

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**

№ 15'2019

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

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

No. 15'2019

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. — № 15 (1340) 2019. — 92 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.

*N. V. KONDRATJUK, T. M. STEPANOVA, A. Yu. VIYENKO, SHEN YUNJIAN*

### STUDY OF ORGANOLEPTIC AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF FISH MAFFINS WITH ADDITION OF PEARLY POWDER

The authors propose a new type of snack muffins with the addition of dry minced fish from sea and freshwater fish, enriched with pearl powder. It provides high protein content and good taste of finished products. The article presents the results of experimental studies on the enrichment of dry minced fish with pearl powder and the addition of these compositions to the recipes of snack muffins. Tasting analysis showed that the best organoleptic indicators have samples of flour culinary products with the content of enriched dry minced fish in 25%. However, such a quantity of recipe ingredients introduced negatively affects the process of dough formation and the appearance of finished products. The amount of added pearl powder was 2.3% of the amount of dry minced fish. The increase in the amount of added pearl powder to 5% does not contribute to an increase in the hydrophilic-city of dry minced fish in the composition of the dough piece for snack muffins. A further increase above 5% adversely affects the organoleptic characteristics of the finished culinary products. Thus, the accepted amount of dry minced fish was 15%. Adding 2.3% of pearl powder to the amount of dry minced fish allowed the physiological required ratio of calcium and phosphorus, which was 2:1 and provide preventive doses of organically bound calcium and phosphorus by 24-28% depending on age.

**Keywords:** snack muffins; dry minced fish; pearl powder; calcium; phosphorus.

*H. B. КОНДРАТЮК, Т. М. СТЕПАНОВА, А. Ю. ВІЄНКО, ШЕН ЮНЦЗЯН*

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РИБНИХ МАФФІНІВ ІЗ ДОДАВАННЯМ ПЕРЛИННОЇ ПУДРИ

Автори пропонують новий вид закусочних мафінів із внесенням сухого рибного фаршу з морських і прісноводних риб, збагаченого перлинною пудрою, що забезпечують підвищений вміст білка і гарний смак готових виробів. У статті представлені результати експериментальних досліджень по збагаченню рибних сухих фаршів перлинним порошком і додаванню отриманих композицій до складу рецептурної суміші закусочних мафінів. Дегустаційний аналіз показав, що найкращими органолептичними показниками володіють зразки борошняних кулінарних виробів із вмістом збагаченого рибного сухого фаршу в 25%. Однак, така кількість внесених рецептурних інгредієнтів негативного впливає на процеси тістоутворення і зовнішній вигляд готових виробів. Кількість внесеної перлинної пудри склала 2,3% від кількості сухого рибного фаршу. Збільшення кількості введеної добавки перлинної пудри до 5% не сприяє збільшенню гідрофільності сухого рибного фаршу у складі тістової заготовки для закусочних мафінів. Подальше збільшення вище 5% негативно впливає на органолептичні показники готової кулінарної продукції. Таким чином, прийнята кількість внесеного рибного фаршу склала 15%. Внесення 2,3% перлинної пудри від кількості сухого рибного фаршу дозволило забезпечити фізіологічні необхідне співвідношення кальцію і фосфору, яке склало 2:1 і забезпечити профілактичні дози органічно зв'язаного кальцію і фосфору на 24-28% залежно від віку.

**Ключові слова:** закусочні мафіни; сухий рибний фарш; перлова пудра; кальцій; фосфор.

*H. B. КОНДРАТЮК, Т. М. СТЕПАНОВА, А. Ю. ВІЄНКО, ШЕН ЮНЦЗЯН*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЫБНЫХ МАФФИНОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЖЕМЧУЖНОЙ ПУДРЫ

Авторы предлагают новый вид закусочных маффинов с внесением сухого рибного фарша из морских и пресноводных рыб, обогащенного жемчужной пудрой, обеспечивающих повышенное содержание белка и хороший вкус готовых изделий. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по обогащению рыбных сухих фаршей жемчужным порошком и добавлению полученных композиций в состав рецептурной смеси закусочных маффинов. Дегустационный анализ показал, что наилучшими органолептическими показателями обладают образцы мучных кулинарных изделий с содержанием обогащенного рибного сухого фарша в 25%. Однако, такое количество внесенных рецептурных ингредиентов негативно влияет на процессы тестообразования и внешний вид готовых изделий. Количество внесеной жемчужной пудры составило 2,3% от количества сухого рибного фарша. Увеличение количества вводимой добавки жемчужной пудры до 5% не способствует увеличению гидрофильности сухого рибного фарша в составе тестовой заготовки для закусочных маффинов. Таким образом, принятое количество внесенного рибного фарша составило 15%. Внесение 2,3% жемчужной пудры от количества сухого рибного фарша позволило обеспечить физиологические необходимое соотношение кальция и фосфора, которое составило 2:1 и обеспечить профилактические дозы органически связанного кальция и фосфора на 24-28% в зависимости от возраста.

**Ключевые слова:** закусочные мафины; сухой рыбный фарш; жемчужная пудра; кальций; фосфор.

**Introduction.** Currently fish processing is based on the use of rational technologies, as obtaining mixtures of minced meat from low-grade varieties fish, most of which also contain a lot of bones [1–4] and enrichment of minced fish with biologically active substances [5–11]. During the processing of fish raw materials use the activity of natural antioxidants to improve the microbiological stability of minced meat [7, 10, 11]. A sufficiently wide range of semi-

finished products of high readiness from minced mixtures allows rational distribution of fish raw materials. [1, 4, 7, 8, 10, 12–14, 18, 19]. However, most of the products are presented in the form of frozen convenience foods. It is expensive to store and requires responsibility for compliance with sanitary regulations and standards during transportation and processing.

© Kondratjuk N.V., Stepanova T.M., Viyenko A.Yu., Shen Yunjian, 2019

It is expensive to store and requires responsibility for compliance with sanitary regulations and standards during transportation and processing. In this regard, there is a need to develop new types of semi-finished fish meat products with improved technological properties, increased shelf life and nutritional value, as well as a reduced likelihood of pathogenic microflora contamination and oxidation of the protein and lipid components.

Semi-finished products of long-term storage, which are made on the basis of dry fish mince, used in the manufacture of extruded products [15], fish snacks [16], gastronomic products and other semi-finished products. This is one of the promising directions in the development of the fish processing industry.

**The formulation of the problem in general form and its connection with important scientific or practical tasks.**

**1. Analysis of the current state of the problem.** In recent years, new types of minced fish-based products have been developed in the fish processing industry. This allows to significantly expand the range of semi-finished and finished products based on minced fish.. However, until now the main task is to obtain finished products with high physiological value and improved consumer properties. There are different methods are used, such as enrichment with dry egg and dairy products, vitamin and mineral supplements, flavonoids, polysaccharide mixtures, dry and liquid extracts based on medicinal herbs and aromatic plants, powders based on fruit and berries, vegetables and wild-growing berries. Relatively new is the method of enrichment with powders based on natural raw materials with a high calcium content, as an element that forms and maintains the normal state of bones and teeth. Calcium provides blood clotting, muscle contraction, nerve impulse transmission, hormone release, cell division, etc.

Calcium can prevent the risk of osteoporosis, colorectal cancer, hypertension, overweight with daily and long-term consumption. However, the showing of the

beneficial properties of calcium is possible only in the presence of other substances, such as vitamin D, proteins, phosphorus or fluorine, which are found in fish dry powders in the required amount to carry out biochemical reactions. However, it should be noted that the creation of products that are balanced by chemical composition does not guarantee their relevance in the market. Consequently, the development of technologies that allow obtaining enriched products with a high consumer rating is the main task of food engineering.

**2. Determination of the main research criteria.** The purpose of this article is to expand the range of culinary products with a balanced chemical composition based on dry minced fish from sea and freshwater fish with the addition of pearl powder. The assortment is based on simulated recipes of flour culinary products.

To achieve this goal, the main tasks were identified:

- determine the basic recipe of muffins, as products that enjoy increased consumer demand among the population;
- model the recipe of the combination products, balanced by chemical composition;
- prepare prototypes of products for tasting with their subsequent organoleptic evaluation and determination of nutritional and biological value.

**Presentation of the main research material with the full justification of the obtained scientific results.**

The results of the analysis of scientific and technical information allowed to testify about the advantages of combining various types of protein-containing raw materials with the aim of mutual enrichment and increase the biological value of fish and flour culinary products that have become objects of research.

Table 1 shows a comparative analysis of the chemical composition of fish raw materials (in the form of dry minced meat and wheat baking flour. The table data clearly shows that the content of the main components of these two raw material components differ significantly (Table 1).

Table 1 – The chemical composition of wheat flour 1 grade and fish raw materials (dry minced fish) [17]

Content per 100 g of product	Name of raw materials				
	Wheat flour 1 grade	Pikeperch	Salmon (trimming, ridges)	Carp	Crucian
Proteins, g	11,1	165,6	183,78	144	159,31
Fats, g	1,5	9,9	120,78	47,7	16,2
Carbohydrates, g	67,8	-	-	-	-
Minerals, mg					
- sodium	4	315	531	495	450
- potassium	176	2520	3267	2385	2520
- calcium	24	315	81	315	630
- magnesium	44	225	243	225	225
- phosphorus	115	2070	2160	1890	1980
- iron	2,1	4,5	3,06	7,2	7,2
- iodine, mcg;	-	45	-	45	-
Vitamins, mg					
B <sub>1</sub>	0,25	0,72	1,89	2,07	0,54
B <sub>2</sub>	0,08	0,99	1,44	3,42	1,53
PP	4,3	18	78,03	70,74	18,9
A, mcg	-	90	360	108	180
D, mcg	-	-	59,76	-	-
C	-	27	35,1	-	9
E	1,8	16,2	31,95	-	3,6

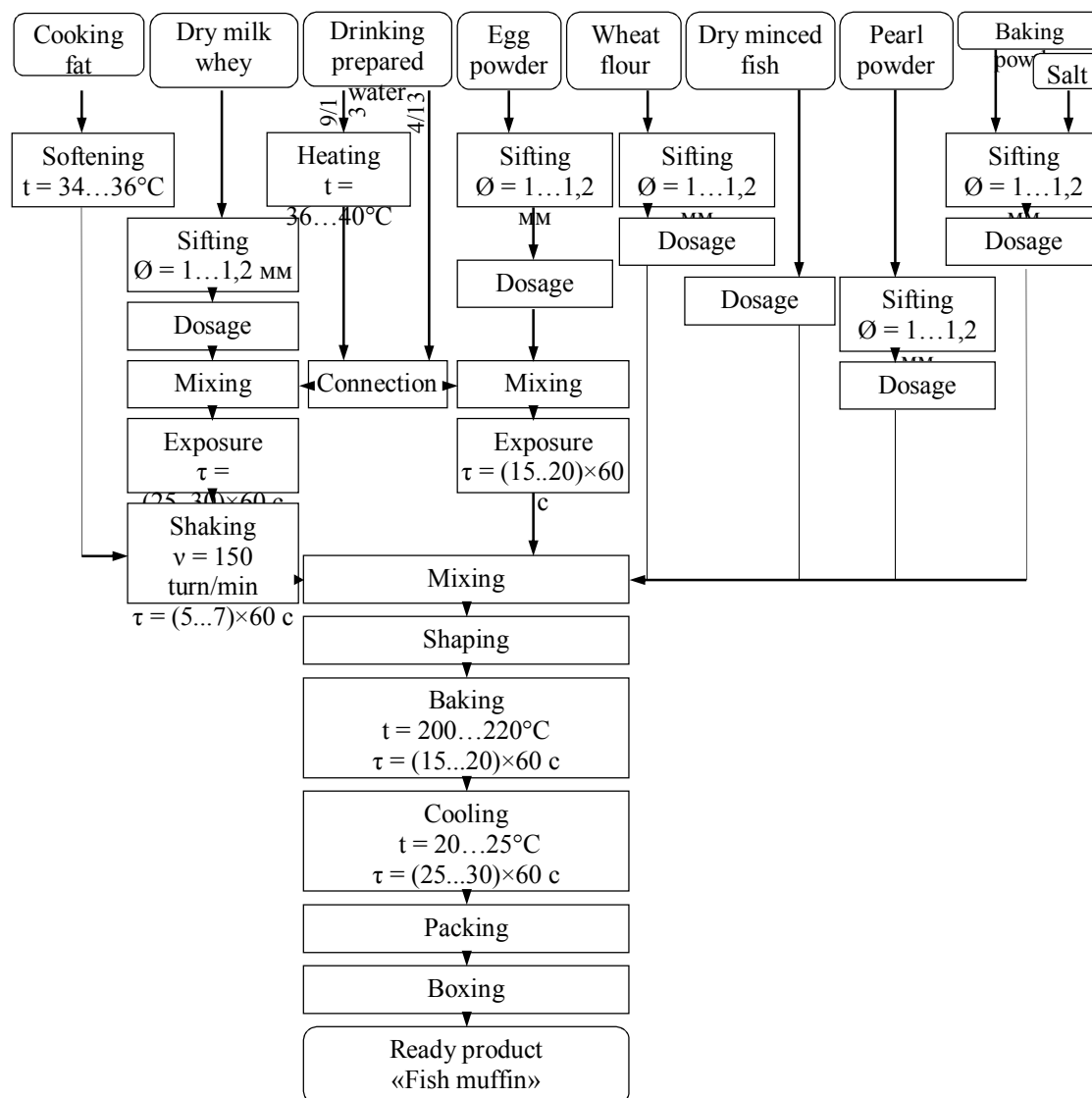


Fig. 1. Technological scheme of fish-flour culinary products (muffins)

According to the results of the analysis of table 1, the carbohydrates in dried minced fish are very small, therefore the starch flour is the raw component that regulates the carbohydrate content. Minerals are presented in a wider range

It is established that a rational ratio of flour and combined dry fish powder, which allows to maximize the biological value of fish foods culinary products is 10:90 and 15:85. This is ensured when the dosage of dry minced fish is 10–15% by weight of fish culinary products made from wheat flour of I grade. The same concentrations became interesting both technologically and economically.

Minced freshwater and saltwater fish were prepared by finely chopping fish fillets on the skin, followed by washing in citric acid solution. The concentration of acid to the mass of minced meat did not reach 0.3%, the hydromodule mince: water was 1:3. The final moisture

content of the dried minced fish did not exceed 13%. During the analysis of existing technological operations for the preparation of fish-flour culinary products, it was found that the preparatory stage of production lasts an average of 2–3 hours. The existing technologies analysis of various fish mince pies made it possible to identify opportunities for improving the technological process of preparing muffins for snacks and substantiate new recipes for fish and flour products, in particular, muffins based on dry minced fish enriched with pearl powder as a source of biologically active calcium. As can be seen from the scheme in fig. 1, the classic recipes of flour culinary products with fish fillings and the technological process of their production was changed. Milk and eggs were replaced with dry milk and egg products. The participation of whey in the recipe is advisable, since the pH of the dough piece decreases and the gluten proteins of flour and minced fish swell better. Also in the

presence of lactic acid, the process of dissolving pearl powder is accelerated with the formation of a highly digestible salt of calcium lactate and carbon dioxide. CO<sub>2</sub>. Such chemical processes can reduce the amount of baking powder and ensure the stabilization of the dough pH and the finished product is normal.

**Conclusions and perspectives of further development of this direction.** On the basis of research on the improvement of the technology of fish-flour culinary products using combined dried minced fish stuffed with biologically active calcium, we can summarize the following: the optimum physicochemical and organoleptic parameters of snack fish muffins can be considered as those that were obtained when minced fish in the range of 10 ... 15%; the use of combined dry minced fish, enriched with pearl powder, provides high quality products and biological value.

Analyzing the results, we can note the following. The addition of combined dry minced fish from marine and freshwater fish enriched with powder from pearl powder positively affects the energy and biological value of the fish in question due to increased protein content, reduced moisture and a slight decrease in the content of carbohydrates. This is observed as the amount of flour is replaced with minced fish. It should be noted that there is an increase in mineral and vitamin components depending on the number of minced fish. The number of minced fish significantly affects the structural and mechanical characteristics of the product. It should be noted that these experiments can be used for therapeutic and prophylactic nutrition, quality control of products and more complete use of low-value fish raw materials.

High moisture retention capacity of prototypes was noted. This contributed to minimal losses during heat treatment and a high percentage of finished products output. The organoleptic parameters of the prototypes on the average point of the tasting analysis are higher than the control samples by 20...25% of the total number of points. Experimental samples are characterized by a good commercial appearance, a more pleasant fish smell, higher taste characteristics. The slice view of the prototype has a more attractive color and juicy consistency than the control. The use of the proposed production of fish and flour culinary products reduces energy costs by eliminating the heat preparation of the filling, expanding the range of products with increased biological value. In addition, the replacement of milk and eggs with dry whey and egg powder can reduce the areas of the production zone where milk and egg products are prepared for production, as well as their storage, with the obligatory maintenance of cooling regimes.

#### References

1. Доценко С.М., Скрипка О.В., Стаценко Е.С. Кулинарные изделия на основе рыбного комбинированного фарша // Известия ВУЗОВ. Пищевая технология, 2006. № 1. С. 63–66.
2. Ярочкин А.П., Бойцова Т.М. Технология, процессы, технические средства получения пищевого фарша из мелких

- рыб и его использование // Известия ТИПРО. 2018. Т. 193. С. 237–253.
3. Чернышова О.В., Цибилова М.Е. Технология ферментированного фарша из караса серебряного // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2015. № 3. С. 136–144.
4. Мезенова О.Я., Баротова М.А. Технология функциональных рыбообразительных структурированных изделий на основе биомодифицированной мышечной ткани маломерного леща // Вестник молодежной науки. 2016. Т.2. № 4. С. 1–9.
5. Jenkelunas P.J., Li-Chan E.C.Y. Production and assessment of Pacific hake (*Merluccius productus*) hydrolysates as cryoprotectants for frozen fish mince. *Food Chemistry*, 2018, Vol.239, – pp. 535–543. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.148
6. Yılmaz S.T., Evren S.C., Yılmaz B.S., Kırilgic F., Lee C. Effect of fillet temperature on lipoxygenase activity in sardine mince with and without milk protein concentrate. *LWT*, 2018, Vol.90, – pp. 38–44. doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.006
7. Solari-Godino A., Perez-Jimenez J., Saura-Calixto F., Borderias A.J., Moreno H.M. Anchovy mince (*Engraulis ringens*) enriched with polyphenol-rich grape pomace dietary fibre: In vitro polyphenols bioaccessibility, antioxidant and physico-chemical properties. *Food Research International*, 2017, Vol.102, – pp. 639–646. doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.044
8. Ali H.A., Mansour E.H., ElBedaway A., Osheba A.S. Evaluation of tilapia fish burgers as affected by different replacement levels of mashed pumpkin or mashed potato// *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2019, Vol.18, Iss.2, – pp. 127–132. doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.003
9. Albertos I., Jaime I., Diez A.M., Gonzalez-Arnaiz L., Rico D. Carob seed peel as natural antioxidant in minced and refrigerated (4°C) Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*). *LWT - Food Science and Technology*, 2015, Vol.64, Iss. 2, – pp. 650–656. doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.037
10. Spinelli S., Conte A., Del Nobile M.A. Microencapsulation of extracted bioactive compounds from brewer's spent grain to enrich fish-burgers. *Food and Bioprocess Processing*, 2016, Vol.100, – pp. 450–456. doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.005
11. Sanchez-Alonso I., Jimenez-Escrig A., Saura-Calixto F., Borderias A.J. Effect of grape antioxidant dietary fibre on the prevention of lipid oxidation in minced fish: Evaluation by different methodology. *Food Chemistry*, 2007, Vol.101, Iss.1, – pp. 372–378. doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.058
12. Fu X., Lin Q., Xu S., Wan Zh. Effect of drying methods and antioxidants on the flavor and lipid oxidation of silver carp slices. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, Vol.61, Iss.1, – pp. 251–257. doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.035
13. Farvin K.H.S., Grejsen H.D., Jacobsen C. Potato peel extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced horse mackerel (*Trachurus trachurus*): Effect on lipid and protein oxidation. *Food Chemistry*, 2012, Vol.131, Iss.3, – pp. 843–851. doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.056
14. Martin Xavier K.A., Nauzoukim, Kannuchamy N., Balange A.K., Chouksey M.K., Gudipati V. Functionality of chitosan in batter formulations for coating of fish sticks: Effect on physicochemical quality. *Carbohydrate Polymers*, 2017, Vol.169, – pp. 433–440. doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.041
15. Кондратюк Н.В. Використання гелів харчових плівкоутворюючих на основі суміші уронатних полі-сахаридів у виробництві оболонки та рибних закусок // *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 2018. Т. 29 (68). Ч. 3. № 1. С. 48-52.
16. Кондратюк Н.В. Дишук Г.В., Рудь Є.С. Огляд наноструктур для розробки технологій харчової продукції з алкопротекторною дією: міжн. н-пр. конф. Хімія, Біо- і Нанотехнології, Екологія та Економіка в Харчовій та Косметичній Промисловості, 16-17 жовтня 2017 р. X. : НТУ «ХП». С. 121-123.
17. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник. – М.: ДеЛиПринт, 2002. 236 с.
18. 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. ДЕМІДОВ та ін. – К.: ЦНЛ, 2016. – 470 с.

19. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2, [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2018. – 108 с.

