Б та В. Визначають в послідовності: зовнішній вигляд (однорідний порошок), потім – колір (білий з сірватим відтінком) і запах (відповідний цьому виду крохмалю без сторонніх запахів). |
| 3 | Масова частка вологи, %, не більше: для картопляного марок А, Б і В – 20, кукурудзяного – 14. |
| 4 | Умовна вязкість клейстеру при температурі 60 °С, с, не більше: для 8% картопляного марок А, Б і В та 6% кукурудзяного – 30. |
| 5 | Реакція середовища – рН 10% водної суспензії 5,5–7,0 |
| 6 | Проба на желюочу здатність – задовільна. |
| 7 | Міцність драглів, г, не менше: для картопляного марок А і Б, відповідно – 1000 і 800; для інших – не регламентується. |
| 8 | Вміст токсичних елементів, пестицидів, радіонуклідів і мікробіологічні показники в желірующих крохмалях не повинні перевищувати норм, встановлених нормативними документами. |
| | Пропозиції з удосконалення аналізу модифікованих крохмалів. Висновки |

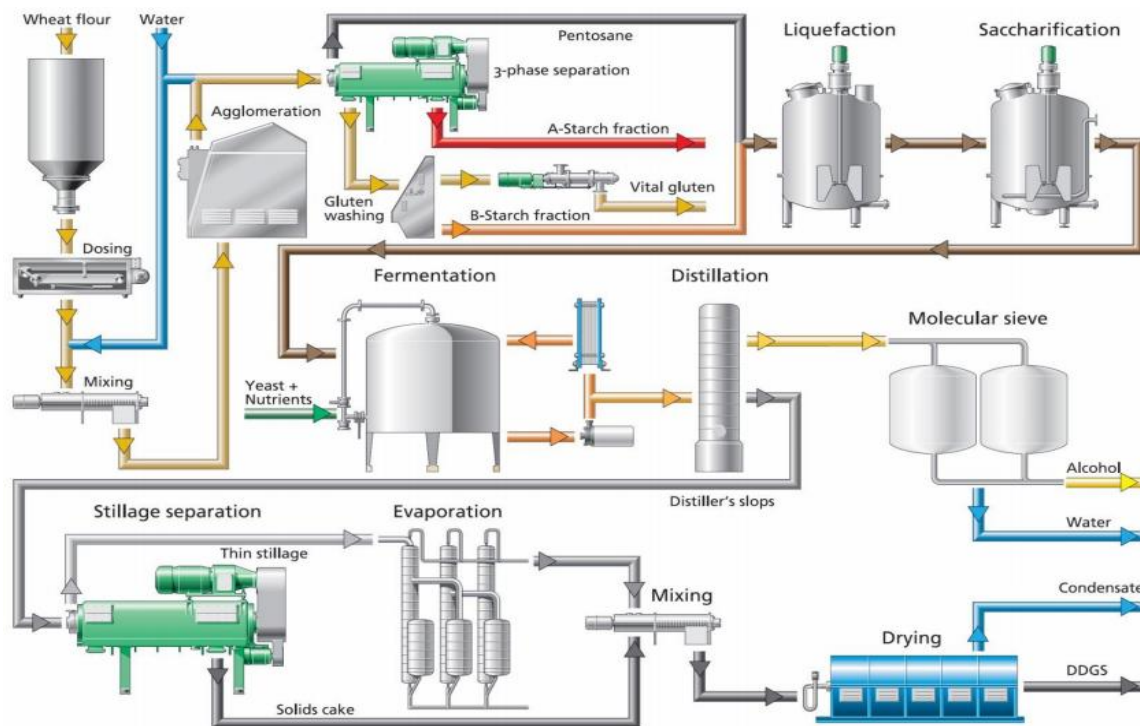


Рис. 5. Приклад схеми виробництва сухого крохмалю [2].

Крохмаль легко змінює фізико-хімічні властивості під дією теплової обробки, хімічних реагентів, амілолітичних ферментів. Ці процеси супроводжуються деструкцією полімерних молекул крохмалю, що складаються з амілози й амілопектину. На основі цих процесів одержують модифіковані крохмалі й інші крохмалопродукти: патока, декстрини, глюкоза. При нагріванні у воді зерна крохмалю руйнуються з утворенням клейстеру. Клейстеризація крохмалю – складний процес, що йде в три основні стадії. Спочатку крохмальні зерна набухають, приєднуючи невелику кількість води. При підвищенні температури приєднується велика кількість води, що супроводжується сильним набряканням зерен зі збільшенням їхнього об'єму в сотні разів і підвищенням в'язкості розчину. Ця стадія незворотна. Набрякання крохмалю відбувається внаслідок розриву водневих зв'язків і гідратації макромолекул полісахаридів. На останній стадії розчинні полісахариди витягуються водою, зерна втрачають форму і перетворюються в мішечки, суспендовані в розчині. Клейстеризація картопляного крохмалю відбувається при температурі 55–68 °С, кукурудзяного – при температурі 64–71 °С.

Розглянуті продукти одержують на спеціалізованих крохмале-патокових виробництвах, оснащених потоковими механізованими лініями (рис. 5). На малих виробництвах продукти виходять низької якості, малі виробництва нерентабельні [10–12]. В ході екструзії борошна, крохмалю, або також сумішей різних крохмалів змін функціонального складу полісахаридів не відбувається, а спостерігається перерозподіл системи водневих

зв'язків ОН-груп, при цьому загальна кількість і міцність цих зв'язків в модифікованих полісахаридах зменшується, що пов'язано з протіканням реакцій деструкції полісахариду при його екструзії

Виробництво розщеплених крохмалів, як правило, здійснюється в хімічних реакторах з мішалкою і підігрівом. При цьому використовують різні кислоти, ферменти або окиснювачі: така обробка призводить до зниження молекулярної маси, значного зменшення в'язкості клейстеру, підвищення реакційної здатності. Ці модифіковані крохмалі розчиняються у воді при нагріванні, стабілізують, згущають різні харчові системи, мають підвищену драглетуючу здатність і можуть бути проведені при високій концентрації в рідкій фазі. [1–9, 13–15]. Розщеплені крохмалі також отримують в результаті вологотермомеханічної обробки методом екструзії або висушування клейстеру на вальцовий сушарці. Вони добре набухають і частково розчиняються в холодній воді, утворюючи високомолекулярні дисперсії [1–3, 5–6].

Заміщені крохмалі виробляють в хімічних реакторах з мішалкою і підігрівом, проводячи реакцію етерифікації при певних умовах (рН середовища, температура процесу, час обробки).

Ефіри крохмалю широко застосовуються в харчовій промисловості і технічних цілях [1–6] для отримання поперечно-зв'язаних або зшитих крохмалів. Нативний крохмаль в хімічних реакторах з мішалкою і підігрівом обробляють речовинами, молекули яких здатні реагувати з двома і більше гідроксильних груп, в результаті чого утворюється поперечний зв'язок. Зшиті крохмалі використовують

в технічних цілях, а також для забезпечення стійкості харчових продуктів до заморожування – відтавання.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Молекули крохмалю є вельми реакційно-здатними сполуками, активно взаємодіють з іонами металів, кислотами, поверхнево-активними і іншими речовинами. Це дозволяє досить легко модифікувати їх: змінювати гідрофільні властивості, параметри клейстеризації і драглеутворення, а також реологічні характеристики. При модифікації крохмалі можуть зазнавати такі перетворення: розщеплення (деполімеризація) зі

збереженням або без збереження зернистої структури; втрата зернами початкової та придбання нової структури; рекомбінація структури полісахаридних ланцюгів; поява нових функціональних груп; утворення простих і складних ефірних зв'язків за рахунок взаємодії з відповідними реагентами і т.і. Досягнуті деякі результати за питаннями з теми інноваційних досліджень: освоєння нових компетентнісних навчальних технологій з організації, виконання та упровадження комплексного проектування, забезпечення активізації технічної творчості студентів [10–15].