**References (transliterated)**

- Docenko S.M., Skripko O.V., Stacenko E.S. Kulinarne izdelij na osnovu rybnogo kombinirovanogo farsha // Izvestija VUZOV. Pishhevaja tehnologija [Journal "Food Technology"]. Publ. 2006. no. 1, pp. 63–66.
- Jarochkin A.P., Bojцова T.M. Tehnologija, processy, tehnicheckie sredstva polucheniya pishhevogo farsha iz melkih ryb i ego ispol'zovanie // Izvestija TINRO [Journal TINRO]. 2018. Vup. 193, pp. 237–253.
- Chernyshova O.V., Cibizova M.E. Tehnologija fermentirovanogo farsha iz karasja serebrjanogo // Vestnik AGTU. Ser.: Rybnoe hozjajstvo. 2015. no. 3, pp. 136–144.
- Mezenova O.Ja., Barotova M.A. Tehnologija funkconal'nyh ryborastitel'nyh strukturirovannyh izdelij na osnovu biomodificirovannoj myshechnoj tkani malomernogo leshha // Vestnik molodezhnoj nauki. 2016. Vup.2, no. 4, pp. 1–9.
- Jenkelunas P.J., Li-Chan E.C.Y. Production and assessment of Pacific hake (*Merluccius productus*) hydrolysates as cryoprotectants for frozen fish mince. Food Chemistry, 2018, Vol.239, – pp. 535–543. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.148
- Yilmaza S.T., Evren S.C., Yilmaza B.S., Kirlangic F., Lee C. Effect of fillet temperature on lipoxygenase activity in sardine mince with and without milk protein concentrate. LWT, 2018, Vol.90, – pp. 38–44. doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.006
- Solari-Godino A., Perez-Jimenez J., Saura-Calixto F., Borderias A.J., Moreno H.M. Anchovy mince (*Engraulis ringens*) enriched with polyphenol-rich grape pomace dietary fibre: In vitro polyphenols bioaccessibility, antioxidant and physico-chemical properties. Food Research International, 2017, Vol.102, – pp. 639–646. doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.044
- Ali H.A., Mansour E.H., ElBedawey A., Osheba A.S. Evaluation of tilapia fish burgers as affected by different replacement levels of mashed pumpkin or mashed potato. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2019, Vol.18, Iss.2, – pp. 127–132. doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.003
- Albertos I., Jaime I., Diez A.M., Gonzalez-Arnaiza L., Rico D. Carob seed peel as natural antioxidant in minced and refrigerated (4°C) Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*). LWT - Food Science and Technology, 2015, Vol.64, Iss. 2, – pp. 650–656. doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.037
- Spinelli S., Conte A., Del Nobile M.A. Microencapsulation of extracted bioactive compounds from brewer's spent grain to enrich fish-burgers. Food and Bioproducts Processing, 2016, Vol.100, – pp. 450–456. doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.005
- Sanchez-Alonso I., Jimenez-Escrig A., Saura-Calixto F., Borderias A.J. Effect of grape antioxidant dietary fibre on the prevention of lipid oxidation in minced fish: Evaluation by different methodologies. Food Chemistry, 2007, Vol.101, Iss.1, – pp. 372–378. doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.058
- Fu X., Lin Q., Xu S., Wan Zh. Effect of drying methods and antioxidants on the flavor and lipid oxidation of silver carp slices. LWT - Food Science and Technology, 2015, Vol.61, Iss.1, – pp. 251–257. doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.035
- Farvin K.H.S., Grejsen H.D., Jacobsen C. Potato peel extract as a natural antioxidant in chilled storage of minced horse mackerel (*Trachurus trachurus*): Effect on lipid and protein oxidation. Food Chemistry, 2012, Vol.131, Iss.3, – pp. 843–851. doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.056
- Martin Xavier K.A., Hauzoukim, Kannuchamy N., Balange A.K., Chouksey M.K., Gudipati V. Functionality of chitosan in batter formulations for coating of fish sticks: Effect on physicochemical quality. Carbohydrate Polymers, 2017, Vol.169, – pp. 433–440. doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.041
- Kondratyuk N.V. Vykorystannya geliv harchovyh plivkoutvo-ryuyuchyh na osnovi sumishi uronatnyh polisaharydiv u vyrobnyctvi obolonok ta rybnyh zakusok // Vcheni zapysky TNU im. V.I. Verandskogo. Seriya: texnichni nauky [Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University, series Technical Sciences]. 2018. vup. 29 (68), no. 1. pp. 48–52.
- Kondratyuk N.V. Dyshuk G.V., Rud Ye.S. Oglyad nanostruktur dlya rozrobky` tehnologij xarchovoyi produkciji z alkoprotektornoyu diyeyu: mizhn. n-pr. konf. Himiya, Bio- i Nanoteknologiyi, Ekologiya ta Ekonomika v Harchovij ta Kosmetychnij Promyslovosti, 16-17.10.2017. Kh.: NTU «KhPI», pp.121–123
- Skurihin I.M., Tutelijan V.A. Himicheskij sostav rossijskih pishhevyyh produktov: Spravochnik [The chemical composition of food]. Moscow, DeLiPrint, 2002. 236 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikadah i zadachah (innovacijni zahodi). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. / L.L. Tovazhnyanskij, S.I. Bukhhalo, Denisova A.E., I.M. Demidov ta in. – K.: CNL, 2016. – 470 p.
- Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti u prikadah i zadachah (prikadi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2, [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2018. – 108 p.

Надійшло (received) 14.07.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Кондратюк Наталія В'ячеславівна (Кондратюк Наталья Вячеславовна, Kondratjuk Nataliya Vyacheslavivna)** – кандидат технічних наук, доцент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри харчових технологій, м. Дніпро, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0919-8979>; e-mail: kondratjukn3105@gmail.com

**Степанова Тетяна Михайлівна (Степанова Татьяна Михайловна, Stepanova Tetiana Mykhailivna)** – кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, доцент кафедри технології харчування, м. Суми, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9392-3773>; e-mail: eshkina97@gmail.com

**Вієнко Олексій Юрійович (Виенко Алексей Юрьевич, Viyenko Olexsiy Yuriyovich)** – асистент кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0273-1291>; e-mail: alekseYROCKnrolla@gmail.com

**Шен Юнцзян (Шен Юнцзян, Shen Yunjian)** – Магістр 2 року навчання, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6821-1205>; e-mail: 1042236024@qq.com

**V. R. NIKULSHIN, A. E. DENYSOVA, S. I. MELNIK, S. I. BUKHALO**

### EXERGY ANALYSIS IN MODERN INVESTIGATIONS (REVIEW)

The advance of the exergy method is the universality associated with the usage of exergy allows for the estimation of stocks and flows of all types of energy included in the balance of any energy technology system using a common criterion of efficiency. For this reason exergy approach was used for systems investigation's in different areas such as: traditional energy industry, renewable energy, refrigeration industry, chemical technology, food production and even in medicine. Review of last publication in all these areas showed that the application of the exergy analysis is very efficient due to the fact that the exergy approach allows thermodynamically objectively estimate all types of energy sources, regardless of the specific type of processes occurring in individual elements of the system as well as in the system as a whole. Exergy method due to its universality can be also a base for a high quality innovations and implementations in practice fields of new design and technological solutions as well as provide of complex competency development connected with the application to the educational process in different Universities world wide.

**Keywords:** review; exergy analysis; optimization; energy and refrigeration sectors; chemical and food technologies.

**В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Е. ДЕНИСОВА, С. И. МЕЛЬНИК, С. И. БУХКАЛО**

### ЭКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ В СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ (ОГЛЯД)

Превага ексергетичного методу полягає в його універсальності, пов'язаної з тим, що застосування ексергії дозволяє оцінювати енергетичні потоки різних типів, які включаються в баланси енерготехнологічних систем, з використанням загального показника ефективності. Виходячи з цього, ексергетичний підхід застосовувався для системних досліджень в різних галузях, таких як: традиційна енергетика, відновлювальна енергетика, холодильна промисловість, хімічна технологія, харчова промисловість і навіть медицина. Огляд сучасних публікацій в цих всіх галузях показав, що застосування ексергетичного аналізу є досить ефективним в силу того, що ексергетичний підхід дозволяє термодинамічно об'єктивно оцінювати всі типи енергетичних ресурсів, незалежно від специфіки процесів, які протікають в окремих елементах, а також оцінювати систему в цілому. Ексергетичний метод в силу своєї універсальності може служити базою для високоякісних, інноваційних, практичних застосувань в областях нових технологічних і дизайнерських рішень, а також дає можливість комплексного розвитку компетенцій при впровадженні в навчальний процес різних університетів по всьому світу.

**Ключові слова:** огляд; ексергетичний аналіз; оптимізація; енергетика і холодильна промисловість; хімічна та харчова технології.

**В. Р. НИКУЛЬШИН, А. Е. ДЕНИСОВА, С. И. МЕЛЬНИК, С. И. БУХКАЛО**

### ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (ОБЗОР)

Преимущество эксергетического метода заключается в его универсальности, связанной с тем, что применение эксергии позволяет оценивать энергетические потоки разных типов, включаемые в балансы энерготехнологических систем, с использованием общего показателя эффективности. Исходя из этого, эксергетический подход применялся для системных исследований в различных областях, таких как: традиционная энергетика, возобновляемая энергетика, холодильная промышленная, химическая технология, пищевая промышленность и даже медицина. Обзор современных публикаций в этих всех областях показал, что применение эксергетического анализа является весьма эффективным в силу того, что эксергетический подход позволяет термодинамически объективно оценивать все типы энергетических ресурсов, независимо от специфики протекающих в отдельных элементах процессов, а также оценивать систему в целом. Эксергетический метод в силу своей универсальности может служить базой для высококачественных, инновационных, практических приложений в областях новых технологических и дизайнерских решений, а также дает возможность комплексного развития компетенций при внедрении в учебный процесс различных университетов по всему миру.

**Ключевые слова:** обзор; эксергетический анализ; оптимизация; энергетика и холодильная промышленность; химическая и пищевая технологии.

**Introduction.** For application of exergy method analysis now is an increased interest. Only in the leading journals in this area *Energy* and *Int. J. of Exergy* during the past 5 years, the number of publications exceeds 200. Only in 2017 in this area was published more papers than for 2014–2016 in total. In contrast to the methods of thermodynamic analysis used earlier, the exergy method takes into account not only the quantity but also the quality of energy flows, which puts this method in first place in its objectivity.

The advance of the exergy method is the universality associated with the fact that the use of exergy allows to estimate stocks and flows of all types of energy included in the balance of any energy technology system using a common criterion of efficiency.

Exergy as an indicator of practical energy efficiency can serve also for an approximate comparative estimation of average energy efficiency indicators, especially in those cases where purely economic criteria for evaluation are absent. This method is also characterized by the simplicity and visibility in calculation.

Exergy method due to its universality can be also a base for a high quality innovations and implementations in practice fields of new design and technological solutions as well as provide of complex competency development connected with the application to the educational process in different Universities world wide.

**Applications of exergy analysis.** The first Russian-language monographs with detailed description of exergy method are [1], [2]. Subsequently, this method was also described in [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Since that the exergy method of thermodynamic analysis was used in the following different areas (the recent publications are given below).

*In the energy sector for:* thermodynamic evaluation of air cooling systems [11], absorption heat pump analysis [12], Brighton supercritical carbon cycle research [13], thermodynamic analysis of Renkin's organic cycle [14], [15], gas turbine installation study [16], the thermodynamic analysis of the thermoelectric battery [17], the study of a three-generation system using

© Nikulshin V.R., Denysova A.E., Melnik S.I., Bukhalo S.I., 2019



pneumatic motors [18], [19], [20], [21], the development of new three-generation thermodynamic cycles with two-phase expander and compressors [22], the definition of exergy losses due to the improvement of steam boilers [23], [24], [25], the study of the operation of aviation turbines [26], the study of pneumatic energy accumulation systems [27], [28], the study of steam boilers with a boiling layer [29], analysis of impact at environment of gas turbine plants [30], the study of boiling fluid boilers [31], the analysis of the operation of thermal power plants [32], [33], [34], [35], the analysis of plate heat exchangers [36], the analysis of tubular heat exchangers [37], turbine engine research [38], pneumatic transport systems research [39], is investigation of processes in the work of turbomachines [40], [41], gas turbine optimization [42], research of processes in heat pipes [43], optimization of secondary energy resources use in industry [44], analysis of high-temperature combustion chambers [45], research of transport systems [46], improvement of thermal power plants [47], [48], [49], [50], optimization of regenerative cogeneration systems [51], [52], thermodynamic analysis of compressed air storage [53], optimization of heat exchanger systems [54], optimization of operating modes of power units of thermal power plants [55], investigation of a buildings heating [56].

*In renewable energy for:* analysis of renewable energy sources use in multigeneration systems [57], research of the solar absorption refrigeration system [58], analysis of processes in solar ponds [59], research on electricity generation for biofuels [60], research of solar gas turbine cycle combined with the transformation of fuels [61], the study of flat solar collectors [62], the thermodynamic analysis of a solar receiver [63], an investigation of the Renkin organic cycle with a solar energy source [64], investigation of the hybrid type systems [65], the study of the absorption refrigerators using solar energy [66], the study of gasification processes in the production of biofuels [67], the study of biomass production processes [68], [69], thermodynamic analysis of diesel fuel on biofuels [70], solar collector studies [71].

*In the refrigeration industry for:* thermodynamic analysis of ejector refrigeration cycles on neural networks [72], the development of cryoaccumulators [73], the design of cryoaccumulators, combined with liquefied gas regasifiers [74], evaluation of low-temperature processes [75], research of cooling processes [76], improvement of the processes of operation of ejector refrigeration systems [77], research of cooling

processes of hydrogenerators [78], analysis of cryogenic systems [79], analysis of irreversibility of processes in solar absorption refrigerators [80].

*In chemical technology for:* research on the hydrogen production system [81], the analysis of reactors for the production of methyl [82], the study of rotary furnaces for the production of ferronickel alloys [83], the study of anode gases in fuel accumulators [84], optimization of industrial ammonia production [85], comparison of various cycles of ammonia synthesis processes [86], calculation of generalized exergy functions of chemical processes [87], analysis of recycle gas processes [88], study of mass transfer processes [89], research of processes in boiling layer dryers with obtaining of soda [90], the study of filtration processes [91], the study of regeneration processes in the production of sulfuric acid [92], the improvement of the properties of structural materials [93], the analysis of liquid ammonia storage [94], the experimental study of gas-solids reactors [95], the analysis of carbon dioxide absorption processes [96], gas gauge studies [97], the analysis of the diffusion air pollutants from the chimney [98], the study of gasification processes of fuel [99].

*In food technology for:* improvement of cogeneration systems in sugar production [100], investigation of environmental impact of ethanol and sugar production [101], optimization of sugar plant [77], [94], thermodynamic analysis of milk pasteurization [102], optimization of food preparation processes [103], improvement of tea leaves drying process [104], [105], strawberry straw growth studies in greenhouses and open soil [106].

*And even in medicine for:* studying the comfort of Fanger with the use of exergic loss of man [107], research on the work of the heart on the exergy model [108]. From the last years Papers of authors in this area can be mentioned as follows. In [109–111] exergy analysis was applied to a typical technological scheme of a sugar production factory with a capacity of 3000 tons/day, and determined the corresponding exergy characteristics (tabl. 1).

In the initial preparing of product, the greatest loss of exergy (187 kW) falls on the process of obtaining affinity sugar with a minimum value of the degree of thermodynamic perfection 0,5. This is due to dissipative losses of centrifugation processes, mechanical separation and grinding, diffusion, in which energy is used on the equipment drives. In the processes of syrups heating the exergy losses caused to heat transfer irreversibility at sufficiently high temperature differences, and the dissipative losses of the product transportation process in the subsequent processing steps.

Table 1 – Exergy characteristics of sugar production

No	Groups of production processes	Exergy at the input, kW	Exergy at the output, kW	Exergy losses, kW	The degree of thermodynamic perfection
1	Initial preparing	1022	665	357	0,65
2	Syrups heating	1034	831	203	0,80
3	Evaporation of syrups	8236	4448	3788	0,54
4	Syrups collecting	309	284	25	0,92
5	Filtration of syrups	1122	1020	102	0,91
6	Processing of products	899	815	84	0,91
7	Sugar cleaning	1669	949	720	0,57
	Total	14291	9012	5279	0,63

The largest losses of exergy (93 kW) fall on the process of heating the syrup of affinity sugar at a low value of the degree of thermodynamic perfection 0,77.

For syrup evaporation the greatest exergy loss (kW 1451) occur in the process of primary refined (as well as a low value of 0,55 degree thermodynamic perfection), which results to a large heat flows and an irreversibly of heat transfer processes at high temperature differences.

In the processes of collecting syrups, loss of exergy caused by dissipation in transportation of the product from several locations with subsequent mixing and direct losses of a heat to the environment from the equipment due to imperfect thermal isolation. The largest losses of exergy (10 kW) fall on the process of collecting the syrup 2 product at a sufficiently high value of the degree of thermodynamic perfection 0,92.

During filtration, the greatest loss of exergy (30 kW) falls on the process of filtering the syrup before sulphation at a sufficiently high value of the degree of thermodynamic perfection 0,89. This is due to the dissipative processes during filtration and the low quality of filtration material. As follows from the consideration of the results for system of sugar production as a whole, the greatest exergetic losses are observed during the process of syrup evaporation (more than 70 % of the exergetic losses of the whole process of sugar production). These processes are also characterized by the lowest degree of thermodynamic perfection from all the processes under consideration (0,54), therefore, for these processes have been given the most attention.

In [112–116] was considered exergy application with a graphs method on a base of exergy flow graph for investigating of Power systems on example of gas turbine installation. The exergy flow graph of a system with arbitrary structure can be expressed as a graph,  $E=(A, \Gamma)=(A, U)$ , where  $A$  is nodes multitude corresponds to systems elements  $A=\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$ ,  $U$  is the arcs multitude corresponds to the exergy flows distribution in the system  $U=\{a_i, a_l\}; i \neq l; i = 1, 2, \dots, m; l = 1, 2, \dots, m$ , and  $\Gamma$  represents a multivalued display of multitude  $A$  into itself.

The generalization of characteristic and exergy flow graph gives the possibility to avoid multi-types of graph models in analysis of power intensive systems. Also it provides a common exergy-topological approach in the systems investigation.

For gas turbine installation exergy losses in the turbines and in the turbo compressor are the result of dissipation of expansion (pressure) processes in a real installation.

Degree of thermodynamic perfection of turbines and turbocompressors are sufficiently high. Usually, the bigger the difference between average parameters of the working fluid and the environment, the smaller the exergy losses.

The same situation is also true for heat exchangers. Higher temperature level in regenerative refrigerator (as compared with intermediate refrigerator) gives a higher degree of thermodynamic perfection of the heat exchanger.

Exergy losses in other elements of the system are caused by dissipation of the flow transport in the pipelines or by mechanical losses. For the system as a whole the degree of thermodynamic perfection is less than the same characteristics for any element of the system in result of the mutual influence of one elements to the others in the system.

### Conclusion.

1. The exergy method of thermodynamic analysis of systems is actively used not only in various industries (energy, refrigeration, renewable energy, construction industry, chemical, pharmaceutical and food technologies), but also in areas which are quite unusual for its application, for example, in medicine

2. The application of the exergy analysis is very efficient due to the fact that the exergy approach allows thermodynamically objectively estimate all types of energy sources, regardless of the specific type of processes occurring in individual elements of the system.

3. Exergy method due to its universality can be also a base for a high quality innovations and implementations in practice fields of new design and technological solutions as well as provide of complex competency development connected with the application to the educational process in different Universities world wide.

4. Thermodynamic analysis of sugar production systems was carried out based on the application of the First Law of Thermodynamics (energy characteristics) as well as on the joint application of the First and Second Law of Thermodynamics (exergy characteristics). Based on this analysis, three groups of energy-saving options were formed: using waste energy resources; changing energy parameters; based on structural changes in the system. It is shown that the identified energy-saving potentials can serve as a basis for the subsequent optimization of sugar production systems. However, the final decision on the application of these energy-saving options requires a thermo-economic approach, since the implementation of most of them requires significant capital investment.

5. The main exergetic characteristics of a typical sugar production scheme with a capacity of 3000 tons of sugar per day have been calculated, analysis of which showed that the main source of exergy losses (more than 70 %) in sugar production systems are the boiling processes, which also have a low degree of thermodynamic perfection (0,54). Losses of exergy in these processes as well as in others are caused by big heat fluxes and irreversibility of heat exchange processes at significant temperature drops, and as dissipative losses of centrifugation processes, mechanical separation, diffusion and transport of streams.

### References

1. Shargut Ja. Jeksergija [Exergy]. Shargut Ja., Petela R. M.: Jenergija, 1968. – 246 p.
2. Brodjanskij V.M. Jeksergeticheskij metod termodinamicheskogo analiza [Exergy method of thermodynamic analysis]. / Brodjanskij V.M. // Moscow: Jenergija, 1973. – 296 p.

3. Bejan A. Thermal design and optimization. / Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M. // New York: Wiley; 1996.
4. Cengel Y. A. Thermodynamics an Engineering Approach. / Cengel Y. A., Boles M. A. // Mc Graw – Hill, 1996.
5. Kjelstrup S. Elements of irreversible thermodynamics for engineers / Kjelstrup S., Bedeaux, D., Johannessen, E. // Tapir, Trondheim, 2006, – 418 p.
6. Michael J. Moran. Fundamentals of Engineering thermodynamics. / Michael J. Moran and Howard N. Shapiro // John Wiley & Sons Inc., New York, 2004, – 847 p.
7. Szargut J. Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes. / Szargut J., Morris D.R., Steward F.R // New York/Berlin: Hemisphere/Springer, 1988, – 424 p.
8. Tutns S. Thermodynamics Concepts and Applications. / Tutns S// Cambridge University, Press, New York, 2006, – 725 p.
9. Brodjanskij V.M. Jeksergeticheskiy metod i ego prilozhenija [Exergy method and its applications]. / Brodjanskij V.M., Fratsher V., Mihalek K. // Moscow: Jenergoatomizdat, 1988. – 286 p.  
Бродянский В.М. Эксергетический метод и его приложения. / Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К. // Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 286 с.
10. Kotas T. The Exergy Method Of Thermal Plant Analysis. / Kotas T // Krieger Publishing Company, 1995, – 386 p.
11. Hongbin Zhao. Thermodynamic Performance Study on the 600 MW Direct Air-Cooled Power Plant. / Hongbin Zhao, Lina Che, Chang Liu // Scientific Research, Vol.9, № 6, 2017.
12. Jonas Obermeier. Thermodynamic analysis of chemical heat pumps. / Jonas Obermeier, Karsten Müller, Wolfgang Arlt. // Energy, Vol. 88, 2015, – pp. 489– 496.
13. Han-Hui Zhu. Thermodynamic analysis and comparison for different direct-heated supercritical CO<sub>2</sub> Brayton cycles integrated into a solar thermal power tower system. / Han-Hui Zhu, Kun Wang, Ya-Ling He. // Energy, Vol. 140, Part 1, 2017, – pp. 144– 157.
14. Alireza Javanshir. Thermodynamic analysis of a simple Organic Rankine Cycle. / Alireza Javanshir, Nenad Sarunac. // Energy, Vol. 118, 2017, – pp. 85– 96.
15. Omendra Kumar Singh. Energy and exergy analysis and optimization of Kalinacycle coupled with a coal fired steam power plant. / Omendra Kumar Singh, S.C. Kaushik. // Applied Thermal Engineering, Vol.51, 2013, – pp. 787– 800.
16. W.A. Khan. Thermodynamic analysis of gas turbine with air bottoming cycle. / Energy, Vol. 107, 2016, – pp. 603– 611.
17. R. Pakrouh. Thermodynamic analysis of a packed bed latent heat thermal storage system simulated by an effective packed bed model. / R. Pakrouh, M.J. Hosseini, A.A. Ranjbar, R. Bahrapoury // Energy, Vol. 140, Part 1, 2017, – pp. 861– 878.
18. Jin-Long Liu. Thermodynamic analysis of a novel tri-generation system based on compressed air energy storage and pneumatic motor. / Jin-Long Liu, Jian-Hua Wang. // Energy, Vol. 91, 2015, –pp. 420– 429.
19. Luis E. Arteaga-Perez. Thermodynamic predictions of performance of a bagasse integrated gasification combined cycle under quasi-equilibrium conditions. / Luis E. Arteaga-Perez, Yannay Casas-Led n, Wolter Prins, Ljubisa Radovic // Chemical Engineering Journal, Vol.258, 2014, – pp. 402– 411.
20. Pouria Ahmadi. Exergy, exergoeconomic and environmental analyses and evolutionary algorithm based multi-objective optimization of combined cycle power plants. / Pouria Ahmadi, Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen. // Energy, Vol.36, 2011, – pp. 5886– 5898.
21. Yung C. Lien. Energy and Exergy Analyses of Biomass Cogeneration Systems. / Yung C. Lien. // A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master University of Ontario Institute of Technology, 2012, – 121 p.
22. Stefano Briola. Thermodynamic sensitivity analysis of a novel trigeneration thermodynamic cycle with two-phase expanders and two-phase compressors. / Stefano Briola, Paolo Di Marco, Roberto Gabbrielli // Energy, Vol. 127, 2017, –pp. 335– 350.
23. Behbahaninia. A loss method for exergy auditing of steam boilers. / Behbahaninia, S. Ramezani, M. Lotfi Hejrandoost // Energy, Vol. 140, Part 1, 2017, – pp. 253– 260.
24. V.A.F. Costa. On the exergy balance equation and the exergy destruction. / Energy, Vol. 116, Part 1, 2016, – pp. 824– 835.
25. R. Saidur, J.U. Ahamed, H.H. Masjuki. Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers. / R. Saidur, J.U. Ahamed, H.H. Masjuki. // Energy Policy, vol.38, 2010, – pp. 2188– 2197.
26. Ozgur Balli. Advanced exergy analyses of an aircraft turboprop engine. / Ozgur Balli // Energy, Vol. 24, 2017, – pp. 599– 612.
27. Lukasz Szablowski. Energy and exergy analysis of adiabatic compressed air energy storage system. / Lukasz Szablowski, Piotr Krawczyk, Krzysztof Badyda, Sotirios Karellas, Wojciech Bujalski. // Energy, Vol. 138, 2017, – pp. 12– 18.
28. Duo Zhang. Graphical exergy analysis for a scramjet thermodynamic performance evaluation. / Duo Zhang, Kunlin Cheng, Silong Zhang, Jiang Qin, Wen Bao. // Int. J. of Exergy, 2016 – Vol. 21, №.2 – pp. 136– 156.
29. Huseyin Topal. Exergy analysis of a circulating fluidized bed power plant co-firing with olive pits: A case study of power plant in Turkey. / Huseyin Topal, Tolga Taner, Syed Arslan Hassan Naqvi, Yelda Altinsoy, Mehmet Ozkaymak. // Energy, Vol.140, Part1, 2017, – pp. 40– 46.
30. Ivar S. Ertesvåg. Exergy calculations based on a fixed standard reference environment with the actual ambient conditions: gas turbine and fuel cell examples. / Ivar S. Ertesvåg. // Int. J. of Exergy, 2015, Vol. 16, №.2, – pp. 239– 261.
31. Emrah Özahi. A model for the thermodynamic analysis in a batch type fluidized bed dryer. / Emrah Özahi, Hacimurat Demir. // Energy, Vol. 59, 2013, – pp. 617– 624.
32. H. Mehmet Şahin. Chemical exergy analysis of Afşin-Elbistan lignite and its effects on the thermal power plant exergy efficiency. / H. Mehmet Şahin, Ahmet Ege. // Int. J. of Exergy 2013 – Vol. 13, №.4, – pp. 508– 522.
33. Isam H. Aljundi. Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. / Isam H. Aljundi. // Applied Thermal Engineering, Vol.29, 2009, – pp. 324– 328.
34. Douvartzides S. Exergy Analysis of a Solid Oxide Fuel Cell Power Plant Fed by either Ethanol Or Methane. / Douvartzides S., Coutelieres F., Tsiakaras P. // Journal of Power Sources, 2004, – pp. 131: 224 – 230.
35. D. Mitrovic. Energy and Exergy Analysis of a 348.5 MW Steam Power Plant. / D. Mitrovic, D. Zivkovic, M.Lakovic. // Taylor & Francis, – 247 p.
36. Rory A. Roberts. Implementation of a transient exergy analysis for a plate-fin heat exchanger. / Rory A. Roberts, John H. Doty // Int. J. of Exergy 2015 – Vol. 16, №.1, – pp. 109– 126.
37. Reza Tasouji Azar. Analysis of exergy and total life cycle cost for segmental and helical baffles in a shell-and-tube heat exchanger. / Reza Tasouji Azar, Shahram Khalilarya, Samad Jafarmadar, Faramarz Ranjbar. // Int. J. of Exergy, 2016 – Vol. 20, №.3, – pp. 269– 293.
38. Yasin Şöhret. Customised application of exergy analysis method to PW120A turboprop engine for performance evaluation. / Yasin Şöhret, M. Ziya Sogut, T. Hikmet Karakoc, Onder Turan // Int. J. of Exergy 2016. – Vol. 20, №.1, – pp. 48– 65.
39. Zhiwen Wang. Exergy analysis of the pneumatic line throwing system. / Zhiwen Wang, Wei Xiong, Haitao Wang, Zuwen Wang // Int. J. of Exergy 2016. – Vol. 19, №.3, – pp. 364– 379.
40. Amirmohammad Ghandehariun. Investigation of sustainability in machining processes: exergy analysis of turning operations. / Amirmohammad Ghandehariun, Yousef Nazzal, Hossam Kishawy, Nassir S.N. Al-Arifi // Int. J. of Exergy. 2015. Vol. 17, №.1, – pp.1 – 16.
41. Winit Bouapetch. Extension of energy-utilisation diagram to power availability for exergy loss analysis. / Winit Bouapetch, Pongsiri Tungwungwiwat, Thongchai Srinophakun. // Int. J. of Exergy 2013. – Vol. 12, №.3, – pp. 323– 343.
42. Yasin Ust, Bahri Sahin. Ecological coefficient of performance analysis and optimisation of gas turbines by using exergy analysis approach. / Yasin Ust, Bahri Sahin, Mehmet Cakir // Int. J. of Exergy 2016. – Vol. 21, №.1 – pp. 39– 69.
43. Farid Sepehrianazar. Entropy and exergy analysis of a Ranque-Hilsch vortex tube with two vortex chambers. / Farid Sepehrianazar, Shahram Khalilarya. // Int. J. of Exergy 2016. – Vol. 19, №.1, – pp. 55– 77.
44. Stéphane Gourmelon. A systematic approach: combining process optimisation exergy analysis and energy recovery for a better efficiency of industrial processes. / Stéphane Gourmelon, Raphaële Théry-Hétreux, Pascal Floquet. // Int. J. of Exergy 2017 – Vol. 23, N.4, PP. 298– 329.
45. Ahmet Topal. Exergy analysis of an air-blasted combustor: an application for atmospheric test rig condition. / Ahmet Topal, Onder Turan, Sitki Uslu, M. Ziya Sogut. // Int. J. of Exergy, 2016 – Vol. 20, N.1, PP. 1 – 21.

46. F.A. Talla Konchou. An application of energy and exergy analysis at the transportation sector of Cameroon. //F.A. Talla Konchou, C.V. Aloyem Kaze, R. Tchinda. / Int. J. of Exergy, 2015, – Vol. 18, №2, – pp. 129– 141.
47. Bolliger R. Advanced Power Plant Methodology using Process Integration and Multi-Objective Thermo-Economic Optimization./ Bolliger R., Maréchal F., Favrat D.// Proc. of ECOS 2005, Trondheim, Norway, Vol. 2, – pp. 777–784.
48. Borush O.V. Indicators of the CHPP operating mode in the exergetic analysis. / Borush O.V., Nozdrenko G.V., Zykov S.V., Chimed O., Shchinnikov P.A. // Science bulletin of NSTU, 2014, № 4 (57), – pp. 175–184.
49. S. Soltani. Advanced exergy analysis applied to an externally fired combined-cycle power plant integrated with a biomass gasification unit. / S. Soltani, M. Yari, S. Mahmoudi, T. Morosuk, M.A. Rosen. // Energy, Vol. 59, 2013, – pp. 775– 780.
50. Sairam Adibhatla. Energy and exergy analysis of a super critical thermal power plant at various load conditions under constant and pure sliding pressure operation. / Sairam Adibhatla, S.C. Kaushik. // Applied Thermal Engineering. Vol. 73, 2014, – pp. 49– 63.
51. Casarosa C. Thermodynamic optimization of the operative parameters for the heat recovery in combined power plants. / Casarosa C., Franco A. // Int. Journal of Applied Thermodynamics, 2001, Vol.4, №1, – pp. 43 – 52.
52. M. Dubey. Thermodynamic Analysis of Rice-Husk Fired Cogeneration Plant. / Dubey, H. Chandra, A. Arora. // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 5, Issue 1, 2016, – pp. 94– 101.
53. Hui Liu. Thermodynamic analysis of compressed air energy storage system through advanced exergetic analysis. / Hui Liu, Qing He, Bin Saeed // Journal of renewable and sustainable energy, 2016, №8, – pp. 126 – 132.
54. Lazzaretto A. Thermodynamic Optimization of the Hat Cycle Structure. Part II: Structure of the Heat Exchanger Network./ Lazzaretto A., Segato F // Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol. 123, 2001, – pp. 8 – 16.
55. M.Ameri. Exergy analysis of a 420 MW combined cycle power plant. / M.Ameri, P.Ahmedi, S.khanmohammadi // International journal of energy research 2008, №2, – pp.36 – 43.
56. Buyak N.A. Buildings energy use and human thermal comfort according to energy and exergy approach./ Buyak N.A., Deshko V.I., Sukhodub I.O. // Energy and building, 2017, Vol.146, – pp. 172– 181.
57. Yunus Emre Yuksel. Energy and exergy analysis of renewable energy sources-based integrated system for multi-generation application. /Yunus Emre Yuksel, Murat Ozturk. // Int. J. of Exergy 2017 – Vol. 22, №3, – pp. 250– 278.
58. Rabah Touaibi. Parametric study and exergy analysis of solar water-lithium bromide absorption cooling system./ Rabah Touaibi, Michel Feidt, Elena Eugenia Vasilescu, Miloud Tahar Abbes. // Int. J. of Exergy, 2013, – Vol. 13, №3, – pp. 409– 429.
59. K.R. Ranjan. Energy and exergy analyses of solar ponds in the Indian climatic conditions. /K.R. Ranjan, S.C. Kaushik, N.L. Panwar. // Int. J. of Exergy, 2014, – Vol. 15, №2, – pp. 121– 151.
60. Hassan Athari. Energy and exergy analyses of power generation via an integrated biomass post-firing combined-cycle. /Hassan Athari, Saeed Soltani, Seyed Mohammad Seyed Mahmoudi, Marc A. Rosen, Tatiana Morosuk. // Int. J. of Process Systems Engineering. 2015. – Vol. 3, № 1/2/3, – pp. 57– 69.
61. Mingjiang Ni. Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle combined with fuel reforming for solar thermal power generation./ Mingjiang Ni, Tianfeng Yang, Gang Xiao, Dong Ni, Kefa Cen. // Energy, Vol. 137, 2017, – pp. 20– 30.
62. Arsham Mortazavi. Conventional and advanced exergy analysis of solar flat plate air collectors./Arsham Mortazavi, Mehran Ameri // Energy, Vol. 142, 2018, – pp. 277– 288.
63. R. Loni. Thermodynamic analysis of a solar dish receiver using different nanofluids. / R. Loni, E. Askari Asli-ardeh, B. Ghobadian, A.B. Kasaiean, Sh. Gorjian. // Energy, Vol. 133, 2017, – pp. 749– 760.
64. Reyhaneh Loni. Exergy analysis of a solar organic Rankine cycle with square prismatic cavity receiver. /Reyhaneh Loni, Alibakhsh Kasaiean, Omid Mahian, Ahmet Z. Sahin, Somchai Wongwises. // Int. J. of Exergy 2017 – Vol. 22, №2, – pp. 103– 124.
65. Dianhong Li. Exergy and energy analysis of photovoltaic-thermoelectric hybrid systems./ Dianhong Li, Yimin Xuan, Qiang Li, Hui Hong. // Energy, Vol. 126, 2017, –pp. 343– 351.
66. H.Z. Hassan. Thermodynamic analysis and theoretical study of a continuous operation solar-powered adsorption refrigeration system. / H.Z. Hassan, A.A. Mohamad. // Energy, Vol. 61, 2013, – pp. 167– 178.
67. Sheng Wang. Thermodynamic analysis of biomass gasification for biomethane production. / Sheng Wang, Xiaotao Bi, Shudong Wang. // Energy, Vol. 90, Part 2, 2015, – pp. 1207– 1218.
68. Yaning Zhang. Two equations for estimating the exergy of woody biomass based on the exergy of ash./ Yaning Zhang, Wenke Zhao, Bingxi Li, Haochun Zhang, Cunfeng Ke. // Energy, Vol. 106, 2016, – pp. 400– 407.
69. Fang Liu. Exergy analysis of a new lignocellulosic biomass-based polygeneration system./ Fang Liu, Guanyi Chen, Beibei Yan, Wenchao Ma, Li'an Hou. // Energy, Vol. 140, Part 1, 2017, – pp. 1087– 1095.
70. Ertac Hurdogan. Thermodynamic analysis of diesel engine fueled with diesel and peanut biodiesel. // Environmental progress and sustainable energy, 2016, vol.35, – pp. 891 – 897.
71. J.C. Torchia-Nunez. Thermodynamics of a shallow solar still. / J.C. Torchia-Nunez, J.C Servantes-de-Gortari and M.A.Porta-Gandara. // Energy and Power Engineering, 2014, №.6, – pp.246 – 265.
72. M.M. Rashidi. Thermodynamic analysis of the ejector refrigeration cycle using the artificial neural network. / M.M. Rashidi, A. Aghagoli, R. Raoofi // Energy, Vol. 129, 2017, –pp. 201– 215.
73. Sarah Hamdy. Cryogenics-based energy storage: Evaluation of cold exergy recovery cycles./ Sarah Hamdy, Tatiana Morosuk, George Tsatsaronis. // Energy, Vol. 138, 2017, – pp. 1069– 1080.
74. Inkyu Lee. Conceptual design and exergy analysis of combined cryogenic energy storage and regasification processes: Cold and power integration./ Inkyu Lee, Jinwoo Park, Il Moon. // Energy, Vol. 140, Part 1, 2017, – pp. 106– 115.
75. Danahe Marmolejo-Correa. A new efficiency parameter for exergy analysis in low temperature processes./ Danahe Marmolejo-Correa, Truls Gundersen // Int. J. of Exergy, 2015, Vol. 17, №2, – pp.135 – 170.
76. Sabine Jansen. Understanding the exergy of cold: theory and practical examples./ Sabine Jansen, Nico Woudstra. // Int. J. of Exergy, 2016 – Vol. 7, №6, – pp. 693– 713.
77. Abid Ustaoglu. Enhanced exergy analysis of a waste heat powered ejector refrigeration system for different working fluids./ Abid Ustaoglu, Mustafa Alptekin, Mehmet Emin Akay, Reşat Selbaş // Int. J. of Exergy. 2017 – Vol. 24, № 2/3/4, – pp.301–324.
78. Abdollah Doost and Reza Majlessi. Heat transfer analysis in cooling systems of hydropower's generator. /Abdollah Doost, Reza Majlessi // Open journal of applied science, 2015, №5, – pp. 98– 107.
79. Dobrovicescu A. Exergetic analysis of a cryogenic refrigeration system. / Dobrovicescu A. // Proc. of the 18<sup>th</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Trondheim, Norway, 2005, – pp. 345–352.
80. E.B.Betouche. Thermodynamic analysis of irreversibility in solar absorption refrigerators. / E.B.Betouche, A.Fellah, A.B. Brachim, F.Aloui, M. Feidt // Entropy, 2016, №18(4), 107, – pp. 1 – 9. A.
81. Ángel Jiménez Álvaro. Thermodynamic analysis of a dual power-hydrogen production system based on chemical-looping combustion./Ángel Jiménez Álvaro, Álvaro Urdiales Montesino, Susana Sánchez Orgaz, Celina González Fernández // Energy, Vol. 137, 2017, – pp. 1075– 1085.
82. Ralf Peters. Identification and thermodynamic analysis of reaction pathways of methylal and OME-n formation. / Ralf Peters // Energy, Vol. 138, 2017, – pp. 1221– 1246.
83. W. Rong. Exergy assessment of a rotary kiln-electric furnace smelting of ferronickel alloy. / W. Rong, B. Li, P. Liu, F. Qi. // Energy, Vol. 138, 2017, – pp. 942– 953.
84. M. Fallah, Mahmoudi. Advanced exergy analysis for an anode gas recirculation solid oxide fuel cell./ M. Fallah, Mahmoudi, M. Yari. // Energy, 2017, Vol.129, – pp.131– 139.
85. Daniel Flórez-Orrego. Modeling and optimization of an industrial ammonia synthesis unit: An exergy approach. / Daniel Flórez-Orrego, Silvio de Oliveira Junior. // Energy, Vol. 137, 2017, – pp. 234– 250.
86. Mathias Penkuhn. Comparison of different ammonia synthesis loop configurations with the aid of advanced exergy analysis./ Mathias Penkuhn, George Tsatsaronis. // Energy, Vol. 137, 2017, – pp. 854– 864.
87. Enzo Zanchini. A more general exergy function and its application to the definition of exergy efficiency / Enzo Zanchini. // Energy, Vol. 87, 2015, – pp. 352– 360.