Список литературы

1. Ловкис З.В., Литвяк В.В., Петюшев Н.Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов: уч. пос. – Минск: Асобны. 2007, 178 с.
2. www.intechopen.com; опубл. 30.08.2008. – 4 с.
3. www.alfalaval.com
4. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
5. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання): [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. 412 с.
6. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.
7. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
8. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2018. – 98 с.
9. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології крохмалю) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2019. – 98 с.
10. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
11. Buhkalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects 2018/2019 realization in the examples and tasks / Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
12. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
13. Бухкало С.І., Ігліні С.П., Ольховська О.І. та ін. Особливості управління розробками об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. X.: НТУ «ХПІ». 208 с.
14. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». X.: НТУ «ХПІ». 2014. № 16. С. 3–11.
15. Сирку М.А., Бухкало С.І., Ігліні С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнута М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.

References (transliterated)

1. Lovkis Z.V., Litvjak V.V., Petjushev N.N. Tehnologija krahmala i krahmaloproduktov: uch. pos. – Minsk: Asobny. 2007, 178 p.
2. www.intechopen.com;
3. www.alfalaval.com.
4. Tovazhnyanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. 832 p.
5. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (testovi zavdannja): [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 412 p.
6. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 456 p.
7. Buhkalo S.I. Viznachennja zagal'noi tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Harkiv: NTU «KhPI», 217 p..
8. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2018. 98 p.
9. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi z tehnologii kromalju) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2019. 98 p.
10. Buhkalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17-19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
11. Buhkalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects 2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI». 2019. – No. 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
12. Buhkalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XHV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17-19 maja 2017. Kh.: Ch. III, – p. 14.
13. Buhkalo S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. H.: NTU «KhPI», p. 208.
14. Buhkalo S.I. Udoshkonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «HPI». H.: NTU «HPI». 2014. No. 16, p. 3–11.
15. Sirku M.A., Buhkalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HHVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Harkiv: NTU «HPI», p. 342.

Надійшла (received) 23.08.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЛИСТ

Європейська федерація хімічної інженерії (EFCE) являє собою об'єднання національних неприбуткових федерацій (асоціацій) хімічної інженерії. Вона була створена у 50-х роках минулого сторіччя з метою сприяння кооперації у Європі національних неприбуткових професійних наукових та технічних об'єднань для забезпечення прогресу хімічної інженерії та розробки сучасних засобів та технологій.

Структура EFCE включає в себе робочі групи та секції з основних напрямків хімічної та харчової інженерії. Найменування секцій: 1) проектування та інженерія цільового продукту; 2) харчової інженерії; 3) мембранної інженерії; 4) сталого розвитку.

Робочі групи федерації: 1) освіти; 2) комп'ютерної процесної інженерії; 3) безпеки на виробництві та мінімізації шкідливих промислових викидів; 4) інженерія хімічних реакцій; 5) сепарація рідин; 6) електрохімічна інженерія; 7) кристалізація; 8) течія багатофазних середовищ; 9) змішання; 10) механіка подрібнених твердих фаз; 11) статична електрика у промисловості; 12) сушка; 13) роздроблення та класифікація; 14) системи характеристизації частинок; 15) технології високого тиску; 16) інженерія полімерних реакцій; 17) агломерація; 18) інтенсифікація процесів; 19) термодинаміка та транспортні властивості; 20) дизайн та якість.

Українська асоціація хімічної і харчової інженерії (CFE-UA) являється структурно складовою частиною EFCE. Вчені України представлені в робочих групах – 2 (проф. П.О. Капустенко, НТУ «ХП»), – 4 (проф. А.А. Фокін, НТУУ «КП»), та – 15 (академік АА. Долинський, ІТ НАН України). Надана унікальна можливість для компаній, організацій, викладачів, науковців, членів EFCE та CFE -UA внести свій вклад в розвиток і рішення сучасних і прогресивних наукових та технічних питань, пов'язаних з хімічною та харчовою технологіями, а також хімічним машинобудуванням, з метою вирішення глобальних завдань сьогодення. Очолює на громадських засадах неприбуткову Українську асоціацію хімічної і харчової інженерії член-кореспондент НАН України Товажнянський Л.Л.; робочу групу асоціації складається із членів кафедри ІТПА НТУ «ХП» проф. Вєдь В.Є., проф. Капустенко П.О., секретарем асоціації призначили проф. кафедри ІТПА Бухкало С.І.