88. Wei Zhang. Exergy analyses of the oxygen blast furnace with top gas recycling process. / Wei Zhang, Juhua Zhang, Zhengliang Xue. // Energy, Vol. 121, 2017, – pp. 135–146.
89. Yelda Mert. Exergy analysis of mass housing areas: Mavişehir I and II, Izmir. / Yelda Mert, Nicel Saygın // Int. J. of Exergy 2015 - Vol. 17, №1, – pp. 17–34.
90. Mahdi Deymi-Dashtebayaz. Energy and exergy analysis of fluidised bed citric acid dryers. /Mahdi Deymi-Dashtebayaz, Ahmad Arabkoohsar, Farid Darabian. // Int. J. of Exergy 2017 – Vol. 22, №3 – pp. 218–234.
91. Karan R. Chavan. Exergy analysis of micellar-enhanced ultrafiltration. /Karan R. Chavan, Srivats Gopalan, Kumudini V. Marathe. // Int. J. of Exergy 2016 – Vol. 20, №2, – pp. 139–149.
92. Lubka Georgieva Atanasova. Exergy analysis of the process of regeneration of spent sulphuric acid by WSA technology. /Lubka Georgieva Atanasova// Int. J. of Exergy 2017 – Vol. 24, №1, – pp. 57–81.
93. Mohammad Rashedul Hoque. Exergy analysis of construction material manufacturing processes and assessment of their improvement potentials. /Mohammad Rashedul Hoque, Gara Villalba Méndez, Xavier Gabarrell Durany, Cristina Sendra Sala. // Int. J. of Exergy 2015 – Vol. 16, №1 – pp. 22–52.
94. Ahmet Ozan Gezerman. Exergy analysis and purging of an ammonia storage system. /Ahmet Ozan Gezerman//Int. J. of Exergy 2015. – Vol. 17, №3, – pp. 335 – 351.
95. F. Marias. Thermodynamic analysis and experimental study of solid/gas reactor operating in open mode. / F. Marias, P. Neveu, G. Tanguy, P.Pappillon // Energy, 2014, №162(3), – pp. 757–765.
96. Lazzaretto A. Thermodynamic and Pinch Analyses for Improving Efficiency and Structure of a CRCC Plant with Natural gas Reforming and CO<sub>2</sub> Absorption. / Lazzaretto A., Daniele D. // Proc. of ASME Turboexpo 2004, Vienna, Austria, 2004, – pp. 286–293.
97. Pellegrini L.F. Exergy Analysis of Sugarcane Bagasse Gasification. / Pellegrini L.F., Oliveira Jr, S. // Proc. of ECOS 2005, Trondheim, Norway, 2005. Vol. 1, – pp. 393–400.
98. Said N.M. Experimental and Numerical Analysis of Pollutant Dispersion from a Chimney. / Said N.M., Mhiri H., Palec g.L, Bournot P. // Atmospheric Environment, Vol.39, 2005, – pp.1727–1738.
99. L.E. Artega-Perez. Thermodynamic predictions of performance of a bagasse integrated gasification combined cycle under quasi-equilibrium condition. / L.E. Artega-Perez, Y. Casas-Ledon, W. Prins, I. Radovic // Chem. Eng. J. Vol. 258, 2014, – pp. 402–411.
100. Alejandro Zaleta-Aguilar.  $\beta$ -characterization by irreversibility analysis: A thermoeconomic diagnosis method. / Alejandro Zaleta-Aguilar, Abraham Olivares-Arriaga, Sergio Cano-Andrade, David A. Rodriguez-Alejandro // Energy, Vol. 111, 2016, – pp. 850 – 858.
101. Antonio Valero. Thermoeconomic tools for the analysis of eco-industrial parks. / Antonio Valero, Sergio Usón, César Torres, Alicia Valero, Jorge Costa // Energy, Vol. 62, 2013, – pp. 62–72.
102. Nurdan Yildirim. Thermodynamic analysis of a milk pasteurization process assisted by geothermal energy. / Nurdan Yildirim, Seda Genc. // Energy, Vol. 90, Part 1, 2015, – pp. 987–996.
103. Changxin Liu. Exergy analysis and optimization of cooking process. / Changxin Liu, Zhihui Xie, Fengrui Sun, Lingen Chen. // Energy, Vol. 139, 2017, – pp. 694–705.
104. Abhijit Sinha. Exergy analysis of coal fired tea drying furnace. / Abhijit Sinha, Rajat Gupta, Krishna Murari Pandey, Sanjoy Kumar Dey // Int. J. of Exergy 2015. – Vol. 17, №1, – pp. 54 – 73.
105. Betül Ayhan Sarac. Exergy analysis in the withering process for Turkish black tea production. / Betül Ayhan Sarac // Int. J. of Exergy. 2015. – Vol. 18, №3, – pp. 323–339.
106. Hasan Yildizhan. Energy, exergy utilization and CO<sub>2</sub> emission of strawberry production in greenhouse and open field. / Hasan Yildizhan. // Energy, Vol. 143, 2018, – pp. 417–423.
107. Matjaž Prek. Comparison between Fanger's thermal comfort model and human exergy loss. / Matjaž Prek, Vincenc Butala. // Energy, Vol. 138, 2017, – pp. 228–237.
108. Izabela Batista Henriques. Exergy model of the human heart. / Izabela Batista Henriques, Carlos Eduardo Keutenedjian Mady, Silvio de Oliveira Junior. // Energy, Vol. 117, Part 2, 2016, – pp. 612–619.
109. Mel'nik, S.I. Termodinamicheskiy analiz sistem proizvodstva sahara. [Thermodynamic analysis of sugar production systems] / Mel'nik S.I., Nikul'shin V.R., Denisova A.E., Belousov A.V. // Visnik NTU (KhPI). 2018, № 18 (1294), – pp. 57–64.
110. Nikul'shin V.R. Jeksergeticheskie pokazateli sistem proizvodstva sahara [Exergy indicators of sugar production systems] / Nikul'shin V.R., Denisova A.E., Mel'nik S.I., Belousov A.V. // Advances of science: International scientific conference. Czech republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 28 September, 2018. – pp. 516-525.
111. Sergey Melnik. Energy Saving Options in Sugar Production. /Sergey Melnik, Vladimir Nikulshin, Alla Denysova // Biomed Journal of Science & Technical Research. 2018. № 5(3), – pp. 1–2.
112. Nikulshin, V. Thermodynamic analysis of energy intensive system on exergy flow graph. // Proc. of International Scientific and Professional conference «Science without boundaries- development in 21-st century-2017», Budapest, Hungary, 27 August, 2017. – pp. 60-64.
113. Nikulshin, V. Advanced thermodynamic analysis on exergy flow graphs / Nikulshin Vladimir, Denysova Alla, Denysova Anastasiia // Вісник НТУ «ХПІ». 2017, № 41(1263), – pp.10–16.
114. Nikulshin, V. Thermodynamic analysis of energy intensive system on exergy flow graph. / V.Nikulshin. // Natural and technical Science. – 2017. – V(15), Issue 140. – pp. 60-64.
115. Vladimir Nikulshin. Nowoczesna analiza termodynamiczna na grafach przeplywu egzergetycznego. / Vladimir Nikulshin, Alla Denisowa, Sergiy Melnik. // Pratzy XVI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Państw i Regionów Przygranicznych. Forum Energetyków “GRE 2018”, Szczyrk (Polska) – 2018. №2, – pp. 84-85.
116. Vladimird Nikulshin. Nowoczesna analiza termodynamiczna na grafach przeplywu egzergetycznego / Vladimird Nikulshin, Alla Denysova, Segiy Melnik // Nowa Energia, 2018, № 2(62), – pp.84–85.

Received 17.04.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Vladimir Nikulshin (Нікульшин Володимир Русланович, Нікульшин Владимир Русланович)** – Doctor of Technical Sciences, Professor and Head of Theoretical, general annoconventional power engineering department, Odessa national Polytechnic University, Shevchenka ave., 1, Odessa, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5946-8562> e-mail: vnikul@paco.net

**Alla Denysova (Денисова Алла Євсївна, Денисова Алла Евсеевна)** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Ukrainian Poland Institute, Odessa national Polytechnic University, Shevchenka ave., 1, Odessa, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3906-3960> e-mail: alladenysova@gmail.com

**Sergey Melnik (Мельник Сергій Ігоревич, Мельник Сергей Игоревич)** – Senior Lecturer of Theoretical, general and non-conventional power engineering department, Odessa national Polytechnic University Shevchenka ave., 1, Odessa, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4784-9736> e-mail: [mardaud@i.ua](mailto:mardaud@i.ua)

**Bukhhalo Svetlana Ivanovna (Буххало Світлана Іванівна, Буххало Светлана Ивановна)** – Phd, candidate of technical sciences, Professor, Department of Integrated technologies, processes and apparatus National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Professor, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

**О. П. ЧУМАК, Т. О. БЕРЕЗКА, С. М. МОЛЬЧЕНКО**

### ЩОДО ОТРИМАННЯ ЛЕЦИТИНУ З ФОСФАТИДІВ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ

У статті розглянуті багатостадійні технології отримання харчового лецитину з використанням високих температур. В результаті роботи отримано харчовий лецитин з фосфатидного концентрату соняшникової олії з використанням ацетону і етилового спирту. Було досліджено вплив гідропероксиду водню на фосфатидний концентрат і на властивості отриманого лецитину. Встановлено, що отриманий з фосфатидного концентрату лецитин за своїми фізико-хімічними властивостями відповідає вимогам СОУ 15.4-37-12: 2004. Визначено ІК-спектр лецитину, що підтверджує присутність функціональних фрагментів, які характерні для харчового лецитину. У подальшому отримані експериментальні дані будуть використані для розробки технології отримання харчового лецитину. Передбачається, що дані дослідження дозволять впровадити нову технологію в хімічну промисловість народного господарства.

**Ключові слова:** фосфатидний концентрат; харчовий лецитин; ізотерми поверхневого натягу; інфрачервоний спектр.

**О. П. ЧУМАК, Т. А. БЕРЕЗКА, С. Н. МОЛЬЧЕНКО**

### О ПОЛУЧЕНИИ ЛЕЦИТИНА ИЗ ФОСФАТИДОВ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

В статье рассмотрены многостадийные технологии получения пищевого лецитина с использованием высоких температур. В результате работы получен пищевой лецитин из фосфатидного концентрата подсолнечного масла с использованием ацетона и этилового спирта. Было исследовано влияние гидропероксида водорода на фосфатидный концентрат и на свойства полученного лецитина. Установлено, что полученный из фосфатидного концентрата лецитин по своим физико-химическим свойствам отвечает требованиям СОУ 15.4-37-12:2004. Определен ИК-спектр лецитина, подтверждающий присутствие функциональных фрагментов, которые характерны для пищевого лецитина. В дальнейшем полученные экспериментальные данные будут использованы для разработки технологии получения пищевого лецитина. Предполагается, что данные исследования позволят внедрить новую технологию в химическую промышленность народного хозяйства.

**Ключевые слова:** фосфатидный концентрат; пищевой лецитин; изотермы поверхностного натяжения; инфракрасный спектр.

**O. P. CHUMAK, T. O. BEREZKA, S. M. MOLCHENKO**

### ON THE PRODUCTION OF LECITHIN FROM SUNFLOWER OIL PHOSPHATE

The article discusses the multistage technologies of obtaining food lecithin using high temperatures. As a result of the work, food lecithin from phosphatide concentrate of sunflower oil using acetone and ethyl alcohol was obtained. The effect of hydrogen hydroperoxide on the phosphatide concentrate and on the properties of the resulting lecithin was investigated. It was established that the lecithin obtained from the phosphatide concentrate in terms of its physicochemical properties meets the requirements of the SDA 15.4-37-12: 2004. The infrared spectrum of lecithin, confirming the presence of functional fragments that are characteristic of food lecithin, was determined. Studies of solutions of lecithin have shown that the resulting product exhibits surface activity forming associates with a critical concentration of micelle formation  $\approx 2\%$ , reducing the surface tension, including in the presence of surface-active substances. In the future, the experimental data obtained will be used to develop a technology for the production of food lecithin. It is assumed that these studies will introduce a new technology in the chemical industry of the national economy.

**Keywords:** : phosphatide concentrate; food grade face; surface tension isotherms; infrared spectrum.

**Актуальність.** В Україні існує потужне сировинне джерело отримання лецитину - фосфатидні концентрати соняшникової олії, виробництво яких на даний час перебільшує 4000 тонн, з яких виробляється більше 1600 т харчового продукту, одним з основних компонентів якого є лецитин. Цей компонент за рахунок дифільної структури, проявляючи поверхнево-активні властивості, застосовується не тільки у харчовій промисловості при виробництві майонезів, маргаринів, соусів, але й у фармацевтичній та косметичній промисловості для одержання ліків, кремів та інших продуктів. При використанні в цих виробництвах лецитин повинен бути високої якості, як за функціональними технологічними властивостями, так і товарним виглядом. Разом з тим фосфатидні концентрати включають значну кількість рослинної олії, концентрація якої може досягати 50 % і більше, жирні кислоти, різні супутні речовини [1], і тому за зовнішнім виглядом – це густі смолоподібні продукти темно коричневого або чорного кольору, що значно звужує сфери як їх застосування, так і одержаних з них лецитинів. В зв'язку з цим підвищення якості лецитину фосфатидних концентратів соняшникової олії є актуальним завданням.

#### Аналіз літературних даних і постановка проблеми.

Відомі технології одержання харчового лецитину з фосфатидного концентрату (ФК) включають в себе стадію знежирення його ацетоном чи екстрагування етанолом, ізопропіловим спиртом або гексаном.

Відомо [2] отримання лецитину (фосфатидилхоліну) з жовтків курячих яєць. Для цього їх гомогенізують в ацетоні при температурі мінус 20–25 °С впродовж 3 хв. Шари розділяють. Процес повторюють 6 разів. Потім яєчний жовток екстрагують етанолом при 24–28 °С в атмосфері інертного газу впродовж 1,5 год. Отриманий після фільтрації прозорий розчин осаджують хлоридом кадмію. Операцію осадження етанолом з хлоридом кадмію повторюють ще 5 разів. Одержаний осад розчиняють в хлороформі, обробляють 30 % розчином етанолу і одержують кінцевий продукт. Також відомо [3] отримання лецитину шляхом екстракції жовтків курячих яєць ацетоном. При цьому жовтки багаторазово обробляють ацетоном, охолодженим до температури мінус 18–20°С.

© Чумак О.П., Березка Т.О., Мольченко С.М., 2019

Потім повторно екстрагують чотири рази 96 % етанолом при інтенсивному перемішуванні впродовж 1 год., фільтрують під вакуумом, упарюють до мазеподібного залишку, до якого при перемішуванні додають 3-кратний об'єм ацетону, нагрівають і витримують при температурі 25–28°C впродовж 60 хв. Після чого в ротаційному апараті під вакуумом видаляють ацетон, додають нагрітий до 40 °C 96 % етанол, фільтрують і повністю видаляють етанол під вакуумом. Відомо [4] отримання лецитину, холестерину, кефаліну, а також цінної білкової кормової добавки для тварин – біошроту, з відходів м'ясопереробної промисловості, зокрема замороженої тканини головного мозку сільськогосподарських тварин. Технологія включає попередню обробку сировини шляхом розмороження, подрібнення і гомогенізації в етиловому спирті. Після фільтрації отриману біомасу екстрагують етиловим спиртом при температурі 15–75 °C в одну або кілька ступенів при співвідношенні біомаса: екстрагент рівним 1:2–1:100 впродовж 25–120 хвилин на кожному ступені. В результаті отримують біошрот головного мозку і ліпіди. Ліпіди перерозчиняють в будь-якому менш полярному, ніж ацетон, органічному розчиннику при співвідношенні 1:1–1:10. Потім до розчину додають 2–10 кратну кількість ацетону. Утворений осад фосфоліпідів збирають на фільтрі, які обробляють в одну або кілька ступенів етиловим спиртом при температурі 15–75 °C і співвідношенні 1:1–1:50. Кефалінову фракцію збирають на фільтрі. Фільтрат охолоджують до температури 5–10 °C і повторно фільтрують. Відганяють з фільтрату етанол і отримують лецитин. Фракцію нейтральних ліпідів перерозчиняють в етанолі при співвідношенні 1:1–1:50, витримують 30–60 хвилин і отримують суспензію холестерину в етанолі, холестерин збирають на фільтрі і висушують. Відомо [5] отримання лецитину, що рекомендується як емульгатор жирової емульсії для внутрішньовенного введення, для чого до 500 г фосфатного концентрату додають 1 л ацетону і перемішують на механічній мішалці впродовж 5 хв. Потім розчин декантують, а до осаду додають ще 1 л ацетону і знову перемішують впродовж 10 хв. Процедуру повторюють ще два рази. Осад фосфатидів відфільтровують на ліній Бюхнера через паперовий фільтр, промивають 0,5 л ацетону і сушать в вакуум-ексикаторі над хлористим кальцієм до повного зникнення запаху ацетону. В результаті отримують 300 г незжирених фосфатидів. До фосфатидів доливають 900 мл етанолу, підігрітого до 60 °C. Суміш витримують впродовж 5 хв на водяній бані при перемішуванні і температурі 60 °C. Гарячий розчин відокремлюють декантацією, до залишку доливають 900 мл етанолу, підігрітого до 60 °C, і екстракцію повторюють ще один раз. Обидві порції екстракту об'єднують і залишають в холодильнику на 10–12 год. Осад, що випав, відокремлюють фільтрацією через паперовий фільтр. Отримують 1700 мл екстракту з концентрацією лецитину 4 % об., який випарюють на роторному випарнику при 40 °C до обсягу 680 мл для отримання 10 % розчину лецитину. Цей розчин пропускають через шар окису алюмінію масою 48 г, який відмитий етанолом від дрібнодисперсного фракції для відділення пірогенних домішок. Отримують 650 мл розчину з концентрацією лецитину 7,5 % об. В цей розчин засипають  $\approx$  97 г

активованого вугілля марки А і енергійно струшують впродовж 15 хв. Суміш фільтрують через паперовий фільтр, а потім через фільтр "Мілліпор". В результаті отримують 600 мл розчину з концентрацією лецитину 6 %. Отриманий лецитин вміщує незначну кількість вільних жирних кислот і характеризується низьким показником кольоровості, що в значній мірі визначає якість емульгатору [12]. Відомо [1] використання ізопропілового спирту замість етанолу при масовому відношенні ФК : спирт на першій стадії 1:2, а потім для зменшення втрат лецитину – 1:1. Оброблення проводять при температурі 50–80 °C та інтенсивному перемішуванні. Також відомо [6] виділення фосфоліпідів із фосфатидного концентрату, який полягає в тому, що фосфатидний концентрат розчиняють у гексані при співвідношенні мас 1:1. Одержаний розчин при інтенсивному перемішуванні обробляють водою у співвідношенні фосфатидний концентрат : вода 1–1,5:1 для відділення фосфоліпідів від жирів та інших супутніх речовин. В цих умовах фосфоліпіди гідратуються, втрачають розчинність в гексані і переходять після відстоювання в дрібнодисперсний осад у вигляді емульсії, який відокремлюють від гексанового шару. Ущільнення та зневоднення осаду проводять шляхом нагрівання до температури 60–80 °C впродовж 20–30 хвилин. Відомо [7] одержання порошкоподібного лецитину із рослинних фосфатидів шляхом їх обробки нагрітим ацетоном, гідратацією нерозчинного осаду та висушування. Осад фосфоліпідів після фільтрації обробляють водою при співвідношенні рідкої та твердої фази 3,5:1 або 5:1 при температурі 15–25 °C з подальшим висушуванням суспензії при температурі 90–100 °C. Вихід цільового продукту у вигляді порошку 55–65 %.

Недоліками відомих технологій є застосування багатьох стадій, використання високих температур, труднощі при зневодненні осаду, інактивування лецитину при термічній обробці, недостатньо якісний за кольором товарний вигляд.

**Мета і задача дослідження.** Мета роботи полягає в отриманні харчового лецитину з фосфатидного концентрату соняшникової олії шляхом виділення з використанням ацетону і етанолу та дослідження впливу гідропероксиду водно на фізико-хімічні характеристики кінцевого продукту.

**Використані матеріали, обладнання і методи аналізів.** Під час дослідження використано фосфатидний концентрат з фізико-хімічними характеристиками, які приведено в табл. 1, ацетон згідно ГОСТ 2768-84, етиловий спирт згідно ДСТУ 4221:2003, пентадецилсульфонат натрію ( $C_{15}H_{31}SO_3Na$  – ПДСН, VEB-LEU Na) з вмістом основної речовини 98 %.

Кислотне число визначено згідно ДСТУ 4350:2004, пероксидне число згідно ДСТУ ISO 3960:2001, вологі згідно ДСТУ ISO 662:2004, запах та прозорість згідно ДСТУ 4463:200, колірність згідно з ДСТУ 4568:2006, фосфоровмісних речовин згідно ДСТУ 7082:2009, густину згідно ГОСТ 3900-85.

Жирнокислотний склад згідно ДСТУ ISO 5508-2001 з використанням хроматографу SHIMADZU при

умовах: температура термостата колонок – 180–190 °С; температура випарника – 250 °С; температура печі детекторів – 200 °С; швидкість потоку газу-носія (азот, аргон, гелій) – 30–40 см<sup>3</sup>/хв; об'єм зразку – близько 1 мм<sup>3</sup> розчину метилових ефірів кислот в гексані, час виходу метилолеату не більше 15 хв., оптичну густину з використанням фотоколориметру

КФК-2, коефіцієнт заломлення (рефракції) згідно ГОСТ 5482-90, ІЧ-спектри з використанням спектрометру IR Prestige з програмою Lab Solutions IR виробництва SHIMADZU, поверхневий натяг сталагмометричним методом.

Таблиця 1 – Характеристики фосфатидного концентрату

Назва показника	Характеристика
Фізичні характеристики:	
Зовнішній вигляд	Непрозора масляниста рідина
Колір	Коричневий
Запах і смак	Слабко виражені, властиві фосфатидам без стороннього запаху
Консистенція	Текуча
Масова частка води і летких речовин, %	0,6
Масова частка фосфатидів, %	60,1
Масова частка олії, %	38,8
Хімічні показники:	
Кольорове число, мг йоду	8,0
Кислотне число, мг КОН / г	27,5
Перекисне число, ½ O <sub>2</sub> ммоль / кг	2,3
Масова частка речовин, не розчинних в етиловому ефірі, %	0,9

Методика одержання лецитину включає дві основні стадії: освітлення фосфатидного концентрату і виділення лецитину. Для освітлення до заданої маси ФК додають задану кількість гідропероксиду водню, суміш перемішують впродовж заданого часу при вибраній температурі та оцінюють зміни кольору. Таким чином знаходять умови одержання зразків з найменшою колірністю жовто-помаранчевого забарвлення. Для отримання лецитину до одержаного зразку додають ацетон, суміш перемішують заданий час при певній температурі та залишають до випадіння осаду яскравого жовто-лимонного кольору. Після відстоювання верхній шар ацетону

зливають, а залишок заливають свіжою порцією ацетону і обробляють як вказано вище, отримуючи осад темно-жовтого кольору. Операцію повторюють ще раз і одержують осад блідо-жовтого забарвлення. На наступній стадії до осаду для вилучення залишків ацетону додають етанол перемішують впродовж 15 хвилин, розчин фільтрують, осад висушують і одержують лецитин.

#### Результати дослідження

Після оброблення ФК згідно методики експерименту і знайдення оптимальних умов одержано лецитин з фізико-хімічними характеристиками, які приведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Фізико-хімічні показники одержаного лецитину з соняшникового фосфатидного концентрату

Жирна кислота	Масова частка жирної кислоти, % до суми жирних кислот	
	олія	лецитин/ [8]
Насичені:	11,83	31,40/24,5
міристинова С14:0	0,12	0,45/0,1
пальмітинова С16:0	7,00	22,74/19,6
стеаринова С18:0	3,54	4,34/3,6
арахінова С20:0	0,29	1,74/0,3
бегенова С22:0	0,75	1,42/1,1
лігноцеринова С24:0	0,13	0,71/0,4
Мононенасичені:	27,58	16,03
пальмітоолеїнова С16:1	0,12	0,21/0,1
олеїнова С18:1(ω 9)	27,30	14,72/14,6
ейкозаєнова С20:1	0,16	1,10/0,2
Поліненасичені:	60,59	52,57
лінолева С18:2 (ω 6)	60,38	52,32/14,6
ліноленова С18:3 (ω 3)	0,21	0,25/0,2
Сума ненасичених	88,17	75,5/68,6



В ІЧ-спектрі виділеного лецитину спостерігаються смуги поглинання наступних функціональних груп, см<sup>-1</sup>: 1233 – валентні коливання зв'язку P=O, 1464 – деформаційні коливання зв'язку C-H в CH<sub>2</sub>; 1616 – деформаційні

коливання зв'язків в групі N+H<sub>3</sub>, 1737 – валентні коливання зв'язку C=O, 2852, 2921, 3010 – симетричні і асиметричні коливання зв'язку C-H в CH<sub>2</sub>, 3323 – валентні коливання зв'язку N-H (рис. 1). Ці результати співпадають з даними [8].

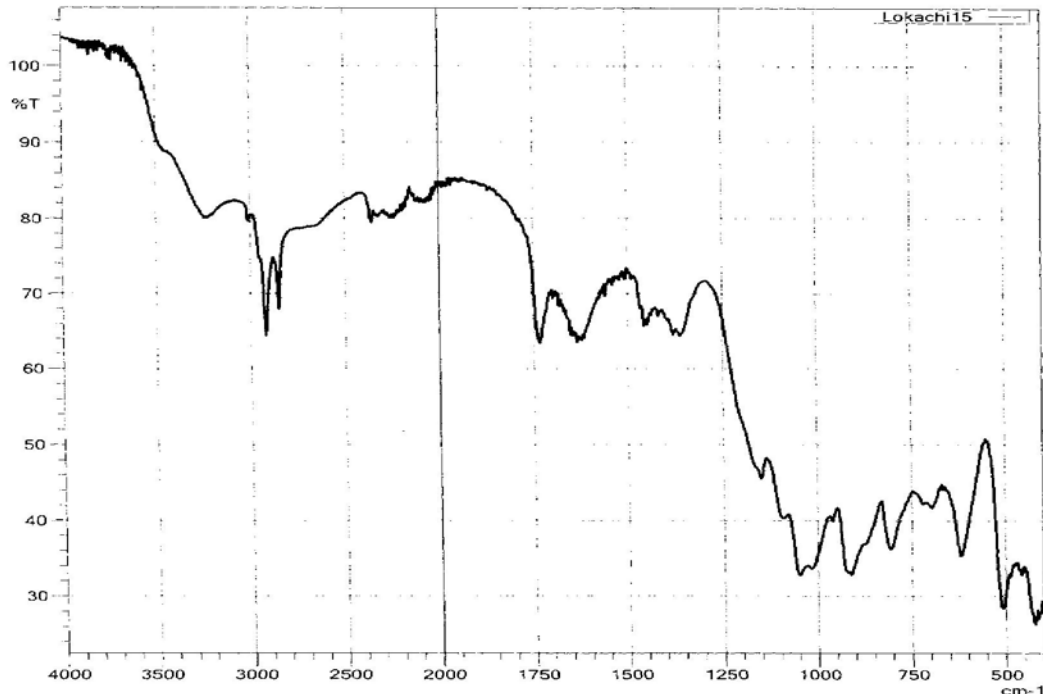


Рис. 1. ІЧ-спектр виділеного лецитину

### Співставлення і обговорення

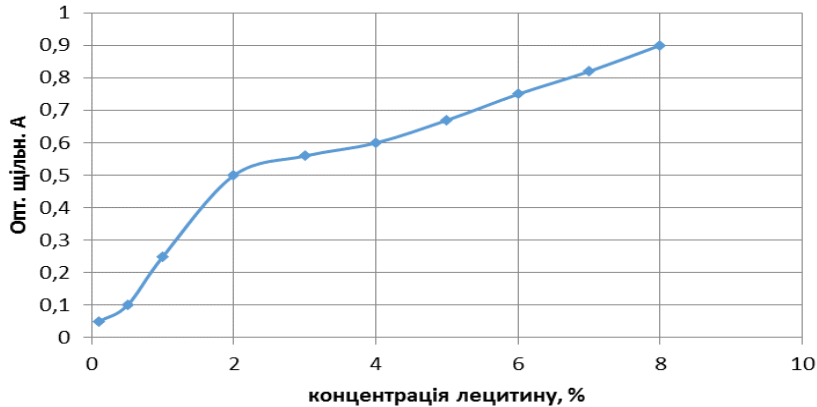
Співставлення визначених показників одержаного лецитину (табл. 1) свідчить про те, що волиги і речовин, які не розчинні в діетиловому ефірі, в ньому менше, ніж у вимогах до такого продукту. При цьому кислотне число і перекисне число також менші у  $\approx 3$  рази і 6,5 раз, відповідно, що вказує на значно меншу кількість продуктів окиснення в одержаному лецитині і більш високу його якість. Разом взяті ці фізико-хімічні показники з врахуванням того, що і колірне число всього 14, свідчать про можливість одержання лецитину більшої якості, порівняно з відомими технологіями.

Аналіз складу жирних кислот (табл. 2), які виділені з одержаного лецитину, і співставлення його з складом жирних кислот соняшникової олії вказує на те, що лецитин більше збагачений фрагментами насичених жирних кислот, зокрема пальмітинової кислоти, і характеризується меншим вмістом моно- і поліненасичених кислот, що співпадає з відомими даними [9] і підтверджується меншим колірним числом. За рахунок того, що до лецитину

соняшникової олії крім фосфатидил-етаноламінів, -інозитолів, -гліцеринів, фосфатидних і поліфосфатидних кислот, найбільше входить фосфатидилхолінів [10], які зумовлюють найбільш широкий спектр фізіологічної дії, проявляючи виражені гіпохолестеринмічні, гіполіподемичні і гепатопротекторні властивості. Оскільки лецитин є сумішшю діфільних молекул, то вони повинні утворювати агрегати при розчиненні у розчинниках та змінювати поверхневий натяг.

Розчинність лецитину у воді дуже мала, тому досліджено деякі властивості його етанольних розчинів.

Дослідженням змін оптичної густини (рис. 2) від концентрації лецитину встановлено злом на цій залежності, що підтверджує утворення асоціатів, а концентрація на зломі відповідає критичній концентрації міцелоутворення згідно [11], величина якої узгоджується з відомими даними і знаходиться на рівні  $\approx 2\%$  [12].

Рис. 2 – Залежність оптичної густини розчинів лецитину в етанолі від концентрації лецитину ( $\lambda = 283$  нм),  $T = 303,15$  К

Для збільшення розчинності і поверхневої активності відомо [12] використання лецитину разом з поверхнево-активними речовинами (ПАВ). Дослідження впливу домішок ПДСН до розчинів лецитину вказує на зменшення поверхневого натягу на 14–17 мН/м, тобто підтверджує те, що розчини

одержаного лецитину проявляють поверхневу активність, яка збільшується у присутності ПАВ. А це свідчить про те, що такий лецитин може бути використаний для одержання різних емульсійних продуктів харчового, лікувального і технічного призначення.

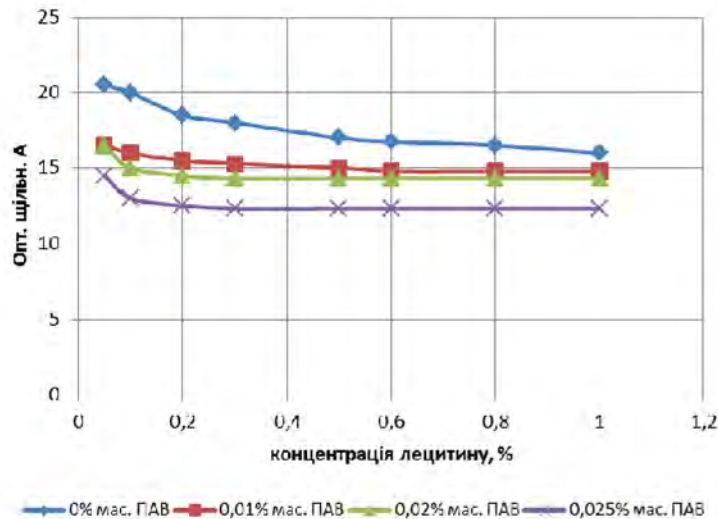


Рис. 3 – Ізотерми поверхневого натягу в залежності від концентрації лецитину і концентрації ПАВ

Можна відмітити те, що за рахунок високого вмісту ацилів олеїнової і лінолевої кислот, які характеризують фізіологічну цінність лецитину, зокрема зумовлюється зниження ризику серцево-судинних захворювань, а присутність у молекулі фосфатидилхолину двох ацилів лінолевої кислоти згідно [9] нормалізує мембранні розлади, проявляючи антиоксидантні, протизапальні, антифіброгенні та інші фізіологічні функціональні властивості [13]. Цьому якраз сприяє більша кількість ацилів лінолевої кислоти.

#### Висновки

1. Дослідженнями встановлено, що шляхом обробки фосфатидного концентрату соняшникової олії пероксидом водню і наступною обробкою ацетоном і етанолом, можна отримати лецитин більш

високої якості за рахунок зменшення в кінцевому продукті кислотного, пероксидного, колірною чисел, вологи та інших речовин.

2. Газохроматографічним методом показано, що згідно жирнокислотного складу одержаний лецитин збагачений ацилами насичених і ненасичених жирних кислот з переважним вмістом останніх, а ІЧ-спектроскопією – встановлено присутність функціональних фрагментів, які характерні для лецитинів

3. Дослідженнями розчинів лецитину доказано, що одержаний продукт проявляє поверхневу активність утворюючи асоціати з критичною концентрацією міцелоутворення  $\approx 2$  %, знижуючи поверхневий натяг, в тому числі і у присутності поверхнево-активних речовин.

## Список літератури

1. Арутюнян Н.С., Корнена Е.П. *Фосфолипиды растительных масел*. Москва: Агропромиздат, 1986. 255 с.
2. Оганесян Е. Т., Мальцев Ю. А., Магонов М. М., Воробйов Н. Ю. Пат. 2002100678А, Российская Федерация. *Способ получения яичного лецитина*. 2005.
3. Авчьева П. Б., Буторова І. А., Авчиев М. І., Деев С. В. Пат. 2279885С2, Российская Федерация. *Способ одновременного получения лецитина, холестерина, кефалина и биошрота*. 2006.
4. Чумак О. П., Гладкий Ф. Ф. *Научно-практические основы технологии жиров и жирозаменителей*. Харьков: НТУ «ХПІ», 2006. 175 с.
5. Мельник М. І., Школа О. І., Мельников К. О., Шепотинник В. І., Торубаров І. В. Пат. 45451, Україна. *Спосіб виділення фосфатидів із фосфатидного концентрату*. 2003.
6. Пат. 59555, ГДР. *Спосіб виділення фосфатидів із фосфатидного концентрату*. 1968.
7. Швец В. І., Сеннікова І. Г., Орлова Г. Л., Теміров Ю. П., Петров В. І., Іванова Н. М. Пат. RU2058787 C1, Российская Федерация. *Способ получения лецитина*. 1996.
8. Филиппов А. В., Хакимов А. М., Дороголицкий М. М., Скирда В. Д. Органическая самодиффузия лецитина в системе лецитин–вода // *Коллоид. журн. – Russian Journal of Colloid Journal*. 2000. Т. 62, № 5. С. 700–706.
9. *Сравнительный анализ лецитинов, полученных из различного сырья*. URL: <http://www/uviks.ru/info/poleznye-stati-i-sovety> (дата звернення: 01.03.2019).
10. Шульга С. М. Стабільність ліпосом і жирнокислотний склад лецитина і фосфатидов подсолнечника // *Boitechnologia Acta – Ukrainian Journal of Boitechnologia Acta*. 2016. Т. 9, № 1. С. 87–96. doi:10.15407/biotech9.01.087
11. Бухштаб З. І., Мельник А. П., Ковальов В. П. *Технология синтетических моющих средств*. Москва: Лепромиздат, 1988. 40 с.
12. Арутюнян Л. Р., Арутюнян Р. С., Хижняк С. Д., Пахомов П. М. Некоторые физико-химические и коллоидные свойства системы лецитин–этиловый спирт–вода. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия*. Тверь: ТвГУ. 2016. № 2. С. 125–134.
13. K.-J. Gundermann. Is 1,2-Dilinoleoylphosphatidylcholine (DLPC) the Key Ingredient in Polyenylphosphatidylcholine (PPC) from soybean to Treat Membrane Damages? *15-th International Conference «Phospholipids: New Opportunities in Technology, Analytical, Chemistry and Applicatins»*, October 12-13, 2016.

## Bibliography (transliterated)

1. Arutyunyan N. S., Komena E. P. *Fosfolipidy rastitelnykh masel*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 255 p.
2. Oganesyanyan E. T., Maltsev Yu. A., Magonov M. M., Vorobyov N. Yu., *Sposob polucheniya yaichnogo letsitina*. Patent RF, no. 2002100678A, 2005.
3. Avchieva P. B., Butorova I. A., Avchiev M. I., Deev S. V. *Sposob odnovernennogo polucheniya letsitina, holesterina, kefalina i bioshrota*. Patent RF, no. 2279885C2, 2006.
4. Chumak O. P., Gladkiy F. F. *Nauchno-prakticheskie osnovy tehnologii zhиров i zhировzameniteley*. Kharkov, NTU «HhPI» Publ., 2006. 175 p.
5. Melnik M. I., Shkola O. I., Melnikov K. O., Shepotinnik V. I., Torubarov I. V. *Sposib vidilennyya fosfatidiv iz fosfatidnogo kontsentratu*. Patent UA, no. 45451, 2003.
6. *Sposib vidilennyya fosfatidiv iz fosfatidnogo kontsentratu*. Patent GDR no. 59555, 1968.
7. Shvets V. I., Sennikova I. G., Orlova G. L., Temirov Yu. P., Petrov V. I., Ivanova N. M. *Sposob polucheniya letsitina*. Patent RF no.2058787 C1, 1996.
8. Filippov A. V. Hakimov A. M., Dorogonitskiy M. M., Skirda V. D. Organicheskaya samodiffuziya letsitina v sisteme letsitin–voda // *Kolloid. zhurn. – Russian Journal of Colloid Journal*. 2000. vol. 62, no. 5. pp. 700–706.
9. *Sravnitelnyy analiz letsitinov, poluchennykh iz razlichnogo syrya*. Available at: <http://www/uviks.ru/info/poleznye-stati-i-sovety> (data zvernennyya: 01.03.2019).
10. Shulga S. M. Stabilnost liposom i zhirmokislottyiy sostav letsitina i fosfatidov podsolnechnika // *Boitechnologia Acta – Ukrainian Journal of Boitechnologia Acta*. 2016. vol. 9, no. 1. pp. 87–96. doi:10.15407/biotech9.01.087
11. Buhshab Z. I., Melnik A. P., Kovalov V. P. *Tehnologiya sinteticheskikh moyuschih sredstv*. Moscow, Legpromizdat Publ., 1988. 40 p.
12. Arutyunyan L. R., Arutyunyan R. S., Hizhnyak S. D., Pahomov P. M. Nekotorye fiziko-himicheskie i kolloidnyie svoystva sistemyyi letsitin-etilovyyiy spirt-voda. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya*. Tver, TvGU Publ., 2016, no. 2. pp. 125–134.
13. K.-J. Gundermann. Is 1,2-Dilinoleoylphosphatidylcholine (DLPC) the Key Ingredient in Polyenylphosphatidylcholine (PPC) from soybean to Treat Membrane Damages? *15-th International Conference «Phospholipids: New Opportunities in Technology, Analytical, Chemistry and Applicatins»*, October 12-13, 2016.

Надійшла (received) 19.04.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Чумак Ольга Петрівна (Чумак Ольга Петровна, Chumak Olha Petrivna)** – професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4059-5662>; e-mail: [olga.p.chumak@gmail.com](mailto:olga.p.chumak@gmail.com)

**Березка Тетяна Олександрівна (Березка Татьяна Александровна, Berezka Tetiana Oleksandrivna)** – доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1329-2981>; e-mail: [berezka\\_tatyana\\_kpi@meta.ua](mailto:berezka_tatyana_kpi@meta.ua)

**Мольченко Світлана Миколаївна (Мольченко Светлана Николаевна, Molchenko Svitlana Mykolaivna)** – старший викладач кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7897-8947>; e-mail: [molchenko.svetlana@gmail.com](mailto:molchenko.svetlana@gmail.com)

*Y. A. POLYVANOV***DEVELOPMENT OF A FATTY FILLER RECIPE FOR A NEW TYPE OF WAFER PRODUCTS**

The article gives an opportunity to develop the technology of fatty filling for waffles and low-calorie wafers by replacing sugar with a mixture of sweet extracts from the leaves of stevia with erythritol. The expediency of regulating the amount of dry matter due to the introduction of dry skim milk whey has been proved. The whey is a raw material component that further enriches the finished product on minerals and vitamins that are healthy for the human body. The possibility of additional introduction of beta-carotene, as a dye and ascorbic acid, as a stabilizer of fatty wafer fillings has been investigated. In order to improve the quality and safety of finished products, the possibility of using in the technology of fatty fillings for wafer products a new type of confectionery fat of domestic production "Fettifil" has been experimentally confirmed.

**Keywords:** waffles, waffle products; fat filling for waffles; erythritol; milk serum; stevia; additional vitaminization.

*Є. А. ПОЛИВАНОВ***РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ЖИРОВОЇ НАЧИНКИ ДЛЯ НОВОГО ВИДУ ВАФЕЛЬНИХ ВИРОБІВ**

У статті наведено можливість розробки технології жирової начинки для вафель та вафельних виробів зниженої калорійності за рахунок заміни цукру на суміш екстракту солодкої лаванди з еритритолом. Доведено доцільність регуляції кількості сухих речовин за рахунок внесення сухої молочної знежиреної сироватки, як сировинного компонента, що додатково збагатить готовий продукт на корисні для організму людини мінерали та вітаміни. Досліджена можливість додаткового внесення бета-каротину, в якості барвника та аскорбінової кислоти, в якості стабілізатора жирових вафельних начинок. Експериментально підтверджено можливість використання нового виду кондитерського жиру вітчизняного виробництва "Феттіфіл" у технології жирових начинок для вафельних виробів з метою підвищення якості та безпеки готової продукції.

**Ключові слова:** вафлі; вафельні вироби; жирова начинка для вафель; еритритом; молочна сироватка; стевія; додаткова вітамінізація.

*Е. А. ПОЛИВАНОВ***РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ЖИРОВОЙ НАЧИНКИ ДЛЯ НОВОГО ВИДА ВАФЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

В статье приведена возможность разработки технологии жировой начинки для вафель и вафельных изделий пониженной калорийности за счет замены сахара на смесь экстракта сладкого из листьев стевии с эритритолом. Доказана целесообразность регуляции количества сухих веществ за счет внесения обезжиренной молочной сыворотки, как сырьевого компонента, которая дополнительно обогатит готовый продукт полезными для организма человека минералами и витаминами. Исследована возможность дополнительного внесения бета-каротина, в качестве красителя и аскорбиновой кислоты, в качестве стабилизатора жировых вафельных начинок. Экспериментально подтверждена возможность использования нового вида кондитерского жира отечественного производства "Феттифил" в технологии жировых начинок для вафельных изделий с целью повышения качества и безопасности готовой продукции.

**Ключевые слова:** вафли; вафельные изделия; жировая начинка для вафель; эритритол; молочная сыворотка; стеви́я; дополнительная витаминизация.

**Introduction.** The new products development and the competitive production are important aspects for the successful growth of the company. Today's consumer tastes are quite volatile. Thereby society dictates new social criterion for producers, sets new requirements and tasks, thereby highlighting forming "trends." In this case, the term "trend" describes the problems of our modern nutrition and allows us to focus the attention of health authorities and the developers of new food products on the food habits of consumers. In the field of taste neurobiology, gastrophysics and molecular gastronomy, some research institutes, cooking and food technology schools in Oxford (Great Britain), Dublin, Cork (Ireland), and Dnipro (Ukraine) have recently started working. Research results form a new global trends in the food market [1–3].

According to data provided in the Annual Survey of Food and Health, which are released by the International Food Information Council (IFIC), 36% of Americans follow a diet, and therefore they develop an aversion to carbohydrates and sugar. Younger consumers (aged 18–34) are more likely to stick to a particular diet than people over 35 years old. However, the essence of the problem is in the fact that consumers do not have a proper understanding of proper diet. And only a small part of the population (less than 40%) can list the products that benefit the body.

The survey results are interesting for us. According to which 10% of the contingent correctly believe that protein intake is necessary; 7% constantly consume vegetables, 4% – fruits; 5% supplement the rations with vitamin and mineral complexes.

The provided information illustrates the need for more complete and clear consumer education in nutrition. However, educational activities require good preparation and organization. That is, it has a large part of the time and finances. A simpler, faster and more affordable way is to produce balanced foods that are popular among the population.

Irrefutable is the fact that many of the nutrition trends, came to Europe and other countries of the world from the United States. For example, the maximum decrease in temperature during heat treatment or the promotion of the consumption of products not exposed to heat. Another important factor for public health is the trend of production and consumption of "free" products ("sugar free; fat free; gluten free", etc.).

The development of these trends depends on the country and the social status of supporters of such transitions. At the same time, self-cooking is relegated to the background, and "snacking" is increasingly becoming a substitute for traditional meals during the day.

© Polyvanov Y. A., 2019

We must not forget about the epidemic scale of obesity, which causes serious concern to health authorities in the world, especially in the countries of the Persian Gulf and the United States, where the level of adult obese people exceeds 35%.

A recent WHO recommendation for reducing the consumption of free sugars throughout life for adults and children is an important step for creating ideas of combined, enriched, sugar-free popular products. WHO recommends reducing the consumption of free sugars to 10% of the total energy consumption and suggests a further reduction in the consumption of free sugars to below 5% of the total energy consumption [4].

Given the above information, it becomes clear that not all popular products can take into account the full range of "utility factors". However, such a product was singled out by us – these are wafer products that are very popular in many countries of the world and among different strata of the population.

**The formulation of the problem in general form and its connection with important scientific or practical tasks.** Confectionery is a large group of high-calorie foods that are very popular and in constant demand among children and adults in Ukraine and the world. Analysis of the data on the consumption level of confectionery products in Ukraine confirms that almost all groups of the population prefer flour confectionery products. They include it in their daily diet, as well as in the diet of children in organized groups. The confectionery segment makes up the most significant part of the total confectionery production (more than 50%) and has a very large assortment. However, despite this, a common shortcoming is their unbalanced composition of nutrients. These products are characterized by a high calorie content, a significant content of fats and carbohydrates, a low protein content and the almost complete absence of vitamin and mineral components.