З ціллю підвищення визнання досягнень української хімічної і харчової інженерії вченими Європейської спільноти задачами CFE-UA вважаються: 1) підвищення рівня цитування наукових робіт у міжнародних науково-метричних базах; 2) зміцнити представництво України в робочих групах та секціях EFCE делегатами від асоціації CFE-UA за означеними напрямками; 3) сприяти 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 консультаційної допомоги, організація і проведення лекцій, семінарів та інших заходів; 8) надання майданчиків і площ для проведення занять, тренувальних заходів і оздоровчих практик; 9) розробка пропозицій до державних програм, законодавчих актів, спрямованих на розвиток і удосконалення громадського суспільства в Україні, Євросоюзі та інших країнах, сприяння втіленню їх у життя, і т.і.

CFE-UA сприятиме співробітництву вчених та виробників хімічної та харчової промисловості України з EFCE для загального розвитку хімічної та харчової промисловості. Члени Української асоціації хімічної і харчової інженерії своєчасно сплачувати вступні (400–1000 грн від регіонального осередку) та членські внески (400–1000 грн від регіонального осередку) в розмірах та строки, що встановлюються Правлінням Організації (протягом поточного місяця). Додаткову інформацію та реквізити для сплати членських внесків можна знайти на сайті асоціації cfe.org.ua

Громадська організація «Українська асоціація хімічної і харчової інженерії»

ОКПО 41071591

п/р 2600800119725 в ПАТ «СКАЙ БАНК», МФО 351254

Адреса: 61002, м. Харків, вул. Багалія, буд.21

ФІП та організація платника

Тел: +380577202223

Обов'язково на сайті cfe.org.ua треба заповнити анкету. Для листування можна використовувати адресу кафедри ІТПА НТУ «ХП» як адресу Українській асоціації хімічної і харчової інженерії: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП», каф. ІТПА, секретар проф. Бухкало С.І.; тел. [+380932430788](tel:+380932430788), email: cfe.ukraine@gmail.com

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

| | |
|---|----|
| <i>Высочин В. В., Никульшин В. Р., Денисова А. Е., Белоусова Н. Г.</i> Эффективность грунтовых аккумуляторов гелиосистем | 3 |
| <i>Товажнянський Л. Л., Арсеньева О. П., Перевертайленко О. Ю., Кусаков С. К., Василенко О. А., Арсеньев П. Ю., Юзбашьян А. П.</i> Дослідження тепловіддачі та гідравлічного опору у стрічково-поточних каналах панельних пластинчастих теплообмінників | 10 |
| <i>Skalozubov V. I., Spinov V. M., Spinov D. V., Pirkovskiy D. S., Gablaya T. V.</i> Conditions for prevention of water hammers at start-up of emergency feed pumps with a steam driver of nuclear power plants | 15 |
| <i>Бухкало С. І., Ольховська О. І., Зіпунніков М. М., Ольховська В. О., Сирку М. А.</i> Аналіз можливостей регенерації етилового спирту у виробництві пектину | 19 |

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

| | |
|---|----|
| <i>Німець Н. М., Мельник А. П., Брусенцева Т. В., Німець О. Д.</i> Щодо технології одержання йоду з супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ та екологічної безпеки | 31 |
| <i>Бабенко В. М., Лаврова І. О., Шевченко К., Троценко О.</i> Дослідження особливостей роботи газорідної системи колонного апарату зі стабілізатором пінного шару | 38 |
| <i>Кравченко О. С.</i> Загальна технологія системи технічного зору в прикладах і задачах | 44 |

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

| | |
|--|----|
| <i>Sabadosh G. O.</i> Menu engineering mechanism for restauranthousehold establishments that serve the organized groups of consumers in recreational regions | 52 |
| <i>Гончаров Є. О., Гладкий Ф. Ф., Абу Шейба А. С., Скляр В. В.</i> Фотохімічна ізомеризація олефінів ... | 57 |
| <i>Слісь К. В., Тимченко В. К., Блохина В. Д.</i> Дослідження та аналіз технологічних властивостей крема косметичного з наноматеріалами широкого спектру дії | 62 |

ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

| | |
|---|----|
| <i>Нестеренко С. В., Донський Д. Ф., Немах А.</i> Моделювання антикорозійного захисту матеріалу обсадної колони в лабораторних умовах | 69 |
| <i>Бухкало С. І.</i> Перспективи розвитку технологій крохмалю з картоплі та кукурудзи | 75 |
| <i>Бухкало С. І.</i> Можливості розвитку технологій модифікованих крохмалів | 84 |
| ІНФОРМАЦІЯ | 93 |
| ЗМІСТ | 94 |

CONTENT

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC DEVELOPMENTS

| | |
|--|----|
| <i>Wysochin V. V., Nikulshin V. R., Denysova A. E., Bilousova N. G.</i> Efficiency of solar ground thermal storage | 3 |
| <i>Tovazhnyanskyy L. L., Arsenyeva O. P., Perevertaylenko O. YU., Kusakov S. K., Vasilenko O. A., Arsenyev P. YU., Yuzbashyan A. P.</i> Investigation of heat transfer and pressure drop in waved-form channels of panel-plate heat exchangers | 10 |
| <i>Skalozubov V. I., Spinov V. M., Spinov D. V., Pirkovskiy D. S., Gablaya T. V.</i> Conditions for prevention of water hammers at start-up of emergency feed pumps with a steam driver of nuclear power plants | 14 |
| <i>Bukhkalo S. I., Olkhovska O. I., Zipunnikov M. M., Olkhovska V. O., Syrku M. A.</i> Analysis the possibilities of regeneration ethyl alcohol in pectin production | 19 |

MODELING AS A TOOL OF INNOVATION

| | |
|--|----|
| <i>Niemets N. M., Melnyk A. P., Brusentceva T. V., Niemets O. D.</i> On the technology for producing iodine from oilfield produced water of oil-and-gas condensate fields and environmental safety | 31 |
| <i>Babenko V. N., Lavrova I. O., Shevchenko K., Trozenko O.</i> Study peculiarities of operation a gas-liquid system of a column apparatus with a foam layer stabilizer | 38 |
| <i>Kravchenko O. S.</i> General technology of technical vision system in examples and tasks | 44 |

ENERGY AND RESOURCE SAVING AS PROBLEMS AND TECHNOLOGIES OF INNOVATIONS

| | |
|---|----|
| <i>Sabadosh G. O.</i> Menu engineering mechanism for restauranthousehold establishments that serve the organized groups of consumers in recreational regions | 52 |
| <i>Goncharov E. A., Gladkiy F. F., Abu Sheiba A. S., Sklyar V. V.</i> Photochemical isomerization of olefins | 57 |
| <i>Slis K. V., Timchenko V. K., Blokhina V. D.</i> Research and analysis of technological properties of cosmetic cream with nanomaterials a wide spectrum of action | 62 |

INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH DIFFERENT PURPOSES

| | |
|---|----|
| <i>Nesterenko S. V., Donsky D. F., Nemah A.</i> Simulation of anti-corrosion protection of covering material in laboratory conditions | 69 |
| <i>Bukhkalo S. I.</i> Prospects for starch technologies from potato and maize development | 75 |
| <i>Bukhkalo S. I.</i> Opportunities for modified starch technologies development | 84 |
| INFORMATION | 93 |
| CONTENT | 94 |

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХП»
СЕРІЯ: ІННОВАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАУКОВИХ РОБОТАХ
СТУДЕНТІВ**

Збірник наукових праць

№ 21'2019

Головний редактор: канд. техн. наук, чл.-кор. НАН вищої освіти України, проф. С.І. Бухало

Технічний редактор: доц. Н.М. Мірошніченко

Відповідальний за випуск канд. техн. наук, доц. Н.М. Мірошніченко

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП».

Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів.

Тел.: (057) 707-63-04; +380673010613, e-mail: bis.khr@gmail.com

Підп. до друку 03.10.19 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