Vitamin consumption is quite important for building wellness programs related to the rationalization of food rations. Their lack in rations is accompanied by a decrease in the adaptive capacity of the person, entails the development of chronic fatigue syndrome, reduces mental and physical activity, inevitably leads to a decrease in the body's defenses.

Lack of vitamins in childhood and adolescence affects the indicators of physical development, performance, contributes to the development of metabolic disorders, chronic forms of pathologies and prevents the formation of a healthy generation. In some regions, vitamin deficiencies in the diet of children and adults are combined with insufficient intake of macro and microelements [5]. In this regard, the development of technologies for flour confectionery products enriched with vitamins is predicted to be successful in the domestic market and in the world.

Ukraine is among the top 10 countries for consuming sweets. The average consumption of confectionery per one Ukrainian per year is about 15 kg. The greatest demand is for wafers and wafer products, presented on the market with a wide range of commodity items, differing in type, composition, packaging and price. The Ukrainian market of wafers is gradually

reviving after a crisis that over a period of which producers have faced a number of problems: increased production costs, reduced purchasing power of citizens, devaluation of hryvnia, the need to change technology production and raw materials, falling production and foreign trade, etc. According to last year's reports of producers of wafer products, an adaptive tendency towards new market conditions, an increase in production volumes, including exports, and a decrease in the import of products from abroad are outlined.

The geographical structure of exports of waffles from Ukraine in 2017, in physical terms, is shown in the diagram (Fig. 1).

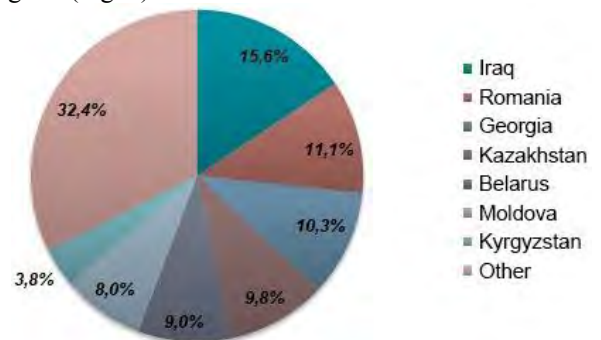


Fig. 1. Diagram of wafer exports geography in 2017

From Fig. 1 it is evident the Ukrainian market of waffles is characterized by high popularity among the countries of the Middle East and former CIS countries.

However, domestic production is the basis of the Ukrainian wafer market and last year its share amounted to 97.4%. Today, the Ukrainian confectionery companies invest money in the development and modernization of production and equipment. The priority remains increasing exports.

The leading confectionery factories modernized the production line. As well as significantly improved manufacturability and knowledge intensity of enterprises. The quality of products of domestic enterprises in many ways does not differ from the foreign ones. Which allows, in fact, to completely oust competitors from other countries. At the same time, the share of foreign trade marks on the Ukrainian market of wafer products at present does not exceed 5%. It should be noted, along with the general perspective, the conditions for the development of small enterprises are very limited. Most of them require the replacement of obsolete equipment and the introduction of new technologies with a lack of own funds. Therefore, production will continue to be concentrated in the largest corporations. For small firms it is necessary to solve financial problems at the expense of attraction of investments. Because it is precisely the small and medium confectionery business that just forms the internal market of confectionery products.

Thus, investors' attention is becoming more and more prerequisite to be focused not so much on confectionery business projects, but on the support of long-standing enterprises with strong positions in the market, where risks are lower, and the payback periods are shorter.

**Purpose and tasks of work.** The aim of the presented scientific research was the development of a formulation of fatty filling for wafer products using natural sweetener of the sweet extract from stevia leaves and a natural sweetener – erythritol, enriched with vitamins and whey protein proteins; carrying out merchandise quality assessment on organoleptic and physico-chemical parameters.

To achieve this goal, the following tasks were defined:

- select the optimal ratio of components in the formulation of fatty filling for waffles, taking into account the organoleptic and physico-chemical quality indicators;
- to give a commodity assessment of finished wafer products.

**Objects and research methods.** The objects of research in this work were:

- 1) laboratory samples of fatty fillings for wafers, prepared according to the developed recipe from domestic fat "Fettifil", erythritol, sweet extract from stevia leaves, enriched with beta-carotene, ascorbic acid and containing whey;
- 2) waffle samples prepared with a developed fat filling.

We used standard, generally accepted methods for analyzing the quality of flour confectionery products. The quality of the waffles was evaluated by the combination of organoleptic and physico-chemical parameters. Organoleptic quality assessment of finished products was carried out on a 5-point scale. The quality indicators of the finished waffles were determined in accordance with the requirements of SSTU 4033:2018 "Waffles. General technical conditions" [6].

**Presentation of the main research material.** Fat masses are thermodynamically unstable systems in which aggregation of solid particles occurs, with a subsequent decrease in the surface of the contacting particles with the dispersion medium. As a result of such processes, the system enters a state with a lower potential energy.

The addition of erythritol and dry whey, as well as stevia extract [7] allows to reduce the sugar content, increase the amount of protein, reduce caloric content, increase biological value, while maintaining high consumer properties. Samples of the wafers filling were prepared with the addition of erythritol, beta-carotene, ascorbic acid, hydrogenated fat "Fettifil" and whey. During this, the properties were examined.

The main criteria for determining the quality of fatty filling were viscosity and adhesive properties. Which commensurate with the control samples prepared according to traditional recipes [8]. According to the existing information, a change in the composition of the fatty filling may lead to a decrease in the effective viscosity due to the destruction of the coagulation structures. There is a possibility of increasing the viscosity of the filling when sugar is completely replaced by other ingredients. There may also be a loss of ductility and fluidity. In this regard, whey has become a component that supports the coagulation structure, and

the addition of wafer crumbs improved synergies with the dispersion medium, which was chosen fat "Fettifil" [9]. The amount of fat applied did not differ from the traditional recipe for a fatty wafer filling and amounted to 37%. In comparison with the control samples, the structure of the fatty filling remained strong and the protein-fat systems established good coagulation contacts with the wafer sheet.

It should be noted that the presence of particles of different nature and physicochemical properties (whey, erythritol, sweet extract from stevia leaves, vitamins) influences the kind of the compounds and the strength of the aggregative structures of the structure in different ways. The binding energy of particles in coagulation contacts depends on the kind of the substance, the dispersed phase and the dispersion medium. The more polar one of them, the higher the surface tension at the boundary between them. The greater the polarity difference between the dispersion medium and the particles, the stronger the tendency of particles to aggregate. Therefore, when adding serum, there is an increase in the strength of the contacts, which leads to the strengthening of the structure in the finished product.

The structure formation of fatty masses occurs when they are cooled as a result of crystallization of the dispersion medium - non-lauric-type confectionary fat. The process of structure formation of fat masses during their cooling is accompanied by a decrease in the temperature of the mass and hardening of its structure, i.e. hardening plastic strength. Adhesion is essential in the production of fatty fillings for wafers. Especially in cases where contact is possible between the mass and the surface of the processing machine or strong contact between the used semi-finished products is necessary.

One of the requirements for the quality of waffles according to SSTU 4033:2018 "Waffles. General technical conditions" is a tight fit of the wafer sheet to the filling. Which is determined by the strength of adhesion of these semi-finished products or adhesive bond [6]. In the conditions of semi-industrial production (50 kg of finished products) a good adhesive property of the sheets to the wafer filling was noted. The number of marriages when cutting layered wafer sheets did not exceed the permissible norms. Organoleptic evaluation of finished products was carried out on a five-point scale. This was done according to the method of sensory evaluation "A Not A", according to the following quality indicators: appearance (shape, surface condition, color), structure in a fracture, filling consistency, smell and taste. Analysis of the data showed that samples with the introduction of stevia extract, erythritol, ascorbic acid, beta-carotene, whey are characterized by a more pronounced taste, aroma and a more tender consistency of the filling, because they contain high levels of protein and vitamins. Which are good natural biostimulants of many metabolic processes in the human body [6].

A vitamin such as beta-carotene is essential for the metabolism and maintenance of health.  $\beta$ -carotene is the most powerful antioxidant and immunomodulator. It strengthens immunity, carries out prevention of

infectious diseases and neutralizes harmful influences of the environment, stresses, increasing the protective properties of the organism as a whole. After analyzing the existing technology of waffle production, we proposed the possibility of enriching fat fillings with other beneficial vitamin – ascorbic acid. Ascorbic acid (E300) is an organic compound. It has the formula  $C_6H_8O_6$ . Ascorbic acid is one of the main substances in the human diet. Since it is responsible for the normalization of the functioning of connective tissue and bone tissue. Ascorbic acid performs restorative biological functions and functions of coenzymes of some metabolic processes, is an antioxidant. L-ascorbic acid is an active, restored form of vitamin C. In recent years, it has been widely used as an additive in the formulation of healthy products. The physiological effect of ascorbic acid is quite broad: it acts as an anti-scurvy factor, activates the cells that synthesize collagen, increases immunity and stress, stimulates hemopoiesis, increases the strength and elasticity of the walls of the capillaries, promotes better absorption of iron [10, 11].

Lack of ascorbic acid of varying degrees is quite common throughout Ukraine. The concern of physicians with questions of providing a person with a sufficient amount of ascorbic acid throughout life is caused by the fact that it refers to those vitamins, which must be constantly replenished with food. However, the use of modern technologies for processing raw materials leads to a significant decrease in the content of this essential nutrient in finished products. The only possible way to prevent the development of ascorbic acid deficiency is its timely and constant use, adequate prevention, including regular consumption of food products enriched with ascorbic acid. In confectionery products its content is very small. Therefore its use in the technology of popular confectionery products is very important for the recovery of the population. The status of stevia as a global ingredient is generally recognized by leading brands of non-alcoholic drinks, such as “Pepsi-Cola” and “Coca-Cola” with zero or with a 50% reduced calorie content. Sweeteners derived from stevia are the fastest growing segment in the market of intensive sweeteners.

According to Leatherhead International, in 2007

their share was only 1%, in 2017 it reached 24%. The largest increase is observed in the United States, 85% of the market for sweeteners with stevia belongs to the United States. In this country, such components occupy 21% of the American market of intensive sweeteners.

Numerous research have shown that regular use of stevia reduces cholesterol, improves cell regeneration, coagulates blood, strengthens blood vessels, normalizes the intestinal microflora, stabilizes the functioning of the immune system. Also, the benefits of Stevia and its derivatives can be attributed: good solubility in water; a small dose and the possibility of adding to the product at any stage of production; harmless for long-term consumption [12]. The above properties of steviosides are very valuable, but there are some barriers to its application. When the contents of the supplements above a certain taste threshold, a characteristic nuances taste begins to aftertaste. Therefore, it was necessary to supplement the formulation with an ingredient that is able to correct this disadvantage. This ingredient is erythritol. Erythritol is a polyatomic alcohol. It has a sweetness of 0.7 in relation to sugar, a caloric value of 20 kcal per 100 g of product. It has significantly lower caloric content, compared to fructose, with content 399 kcal per 100 g. Thus, it became interesting to analyze the energy value of wafers with fatty filling according to existing and developed technologies (Table 1).

Table 1– Energy value of waffles with fat filling (g/100g)

Parameter	Waffles with fat filling		
	sugar	fructose, stevia	erythritol, stevia
Protein	4,1	6,5	6,5
Fat	36,4	31,4	31,4
Carbohydrates	58,1	53,4	36,8
Energy value, kcal	548,0	527,6	497,8

Baked wafers, prepared according to the developed recipe, have a pleasant taste and aroma, with an even edge and a clear pattern of the surface, developed porosity [13–15]. And it have a reduced calorific value, compared with the analogue on fructose and control on sucrose. Organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of wafers with a new fatty filling are given in table. 2.

Table 2 – Organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of wafers with filling

Name of the parameter	Characteristic and value of the parameter	
	New product	SSTU 4033:2018 “Wafers. General technical conditions”
Taste and smell	Peculiar to the name without foreign tastes and odors	Peculiar to the name without foreign tastes and odors
Surface	With a clear pattern. Without blisters, dents and cracks	With a clear pattern. Without blisters, dents and cracks
Colour	Light yellow	From light yellow to light brown
The structure in the fracture	Laminated product consisting of alternating layers of wafers. Wafer sheets tightly in contact with the filling, the filling is evenly distributed and does not protrude beyond the edges	Laminated product consisting of alternating layers of wafers. Wafer sheets tightly in contact with the filling, the filling is evenly distributed and does not protrude beyond the edges
The form	Flat, rectangular, edges of waffles with a smooth edge	A variety of flat or volumetric, depending on the shape of the waffles
The taste and smell of the filling	Sweet, without sensation of cloying, with a slight sour taste, without foreign tastes and odors.	Sweet with taste and aroma of used raw materials and flavors, without foreign taste and smell. No feeling of greasiness.
Filling color	Plain, cream colour	Monotonous, from white to dark brown
Filling consistency	Homogeneous without grains and lumps, delicate oily, easily melting in the mouth, finely dispersed	Homogeneous without grains and lumps, delicate oily, easily melting in the mouth, finely dispersed
Mass of a single product, g	25±1,5	No more than 150
Moisture content, %	5,8	No more than 8,4

The organoleptic evaluation of consumer properties of a new type wafers with a fatty filling, erythrol, milk serum after 90 days of storage at a temperature of  $(18\pm 3)^{\circ}\text{C}$  and a relative air humidity of 65–70%, in corrugated boxes remained high - taste, crisp properties, delamination ability during the period of storage established by SSTU 4033:2018 did not decrease. And it exceeded the organoleptic characteristics of the control sample with a sucrose and analogue with a fructose.

**Conclusions and development prospects of this direction.** According to nutritional scientists, nutrition should contribute to the adaptation of the human body to adverse environmental conditions. So nutrition should not only satisfy the physiological needs of the body for nutrients and energy, but also improve the health of consumers, and carry out prevention of nutritional diseases.

The risk factors for the development of a number of alimentary-dependent diseases include excessive

consumption of sugar, salt, fat, saturated fatty acids, cholesterol, trans fatty acid isomers. Currently, for the purpose of their prophylaxis, WHO recommends restricting consumption of products containing these nutrients. Unfortunately, flour confectionery also belongs to this product group. In order to level the negative impact of the unbalanced composition and increase the micronutrient density of flour confectionery products, we developed a recipe for the filling of waffles using natural sweetener of the sweet extract of stevia leaves and natural erythrol sweetener. The filling was enriched with vitamins and whey milk proteins. The work presents the organoleptic and commodity assessment of the quality of the finished product. The optimal ratios of the components in the formulation of the fatty filling for wafers were selected, taking into account the organoleptic and physico-chemical quality indicators, as well as the stability of the conditions of the production process.

#### Список литературы

1. Sarioğlan M. New Orientations in Gastronomy Education: Molecular Gastronomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014. 14 August. Vol. 143, P. 320–324.
2. Burke R., This H., Kelly A.L. Molecular Gastronomy. *Reference Module in Food Science*. 2016.
3. Spence C., Youssef J. Assessing the long-term impact of the molecular gastronomy movement on haute cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2018. Vol. 14. P. 35–44.
4. Tiefenbacher K.F. Chapter Eight - New Products Require New Thinking—Ideas and Examples. *The Technology of Wafers and Waffles II. Recipes, Product Development, and Know-how*. 2019.
5. Воробьева В.М., Воробьева И.С., Кочеткова А.А., Богачук М.Н., Переверзева О.Г., Подбельская Т.А. Оптимизация микронутриентного состава мучных кондитерских изделий. *Питание и Здоровье*. 2014, март. С. 74–77.
6. Красина И.Б., Джалимова О.Н., Капаева Е.А. Вафельные изделия для диетического питания. *Техника и технология пищевых производств*. 2009. № 2. С. 54–56.
7. Официальный сайт компании Stevia. URL: <https://stevia.in.ua/> (дата обращения 8.07.2019).
8. Зубченко О.В. Технология кондитерского производства: уч. пос. для студ. ВУЗов. Воронеж. гос. технол. ак. 1999. 432 с.
9. Жир кондитерский "Феттифил" Н1 TF-31 ТМ "Шедро". URL: <http://schedro.ua/ru/products/industry/product/1087/zhir-konditerskiy-fettifil-h1-tf-31> (дата обращения 8.07.2019).
10. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг. А.А. Кочеткова и др. изд-е 3-е. испр. СПб.: ГОРД. 2004. 640 с.
11. Спиричев В.Б. Научное обоснование применения витаминов в профилактических и лечебных целях. *Вопросы питания*. 2010. № 5. С. 5–14.
12. Федун І.Л., Новицький К.О. Інноваційні можливості природних цукрозамінників в Україні. *Сучасні питання економіки і права*. 2015. № 6. С. 54–61.
13. Тамазова С.Ю., Першакова Т.В., Купин Г.А., Викторова Е.П. Разработка рецептуры и оценка потребительских свойств вафель с начинкой, обогащенных пищевыми добавками. *Научный журнал КубГАУ*. 2017. № 127. С. 193–203.
14. 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.
15. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2, [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2018. – 108 с.

#### References (transliterated)

1. Sarioğlan M. New Orientations in Gastronomy Education: Molecular Gastronomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014. 14 August. Vol. 143, P. 320–324.
2. Burke R., This H., Kelly A.L. Molecular Gastronomy. *Reference Module in Food Science*. 2016.
3. Spence C., Youssef J. Assessing the long-term impact of the molecular gastronomy movement on haute cuisine. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2018. December. Vol. 14. P. 35–44.
4. Tiefenbacher K.F. Chapter Eight - New Products Require New Thinking—Ideas and Examples. *The Technology of Wafers and Waffles II. Recipes, Product Development, and Know-how*. 2019.
5. Vorobyova V.M., Vorobyova I.S., Kochetkova A.A., Bogachuk M.N., Pereverzeva O.G., Podbelskaya T.A. Optimization of micronutrient composition of flour confectionery products. *Nutrition and Health*. 2014. march. P. 74–77.
6. Krasina I.B., Dgahimova O.I., Kapayeva E.A. Waffle wares for a dietary feed. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2009. № 2. P. 54–56.
7. Official website of the company Stevia. URL: <https://stevia.in.ua/> (date of request 8.07.2019).
8. Zubchenko O.V. Tekhnologiya konditerskogo proizvodstva : uchebniki i ucheb. Posobiya dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy. Voronezh : Voronezh. gos. tekhnol. akad. 1999. 432 p.
9. Fat confectionery "Fettifil" H1 TF-31 ТМ "Schedro". URL: <http://schedro.ua/ru/products/industry/product/1087/zhir-konditerskiy-fettifil-h1-tf-31> (date of request 8.07.2019).
10. Pishcheyaya khimiya / A.P. Nechayev. S.Ye. Traubenber. A.A. Kochetkova i dr. izd-ye 3-ye. ispr. SPb.: GORD. 2004. 640 p.
11. Spirichev V.B. Nauchnoye obosnovaniye primeneniya vitaminov v profilakticheskikh i lechebnykh tselyakh. *Voprosy pitaniya*. 2010. № 5. P. 5–14.
12. Fedun I.L., Novyts'kyi K.O. Innovatsiyni mozhlyvosti pryrodnykh tsukrozaminnykiv v Ukraini. *Suchasni pytannya ekonomiky i prava*. 2015. № 6. P. 54–61.
13. Tamazova S.YU., Pershakova T.V., Kupin G.A., Viktorova Ye.P. Razrabotka retseptury i otsenka potrebitel'skikh svoystv vafel' s nachinkoy, obogashchennykh pishcheyymi dobavkami. *Scientific Journal of KubSAU*. 2017. № 127. P. 193–203.
14. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovatsiyni zahodi). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. / L.L. Tovazhnyanskiy, S.I. Buhkalo, Denisova A.C., I.M. Demidov ta in. – K.: CNL, 2016. – 470 p.
15. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladni ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2, [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2018. – 108 p.

Hadziusha (received) 23.05.2019

\* The work was performed under the direction of Associate Professor, PhD Kondratiuk N.V.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Поливанов Єгор Андрійович (Поливанов Егор Андреевич, Polyvanov Yehor Andriyovych)** – студент IV курсу кафедри харчових технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4999-5187>; e-mail: [mr.egor.pv@gmail.com](mailto:mr.egor.pv@gmail.com)



**Х. Ю. КРАВЧЕНЮК, І. Я. СТАДНИК, С. М. МОЛЬЧЕНКО, І. М. ДЕМИДОВ**

### **АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ДЕГРАДАЦІЇ БАКТЕРІАЛЬНОЇ ПЛІВКИ НА ПОВЕРХНІ ТРУБОПРОВОДУ ІЗ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ**

Розглянута фізична сутність впливу гідравлічних опорів та вершин шорсткості в примежовому шарі з великим градієнтом швидкості миючих засобів в транспортуючих трубопроводах сировини на адгезію, що встановлює залежність від форми, градієнта швидкості і кута шорсткості, прикладання механічних сил, ступеня попередньої дисперсності й фізико-механічних властивостей середовища. Встановлено характер контактної взаємодії бактеріальної біоплівки із шорсткою поверхнею у транспортуючій трубопроводі та шляхи деградації біоплівки. Порушення цих взаємних співвідношень призводить до ефективної санітарної обробки, і відповідно до випуску якісної продукції та її терміну зберігання. Обґрунтовано площу контакту адгезиву та складові, формуючі роботу на подолання адгезії і деформації середовища при визначенні критеріїв, які впливають на процес, відповідно до кожного певного періоду стадії деформації. Одержані дані дають відповідь на ряд запитань про можливість взаємодії поверхні із середовищем, що встановлюють реальну зміну контакту адгезиву у трубопроводі. Встановлено, що для забезпечення змінної площі фактичного контакту, що сприяє кращій деградації біоплівки, і відповідно, проходженню якісного процесу санітарної обробки поверхонь, необхідною умовою являється додержання швидкості руху миючих засобів до відповідних технологічних параметрів.

**Ключові слова:** біоплівка; адгезія; площа контакту; градієнта швидкості.

**К. Ю. КРАВЧЕНЮК, И. Я. СТАДНИК, С. Н. МОЛЬЧЕНКО, И. Н. ДЕМИДОВ**

### **АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕГРАДАЦИИ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДА ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Рассмотрена физическая сущность влияния гидравлических сопротивлений и вершин шероховатости в пограничном слое с большим градиентом скорости моющих средств в транспортирующих трубопроводах сырья на адгезию, которая устанавливает зависимость от формы, градиента скорости и угла шероховатости, прикладывания механических сил, степени предварительной дисперсности и физико-механических свойств среды. Установлен характер контактного взаимодействия бактериальной биопленки с шероховатой поверхностью в транспортирующем трубопроводе и пути деградации биопленки. Нарушение этих взаимных соотношений приводит к эффективной санитарной обработке и, соответственно, выпуску качественной продукции и ее срока хранения. Обосновано площадь контакта адгезива и составляющие, формирующие работу на преодоление адгезии и деформации среды при определении критериев, влияющих на процесс, соответственно к каждому определенному периоду стадии деформации. Полученные данные дают ответ на ряд вопросов о возможности взаимодействия поверхности со средой, устанавливают реальное изменение контакта адгезива в трубопроводе. Установлено, что для обеспечения переменной площади фактического контакта, которая способствует лучшей деградации биопленки, и соответственно, прохождению качественного процесса санитарной обработки поверхностей, необходимым условием является соблюдение скорости движения моющих средств до соответствующих технологических параметров.

**Ключевые слова:** биопленка; адгезия; площадь контакта; градиента скорости.

**Kh. Yu. KRAVCHENYUK, I. Ya. STADNYK, S. M. MOLCHENKO, I. M. DEMYDOV**

### **ANALYTICAL MODEL OF THE BACTERIAL FIBER DEGRADATION ON THE SURFACE OF THE PIPELINE FROM STAINLESS STEEL**

The physical essence of the influence of the hydraulic resistance and roughness vertexes in the adjoining layer with a large velocity gradient of detergents in the transport pipelines of raw materials on adhesion, which establishes dependence on the shape, velocity gradient and angle of roughness, application of mechanical forces, the degree of previous dispersion and physical and mechanical properties of the medium are considered. The nature of the contact interaction of a bacterial biofilm with a rough surface in the transport pipeline and the ways of degradation of the biofilm are established. Violations of these mutual relations lead to efficient sanitary treatment, and in accordance with the release of quality products and the period of their sustainability. The contact area of the adhesive and the component forming work for overcoming the adhesion and deformation of the environment in determining the criteria influencing the process according to each particular period of the deformation stage are substantiated. The obtained data give an answer to a number of questions about the possibility of interaction between the surface and the environment, which establishes a real change in the adhesion contact in the pipeline. It was established that in order to provide a variable area of actual contact, which contributes to better degradation of biofilms, and, accordingly, the passage of a qualitative process of sanitary treatment of surfaces, the necessary condition is to maintain the velocity of movement of detergents to the corresponding technological parameters.

**Keywords:** biofilm; adhesion; contact area; velocity gradient.

**Вступ.** У харчових технологіях при підготовці сировини, отриманні напівфабрикатів, готових виробів, їх зберіганні велике значення має взаємодія продукту з різними рухомими і нерухомими поверхнями. Така взаємодія, як правило, призводить до прилипання продукту до поверхні робочих органів, робочих камер технологічного обладнання, а також конструкційних і технологічних матеріалів, тари тощо. У техніці явище прилипання прийнято називати адгезією [1].

Адгезія харчових мас частіше є небажаною. Часто приходиться стикатись з явищем, коли середовище прилипає до поверхонь, а при його вилученні частина залишається на поверхні

останньої. Це призводить до втрат і псування напівфабрикату та товарного вигляду. Отже, адгезія негативно впливає на ефективність використання обладнання, якість продукту, призводить до збільшення витрат сировини і енергетичних ресурсів, ускладнює санітарні умови підприємств.

З широким впровадженням у харчове виробництво сучасних автоматизованих, комплексно механізованих ліній, коли швидкість оброблення ньютонівських харчових мас значно зросла і широко впроваджуються нові конструкційні матеріали, завжди залишається необхідність у

© Кравченко Х.Ю., Стадник І.Я., Мольченко С.М., Демидов І.М., 2019

вивченні міцності адгезії, моделюванні процесів. Моделювання технологічних процесів спрямовується на зону розділення з урахуванням як виду і стану поверхні, так і структурно-механічних властивостей неньютонівських харчових мас.

Мало вивченими і особливо складними для моделювання залишаються процеси, пов'язані з адгезією структурованих мас, таких, як з утвореною біоплівкою на підприємствах молочної галузі. Дане явище досліджували багато винахідників, які розкривали суть та можливі шляхи зменшення адгезії, проводили визначення при допомозі теоретичних й експериментальних досліджень і проводили обґрунтування математичним моделюванням. Тому на наш погляд зменшити негативний вплив адгезії на технологічні процеси можна за допомогою всебічного вивчення цього явища, тобто на основі застосування сучасних методів моделювання, аналізу процесів у зоні контакту поверхня – продукт.

**Аналіз досліджень.** Адгезія пружно-пластичних мас реалізується на межі розділу двох твердих тіл. Пружно-пластичні тіла мають аномальну в'язкість, яка змінюється залежно від напруги зсуву, властивостей маси та інших факторів. Причина мінливості в'язкості полягає в особливостях структури пружно-пластичних тіл. Адгезія як поверхневе явище виникає на межі розподілу двох фаз різнорідних конденсованих тіл: біоплівка – одна фаза, поверхня контакту – друга фаза [2]. Поверхневі властивості біоплівки, зокрема адгезія, залежить від об'ємних властивостей самих мас. Останні визначають площу контакту двох тіл, яка впливає на величину адгезії та її наслідок, який характеризує стан поверхні після видалення прилиплої маси. Відрив матеріалу від твердої контактної поверхні може мати адгезійний (межа поділу проходить по поверхні контактної поверхні), когезійний (межа поділу міститься в шарі продукту) і змішаний характер [1–3]. Адгезія обумовлена різними за своєю природою силами та зв'язками, їх можна умовно розбити на дві групи. Перша група сил проявляється при зближенні двох тіл і за відсутності контакту між ними, коли є зазор певної величини. Ці ж сили діють і після порушення контакту різнорідних тіл і не можуть існувати за відсутності контакту.

В результаті розглянутих робіт (2,3,4) встановлено, що конструктивні параметри трубопроводів спрямовані для забезпечення рідинних потоків при вирівнюванні і перерозподіленні різного роду опорів за рахунок зменшення шорсткості внутрішньої поверхні. Хоча процес потоку рідини на перший погляд уявляється простим, але побудова його математичної моделі і пошук основних розрахункових залежностей досить складний. Зараз є ряд рішень вказаної задачі, котрі базуються на спрощенні дійсного процесу і не враховують впливу еластично-в'язкої і пластичної структури матеріалу і

дії на неї коливань тиску. Через те що тиск рідини (миючого засобу) на стінки трубопроводу передається по нормалі, на підставі робочого тиску, що задається, і епюри його зміни по довжині, можна визначити сили, які діють на утворену біоплівку, спрямованих на її деградацію в зонах утворених опорів [1]. Вважається, що адгезія до поверхні – це складний фізико-хімічний процес, який залежить від: властивостей поверхні, таких як топографія, шорсткість, гідрофобність, хімічний склад та поверхнева енергія; початкової кількості середовища, його розмірів, температури і рН навколишнього середовища тощо [1, 2, 3, 4]. Проте, серед багатьох наведених чинників, які впливають на процес адгезії, дослідники [4, 5] вважають, що властивості поверхні відіграють основну роль. Внаслідок чого було запропоновано три теорії мікробної адгезії до поверхні: термодинамічна, DLVO (Deryaguin–Landau–Verwey–Overbeek) теорія та теорія розширеного XDLVO [1, 6, 7].

Термодинамічна теорія ґрунтується на тому, що при прикріпленні частинок до поверхні відбувається зміна загальної вільної енергії Гіббса (енергія, яка визначається в закритій системі). Розраховується дана енергія за рівнянням Ліфшица-Ван дер Ваальса і кислотно основних взаємодій Люїса [3].

$$\Delta G_{ADH} = \Delta G_{LW} + \Delta G_{AB} \quad (1),$$

де  $\Delta G_{ADH}$  – зміна загальної вільної енергії Гіббса, що приймає участь в адгезії;  $\Delta G_{LW}$  – зміна загальної вільної енергії Гіббса та сил Ліфшица-Ван дер Ваальса;  $\Delta G_{AB}$  – зміна вільної енергії кислотно основних сил Люїса.

Термодинамічна теорія припускає, що адгезія завжди зворотній і незалежний від відстані процес. Дана теорія не визначає впливу поверхневого заряду і концентрації електролітів навколишнього середовища. Вважається, що дана теорія найбільш точна при роботі з незарядженими поверхнями або при наявності в середовищі великої кількості електролітів [3]. Теорія DLVO ґрунтується на термодинамічній теорії, а також припускає, що адгезія являється сумою міжфазних енергій. Дана теорія вважає, що колоїдні частинки дисперсної системи можуть безперешкодно зближуватися одна з одною, доки не відбудеться контакт їхніх рідких дифузних оболонок.

$$U^{DLVO} = U^{LW} + U^{EL} \quad (2),$$

де  $U^{DLVO}$  – повна енергія взаємодій;  $U^{LW}$  – енергія сил Ліфшица-Ван дер Ваальса;  $U^{EL}$  – електростатична енергія взаємодій.

Теорія припускає, що адгезія може бути зворотною і залежить від відстані. Вона є найбільш точною, коли електростатичні сили переважають, проте вона обмежена у випадку ігнорування ефекту поляричних взаємодій [3].

З метою більш точного моделювання мікробної адгезії була запропонована теорія XDLVO, яка ґрунтується на термодинамічній і DLVO теорії [4]. Згідно цієї моделі вважається, що адгезія являється сумою сил Ліфшица-Ван дер Ваальса, електростатичних та вільної енергії кислотно основних сил Льюїса.

$$U^{DLVO} = U^{LW} + U^{EL} + U^{AB} \quad (3),$$

де  $U^{DLVO}$  – повна енергія взаємодій;  $U^{LW}$  – енергія сил Ліфшица-Ван дер Ваальса;  $U^{EL}$  – електростатична енергія взаємодій;  $U^{AB}$  – енергія кислотно основних сил Льюїса.

Як у випадку з DLVO теорією, XDLVO модель вважає, що адгезія може бути зворотною і залежить від відстані. Проте, дослідники [1, 6] вважають, що всі три теоретичні моделі, які мають на меті розкрити суть адгезії до поверхні розроблені для ідеальної колоїдної системи. У виробничих умовах адгезія набагато складніший процес і її прикріплення до поверхні може відбуватися по різному [5]. Тому на наш погляд процес адгезії до поверхні на практиці часто відрізняється від вище описаних теорій. Це пов'язано з тим, що поверхні твердих матеріалів піддаються впливу різних контактуючих середовищ, адсорбують на собі органічні і неорганічні речовини, утворюючи таким чином кондиціонуючий шар, до якого приходить прикріплення контактуючого середовища. У подальшому при дії рушійних сил, сформований кондиціонуючий шар змінює фізико-хімічні властивості поверхні, і таким чином впливає на процес адгезії.

На основі викладеного вважаємо, що адгезія середовища до твердих поверхонь є двофазним процесом, який складається із вихідної зворотної (фізичної) і наступної незворотної (молекулярної або клітинної) фази. Також адгезія до твердої поверхні може бути пасивна або активна, що залежить від рушійних сил та транспорту клітин середовища на основі гравітації, дифузії чи за допомогою гідродинамічних сил. Крім цього на процес адгезії впливають фізико-хімічні властивості середовища, фазовий склад та шорсткість поверхні.

Ґрунтуючись попередніми дослідженнями [4, 6, 7] при вивченні адгезії необхідно підходити комплексно і враховувати поряд з шорсткістю топографію поверхні, так як ці величини є взаємозалежні. Шорсткість поверхні відноситься до двовимірного параметру поверхні матеріалу і зазвичай описується як середня арифметична шорсткість ( $R_a$ ) та середня квадратична шорсткість ( $R_q$ ). У той же час, топографія має трьох мірні параметри і описує елементи форми поверхні [6, 8]. Тому при вивченні адгезії звертаємо увагу на шорсткість поверхні та параметри топографії. Отже, виходячи з цього процес адгезії тісно пов'язаний із амплітудними параметрами поверхні (шорсткість) та її просторовими змінами, які характеризуються морфологічними особливостями

ми поверхні (топографія). Тому теорія прикріплення середовища до поверхні повинна враховувати переважно фізико-хімічні аспекти поверхні матеріалів, а у меншій мірі звертати увагу на морфологічні і фізіологічні особливості середовища.

Проблемою, що ускладнює визначення адгезійної міцності, є встановлення фактичної площі контакту. Адже на величину площі фактичного контакту впливає багато факторів: нормальний тиск, природа контактуючих тіл, а також зовнішні чинники – температура, напруженість, тривалість попереднього навантаження, швидкість зростання зусилля відриву. Ці фактори здійснюють різний вплив на зміну фактичної площі контакту.

**Мета статті.** Встановити зв'язок конструктивних параметрів поверхні при санітарній обробці на деградацію біоплівки з використанням методу, який ґрунтується на статистичному моделюванні.

**Постановка задачі.** Системи для напірного переміщення миючого засобу є важливою складовою при санітарній обробці поверхонь. Обмежена допустима течія в пришаровому потоці в трубопроводах вимагає створення специфічних умов синтезу систем «течія – утворена біоплівка» за використання сил адгезії (вимірюється в Н) й гідравлічного тертя в ролі сил рушійних і сил опору. У зв'язку з цим в інтересах оптимізованого синтезу необхідно є інформація, яка стосується явищ і особливостей адгезії, можливостей її трансформації в кінематичних парах як у бік збільшення, так і в бік зменшення. Різновиди біоплівок з своїми особливостями, механічними параметрами і коефіцієнтами тертя, в основі взаємодій між поверхнею трубопроводу і біоплівкою вбачається їх відповідність законам тертя Амонтона-Кулона, співвідношенням Ейлера, поняттям кут і конус тертя, радіус і круг тертя, приведений коефіцієнт тертя. В свою чергу формулювання цих понять і визначень стосується таких загально визначених припущень і понять, як результуюча сил тяжіння, результуюча розподілених сил нормального тиску, результуюча сила адгезії, центр мас, геометричний центр поверхні контактування тощо. В технологіях розрахунків і визначень параметрів систем присутні закономірності динаміки та принципи незалежності дії сил, адитивності, Лагранжа-Даламбера.

В пошуках розв'язання задач досліджень здійснювалося моделювання для оцінки зовнішніх впливів на реакції і відгуки локальних зон систем на основі математичних формалізацій і з постановкою обчислювальних експериментів. Запропоновано математичну модель сил адгезійного фактору впливу, який на відміну від коефіцієнта тертя виступає зі стабілізованим значенням. Важливо, що це стосується для забезпечення деградації біоплівки при напірній течії миючого засобу. Модифіковані теоретичні залежності дозволили здійснити розрахункові дворівневі експерименти для створення перспектив поглиблення можливостей генерування

збільшених рушійних факторів. Структура біоплівки призводить до необхідності врахування значень коефіцієнтів тертя. Прояви неізотропності відносно орієнтації структур мають місце на рівнях молекулярної побудови у відгуках на значення коефіцієнтів тертя. Одержано відповідні рівняння регресій.

**Викладення основного матеріалу.** На основі розглянутих методів і засобів для транспортування рідин і санітарної обробки технологічного обладнання, особливо трубопроводів, де присутні різні мертві зони, кутові переходи та перепади, нами прийнято рішення зробити теоретичне обґрунтування процесу впливу факторів на утворення та змивання бактеріальної плівки. Оскільки кут охоплення  $\alpha$  утвореної бактеріальної плівки в трубопроводах на згинах, переходах для сировини виступає в ролі важливого варіативного фактора впливу, то на основі аналітичних розробок проведемо обчислювальний експеримент, в якому функцією відгуку приймемо значення вказаного кута. Очевидно, що в окремих випадках пошук геометричних зв'язків для забезпечення визначених кутів охоплення бактеріальної плівки може бути суттєво спрощеним, якщо вирішується початковий синтез технологічного обладнання. Разом з тим нестабільність значень адгезії і зовнішніх умов експлуатації систем трубопроводів, рівно як і варіації фізико-механічних параметрів бактеріальної плівки, призводять до

необхідності пошуку нестандартних підходів для забезпечення заданих кінематичних параметрів їх змивання. Ситуація, пов'язана з обмеженими параметрами міцності, ускладнюється значними початковими масами бактеріальної плівки, особливостями механізмів подачі і транспортування мийного засобу тощо.

Теорія фрикційних взаємодій бактеріальної плівки з елементами транспортної системи створювалася на основі припущень про обмежений опір в деформаціях зсуву, стискання, розтягування. Сили адгезії бактеріальної плівки розподілені по дузі (коліні). В першу чергу залежать від утвореної дуги охоплення (площі), попереднього натягу і коефіцієнтів тертя. Вивчення явища адгезії бактеріальної плівки з транспортною системою умовно поділяємо на два випадки: змивання бактеріальної плівки проходить по поверхні коліна, і коли повне відносне ковзання відсутнє. Обидва ці випадки мають місце в системах транспортування і використання в'язких матеріалів, властивості яких щодо обмежених опорів деформацій зсуву, стискання і розтягу. Зупинимося більш детально на співвідношеннях між силовими параметрами системи «бактеріальна плівка – коліно» рис. 1. Цей випадок відповідає системі для зміни напрямків в траєкторіях течії або для створення і стабілізації опорів під час течії та натягів на окремих ділянках.

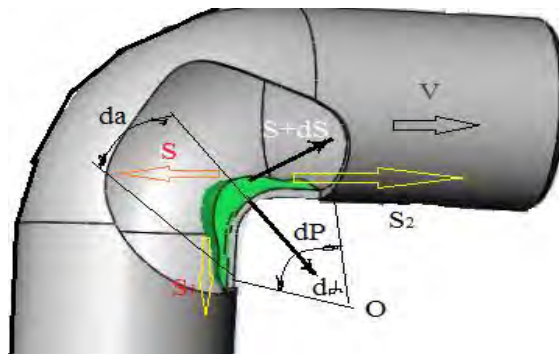


Рис. 1 – Схема для визначення сили адгезії утвореної плівки

Приймаємо, що утворена плівка (пикордонний шар) на внутрішній поверхні коліна заданої кількості не деформується, а її швидкість ковзання  $V = \text{const}$ . Масою цієї плівки і її відцентровою силою нехтуємо. За необхідності подолання сили адгезії  $F_{ad}$  маємо:

$$s_2 = s_1 - F_{ad} \quad \text{і звідси} \quad F_{ad} = s_2 - s_1. \quad (1)$$

На схемі  $da$  і  $\alpha$  відповідно елементарний і повний кути охоплення,  $s$  і  $s + ds$  –затягування (натяг) плівки. Тоді елементарна сила адгезії  $dF_{ad}$  дорівнюватиме:

$$dF_{ad} = (s+ds) - s = ds \quad \text{і} \quad dF_{ad} f dP, \quad (2)$$

де  $dP$  – елементарна сила притискання, яка визначається за відомих сил  $s$  та  $s+ds$ .

Якщо знехтувати величинами другого порядку і замінити паралелограм ромбом зі сторонами  $s$ , то:

$$dP = 2s \sin da/2 = 2s da/2 = sda \quad (3)$$

Тоді з врахуванням рівнянь (2), маємо:  $ds/s = fda$ . (4)

Інтегруванням лівої і правої частин умови (4) в межах від  $s_1$  до  $s_2$  і, відповідно, від нуля до  $\alpha$ , отримаємо:

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{s} = \int_0^{\alpha} f d\alpha \quad \ln \frac{s_2}{s_1} = f\alpha. \quad (5)$$

Звідси:

$$s_2 = s_1 e^{f\alpha} \quad (6)$$

Тоді з врахуванням умови (1), запишемо:

$$F_{ad} = s_1 (e^{f\alpha} - 1). \quad (7)$$

Сила  $F_{ad}$  є тією найбільшою силою, яка може бути передана. Розподілена адгезії, що діє на плівку дорівнює різниці  $s_1$  і  $s_2$ , тобто:

$$F_{ad} = s_1 - s_2 = s_2(e^{f\alpha} - 1). \quad (8)$$

Значення  $s_1$  має співставлятися з допустимим навантаженням плівки з умови міцності на розтягування і при цьому:

$$[s_1] \leq [\sigma_0] f_0 [s] \quad (9)$$

де  $[\sigma_0]$  – допустимі напруження, Па;  $f_0$  – площа поперечного перерізу,  $m^2$ .

Умова передавання руху на плівку визначається величиною кута охоплення  $[\alpha]$ .

$$[\alpha] \geq \frac{\ln \frac{s_1}{s_2}}{f} \geq \frac{\ln \frac{[\sigma_0] f_0}{s_2}}{f}. \quad (10)$$

За умови дії потоку рідини, сила адгезії частково зменшуються за рахунок дії відцентрових сил. За врахування останніх співвідношення між силовими параметрами набувають вид:

$$s_1 = F_{ad} \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1} + \frac{gv^2}{g} \quad (11); \quad s_2 = \frac{1}{e^{f\alpha} - 1} + \frac{gv^2}{g} qv \quad (12)$$

$$F_{ad} = (s_1 - \frac{gv^2}{g}) \frac{e^{f\alpha} - 1}{e^{f\alpha}} \quad (13)$$

де  $v$  – колова швидкість, м/с;  $q$  – маса вязкого елемента плівки, кг/м;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ .

Наведений в роботі набір математичних формалізацій дозволяє виконати планування обчислювальних експериментів з числом факторів від двох до чотирьох з одержанням різних функцій відгуку, використовуючи одержані математичні формули на рівні алгоритмів розрахунків в безпосередньому застосуванні або їх сполучень. В першому наближенні звернемося до формули (7), в якій функція відгуку представлена силою адгезії  $F_{ad}$ , а до числа факторів впливу віднесемо натяг  $s_1$  біоплівки, кут охоплення  $\alpha$  і коефіцієнт тертя  $f_{T3}$ . Орієнтиром при виборі значення  $s_1$  має бути величина  $s_{1max}$ , яка визначається через площу поперечного перерізу біоплівки і допустиме напруження  $[\sigma_0]$  в його навантаженні на розтягування і при цьому:

$$s_{1max} \leq [\sigma] b \delta \quad (14)$$

де  $b$  і  $\delta$  – відповідно ширина і товщина біоплівки, мкм.

У зв'язку з тим, що відбувається дворівневий експеримент, кожен з факторів набуває два значення: верхній Хів і нижній Хін рівні.

Оскільки планування і опрацювання експериментів виконуються не з фізичними, а з кодованими величинами, визначено кодовані зміни  $x_i$  (табл.1).

Таблиця 1 – Умови проведення експерименту

Величина	Фактори		
	$S_{1,H}$	$\alpha, \text{rad}$	F
Кодове позначення фактора	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Основний рівень, Н	$0,9s_{1max}=2250$	2,617	0,3
Інтервал варіювання, Н	$0,1s_{1max}=250$	0,523	0,1
Нижній рівень, Н	$s_i^0 - h_i = 2000$	2,093	0,2
Верхній рівень, Н	$s_i^0 + h_i = 2500$	3,13	0,4

Обробку експериментального масиву даних провели з використанням пакету прикладної програми «Statistica-12» для комп'ютера. Коефіцієнти рівняння регресії або апроксимуючої функції, за умови ортогональності та симетрії план-матриці планованого факторного експерименту, визначали згідно з стандартною методикою за відомими залежностями.

Рівняння регресії має вид:

$$y = -5095.9 + 0.29X_1 + 2632.05X_2 + 9130.19X_3.$$

При рівні вірогідності  $p = 0,95$  та значення  $t$ -альфа критерію рівному 2,365, отримали такі статистичні дані:

коефіцієнт множинної детермінації  $D = 0,842$ ;

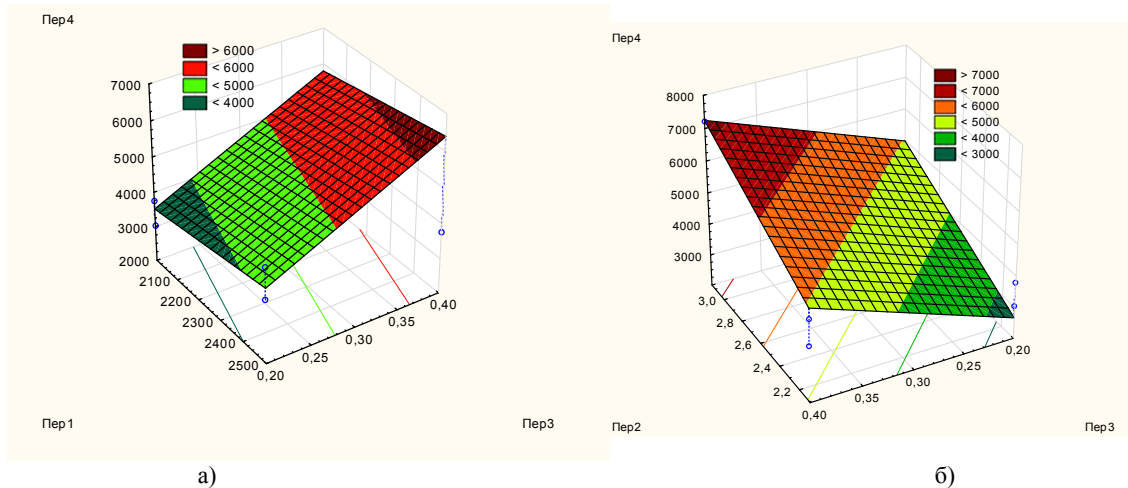
коефіцієнт множинної кореляції  $R = 0,917$ ;

стандартне відхилення оцінки  $s = 0,802$ ;

$F$ -критерій Фішера дорівнює 7,087.

Коефіцієнт  $D$  значимий з рівнем вірогідності  $P = 0,92863$ . З нього витікає, що всі фактори впливу є важливими з точки зору інтересів підвищення натягу біоплівки в контактній площині, оскільки рушійним фактором при цьому є сила адгезії (умова (2)).

Графічне зображення зміни адгезійної сили біоплівки згідно експериментальних даних подано на рис.2, тобто поверхня відгуку функціональної зміни сили адгезії біоплівки як функціонал  $F_{ad} = f(f_T, \alpha)$ .

Рис. 2. Графіки відгуку залежностей: а) у від  $x_1$  і  $x_2$ ; б) у від  $x_2$  і  $x_3$ 

**Висновки.** Сучасна теоретична база синтезу технологічних процесів на основі взаємодії рухомої рідини з середовищем (бактеріальною плівкою) поєднує можливості врахування технологічних, економічних вимог, показників високої продуктивності, енергетичних заощаджень, обмежень динамічних навантажень тощо. Досягнення поєднання вказаних вимог в значній мірі пов'язано з використанням адгезійних зв'язків

безпосередньо як між мийним засобом технологічних машин, так і в лініях транспортування сировини. В системах переміщень середовища переважає застосування гідродинамічне тертя рідини у поверхню трубопроводу. Енергетичні витрати в системах переміщень рідини пов'язані з роботою рушійних сил проти адгезії й тертя та на створення потоків кінетичної енергії рухомих мас.

#### Список літератури

1. Зимон А.Д., 1985. Адгезия пищевых масс. Агрпроимиздат, Москва. 271 с.
2. Гуць В.С., Коваль О.А., 2006. Адгезія харчових продуктів в процесах пакування. Упаковка. ПРОФИ ПРЕСС, – К., 2, 39–42.
3. Moriarty T.F., Poulsson A. H. C., Rochford E. T. J., Richards R. G., 2011. Bacterial Adhesion and Biomaterial Surfaces, In: P. Ducheyne (Ed.), Comprehensive Biomaterials, Elsevier Ltd., Oxford, 75–100.
4. Hovnar M., Jenko M., Godec M., Drobne D., 2014. An overview of the influence of stainless-steel surface properties on bacterial adhesion. Materials and technology, 48(5), 609–617.
5. Crawford R.J., Webb H.K., Truong V.K., Hasan J., Ivanova E.P., 2012. Advances in Colloid and Interface Science, 179, 142–149.
6. Merritt K., An Y. H., 2000. Factors Influencing Bacterial Adhesion. Handbook of Bacterial Adhesion, Humana Press, New Jersey. 53–72.
7. Whitehead K.A., Verran J., 2009. The Effect of Substratum Properties on the Survival of Attached Microorganisms on Inert Surfaces, In: H. C. Flemming, P. S. Murthy, R. Venkatesan, K. Cooksey (Eds.), Marine and Industrial Biofouling, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 13–33.
8. Hori K., Matsumoto S., 2010. Biochemical Engineering Journal, 48, 424–434.

#### Bibliography (transliterated)

1. Zimon A.D. 1985. *Adgeziya pishevyih mass*. Moskva: Agrpromizdat Publ., 271 p.
2. Huts V.C., Koval O.A., 2006. *Adheziia kharchovykh produktiv v protsesakh pakuvannia*. Upakovka. PROFY PRESS, Kyev, 2, 39–42.
3. Moriarty T. F., Poulsson A. H. C., Rochford E. T. J., Richards R. G., 2011. Bacterial Adhesion and Biomaterial Surfaces, In: P. Ducheyne (Ed.), *Comprehensive Biomaterials*, Elsevier Ltd., Oxford. 75–100.
4. Hovnar M., Jenko M., Godec M., Drobne D., 2014. An overview of the influence of stainless-steel surface properties on bacterial adhesion. *Materials and technology*. 48(5), 609–617.
5. Crawford R. J., Webb H. K., Truong V. K., Hasan J., Ivanova E. P., 2012. *Advances in Colloid and Interface Science*, 179, 142–149.
6. Merritt K., An Y.H., 2000. Factors Influencing Bacterial Adhesion. *Handbook of Bacterial Adhesion*, Humana Press, New Jersey. 53–72.
7. Whitehead K.A., Verran J., 2009. The Effect of Substratum Properties on the Survival of Attached Microorganisms on Inert Surfaces, In: H. C. Flemming, P. S. Murthy, R. Venkatesan, K. Cooksey (Eds.), *Marine and Industrial Biofouling*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 13–33.
8. Hori K., Matsumoto S., 2010. *Biochemical Engineering Journal*, 48, 424–434.

Надійшла (received) 08.07.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Кравченко Христина Юрївна (Кравченко Кристина Юрьевна, Kravcheniuk Khrystyna Yuriivna)** – старший лаборант кафедри харчової біотехнології і хімії, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7547-6834>; e-mail: [kravchenukx30@gmail.com](mailto:kravchenukx30@gmail.com).

**Стадник Ігор Ярославович (Стадник Игорь Ярославович, Stadnyk Ihor Yaroslavovych)** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обладнання харчових технологій, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4126-3256>; E-mail: [igorstadnyk@gmail.com](mailto:igorstadnyk@gmail.com).

**Мольченко Світлана Миколаївна (Мольченко Светлана Николаевна, Molchenko Svitlana Mykolaivna)** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7897-8947>; e-mail: [molchenko.svetlana@gmail.com](mailto:molchenko.svetlana@gmail.com)

**Демидов Ігор Миколайович (Демидов Игорь Николаевич, Demydov Ihor Mykolaiovych)** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5854-0833>; e-mail: [demigon50@ukr.net](mailto:demigon50@ukr.net)

**Г. О. САБАДОШ, П. П. ГАВРИЛКО**

### **ЗАКОНОМІРНОСТІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСЕРТІВ**

В роботі надано характеристику та проведено аналіз технологій десертної продукції з гелеподібною структурою, розглянуто теоретичні передумови використання структуроутворювача в технології десертної продукції з гелеподібною структурою, зокрема, капа-карагінану. Проведено моделювання технології ягідного напівфабрикату з дикорослих ягід Закарпатського регіону для використання в складі десертної продукції, науково обґрунтовано концентрацію цукру для підвищення міцності модельних гелів.

**Ключові слова:** ягідний напівфабрикат; структуроутворювач; карагінан; дикорослі ягоди; десерти; визначена консистенція; рецептурні компоненти

**Г. О. САБАДОШ, П. П. ГАВРИЛКО**

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ДЕСЕРТОВ**

В работе охарактеризована и проведен анализ технологий десертной продукции с желеобразной структурой, рассмотрены теоретические предпосылки использования структурообразователя в технологии десертной продукции с желеобразной структурой, в частности, каппа-карагинан. Проведено моделирование технологии ягодного полуфабриката из дикорастущих ягод Закарпатского региона для использования в составе десертной продукции, научно обоснованно концентрацию сахара для повышения прочности модельных гелей.

**Ключевые слова:** ягодный полуфабрикат; структурообразователь; каррагинан; дикорастущие ягоды; десерты; определенная консистенция; рецептурные компоненты

**G. O. SABADOSH, P. P. GAVRILKO**

### **REGULARITIES OF STRUCTURE FORMATION IN DESSERT TECHNOLOGY**

The paper describes and analyzes the technologies of dessert products with a jelly-like structure, discusses the theoretical background for using a structurant in the technology of dessert products with a jelly-like structure, in particular, kappa-carrageenan – berry prefabricated, structurant, from wild berries for desserts with specific texture and prescription ingredients. The technology of berry semi-finished product from wild berries of the Transcarpathian region was modeled for use in the composition of dessert products, the concentration of sugar is scientifically grounded to increase the strength of model gels. It is confirmed that galactomannans exhibit synergism with kappa-carrageenan, which allows to regulate not only the strength of gels, but also syneresis.

**Keywords:** berry prefabricated; structurant; carrageenan; wild berries; desserts; specific texture; prescription ingredients

**Вступ.** Ефективність функціонування закладів ресторанного господарства визначається впровадженням конкурентноздатних ресурсозберігаючих технологій, можливістю переробки сировини з різними властивостями при забезпеченні стабільної якості продукції. Дикорослі ягоди, якими багаті сировинні ресурси Закарпатського регіону, є справжньою скарбницею біологічно активних речовин (БАР). Останніми дослідженнями доведено, що за складом і вмістом фенольних речовин вони значно випереджають культурні сорти. Враховуючи хімічний склад та лікувально-профілактичну дію дикорослих ягід, використання їх при виробництві продукції ресторанного господарства, дозволить підвищити її біологічну цінність, антиоксидантні властивості.

Однак, сучасні технології, хоча і дозволяють виготовляти харчові продукти із дикорослих ягід, недостатньо використовують їх корисний хімічний склад. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є створення нових технологій виробництва десертної продукції підвищеної якості, що містять інгредієнти з дикорослих ягід, які дозволяють забезпечити

населення збалансованою продукцією з підвищеною харчовою цінністю.

**Мета роботи.** Метою роботи є розробка технології десертів для закладів ресторанного господарства з використанням дрібнодисперсного напівфабрикату з ягід чорниці, ожини, брусниці імуномодельною дією, вивчення їх якості за органолептичними показниками.

Одним із основних показників якості гелеподібної продукції є міцність гелю, а також величина синерезису. Регулювання функціональних властивостей гелеподібної продукції за рахунок використання полісахаридів та їх сумішей є високоефективним та перспективним.

**Постановка проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Серед широкого різноманіття харчових продуктів солодкі страви були і лишаються однією з найбільш споживаних. Особливою популярністю серед споживачів через свої високі смакові і харчові переваги користується драглеподібні солодкі страви, (креми, желе, мармелад власного виробництва,

© Сабодош Г.О., Гаврилко П.П., 2019

самбуки, пудинги, лукум) що обумовлено разом з їх високими органолептичними і естетичними показниками, варіюванням харчової і енергетичної цінності [1–6]. Недоліком їх є те, що вони містять незначну кількість біологічно активних речовин і при їх виготовленні використовуються синтетичні кольорові речовини, які часто є шкідливими для організму людини. При виготовленні гелеподібних страв використовують, в основному, імпорتنі загусники такі як желатин, пектин, метилцеллоза тощо. У зв'язку з цим актуальним є пошук і введення компонентів при виготовленні желейних страв, які б мали високі желеуючі властивості, високий вміст біологічно активних речовин і покращували колір готового продукту [3, 4, 7–11].

Інжиніринг технології солодких страв, показав, що через різні чинники – тривалість і трудомісткість технологічного процесу виробництва і підготовки окремих компонентів рецептурної суміші, нестабільність властивостей сировини, короткочасного терміну зберігання й реалізації готової продукції, відсутності напівфабрикатів високого ступеню готовності – асортимент солодких страв обмежений або формується за рахунок виробів, що виготовляються підприємствами харчової промисловості [9].

Харчова цінність гелеподібних солодких страв, як один з головних показників якості продукту, визначається складом рецептурних компонентів та смаковими властивостями [12–15]. Цінність представляють ті страви, до складу яких входять свіжі органічні плоди і ягоди, як джерело вітамінів, мінеральних елементів, органічних кислот, ряду біологічно активних речовин, також вони мають велике значення у харчуванні людини, особливо дітей, так як до складу плодів і ягід входять легко засвоювані елементи – глюкоза і фруктоза.

Для обґрунтування технології десертів з використанням карагінанів необхідно провести комплекс експериментальних досліджень:

– вивчити вплив технологічних чинників на структурно-механічні властивості гелів із використанням карагінанів;

– науково обґрунтувати технологічний процес драгелеподібних солодких страв з додаванням ягідного н/ф.

**Результати досліджень.** Вміст речовин функціонального призначення (геле утворювачів) достатньо невеликий, але вони відіграють важливу роль на всіх етапах технологічного процесу і значною мірою сприяють як формуванню, так і стабілізації структури гелеподібних страв. Текстура гелеподібних солодких страв забезпечується введенням в рецептуру структуроутворювачів полісахаридної природи – карагінану. Із червоних водоростей карагінан одержують уже більше 100 років. Екстрагують його з таких водоростей: фуруцеларії, філофори, хондруса, еухеуми, гігартини, У чистому вигляді можуть бути одержані тільки

основні типи карагінанів: капа, йота, лямбда, які й використовуються в харчовій промисловості:

– капа-карагінан утворює щільний, термозворотний, міцний, але крихкий гель зі значним синерезисом. Використовується переважно для виробництва десертів;

– йота-карагінан утворює еластичний, термозворотний, високотиксотропний гель без синерезису. Використовується у виробництві гамбургерів, м'яких желе та ін.;

– лямбда-карагінан не утворює гелю, характеризується високими в'язкістю та швидкістю розчинення. Використовується у виробництві швидкокорозчинних вершків, молочних шейків тощо.

Важливим є те, що їх використання забезпечує стабільність показників якості готової продукції протягом всього терміну зберігання й реалізації. Для досягнення цієї мети використовують різного роду гелеутворювачі, а також їхні композиції. Так, наприклад, композиція, що складається з суміші карагінанів, камеді ріжкового дерева, може застосовуватися при виробництві ягідних напівфабрикатів десертів, для кондитерських виробництв, як наповнювач для кондитерських кремів. Хоча карагінани не є поверхнево-активними речовинами, вони здатні стабілізувати дисперсні системи типу емульсій і суспензій завдяки їх загущаючим і тиксотропним властивостям, що перешкоджає поділу системи. Зміна текучих властивостей рідкої дисперсної системи в присутності карагінанів приводить не тільки до її стабілізації, але і до формування визначеної консистенції [4].

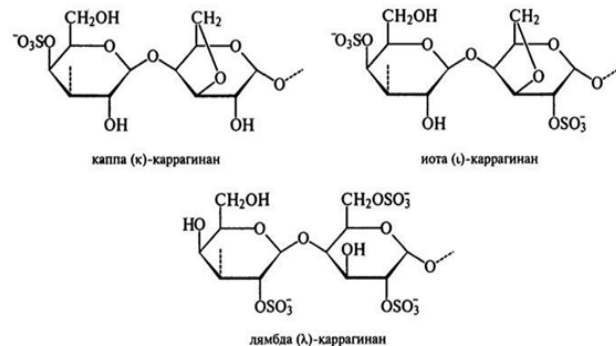


Рис. 1. Фрагменти молекул карагінанів за фракціями

З метою регулювання текстури ягідних напівфабрикатів, розроблено композицію, яка складається з карагінану, камеді ріжкового дерева, та може використовуватися у виробництві фруктових мас, фруктових десертів, пудингів, парфе та ін. До того ж, дана композиція забезпечує пастоподібну консистенцію, високу в'язкість, стійкість до механічних впливів, відсутність синерезису [3].

В результаті проведених досліджень був запропонований спосіб виробництва десерту



«Трембіта», приготованого на основі знежиреного молока та напівфабрикату дикорослих ягід, один з 3-х видів: Яфіна-fest, Кам'янка-fino, Ожина Анти-стрес 15...30%. Введення в рецептуру ягідного напівфабрикату з дикорослих ягід (рис. 2), дозволяє отримати виріб з гарними органолептичними показниками, з підвищеною харчовою цінністю.

Так запропонований виріб, за вмістом вітамінів та мінералів, перевищує традиційний в 10–15 разів завдяки лікувальним властивостям сировини (дикорослі ягоди Закарпатського регіону) – молочної,

янтарної, бензойної, саліцилової кислот, та може бути рекомендований як продукт оздоровчої дії. Високі харчові властивості брусниці зумовлені наявністю у них цукрів, органічних кислот: лимонної, яблучної, пектинові й дубильні речовини, глікозиди арбутин і вакцинін, провітамін А, вітамін С, природний консервант бензойну кислоту. Ожина має протизапальні, бактерицидні, заспокійливі, кровоочисні загально зміцнювальні властивості. Рекомендують вживати при порушеннях нервової системи, склерозі, недокрів'ї, застуді.



Рис. 2. Приклади дикорослих ягід для ягідних напівфабрикатів

В плодах чорниці міститься багато дубильних речовин, рутину. Вживання ягід чорниці покращує кровообіг у сітчатці ока, загострює нічний зір. Сік і ягоди чорниці мають бактерицидні властивості, кислоти ягід поліпшують процеси травлення і запобігають відкладанню в порожнині суглобів солей щавлевої кислоти.

Подрібнення ягід в пюре відбувається до розміру часток  $(0,4...0,8) \cdot 10^{-3}$  м. Пюре є дрібнодисперсною масою, яка у своєму складі містить підвищену кількість структурних полісахаридів: целюлози, геміцелюлози, пектинових речовин.

Таблиця 1 – Харчова цінність ягідного напівфабрикату

Харчові речовини	Кількість на 100 г продукту
Білки	3,20
Жири	0,06
Вуглеводи	16,70
Харчові волокна	1,60
Органічні кислоти	1,50
Моно- і дисахариди	1,70
Крохмаль	0,60
Зола	0,10

Обов'язковим компонентом десертної продукції є цукор, який здатен впливати на міцність гелів. Установлено, що цукор в інтервалі концентрацій 2,5...15,0% підвищує міцність гелів капа-карагінану. Видно, що залежність міцності гелів капа-карагінану від концентрації цукру має лінійний характер.

Паралельність залежностей 1-4 (рис. 3) свідчить про однаковий і постійний механізм впливу цукру на технологічну систему, що досліджується. Так, уведення цукру в концентрації до 15% сприяє збільшенню міцності гелів капа-карагінану в 1,37; 1,26; 1,06; 1,07 рази за концентрацій капа-карагінану 0,4, 0,6, 0,8, 1,0% відповідно.

Більш суттєвий вплив цукру спостерігається за низьких концентрацій капа-карагінану, імовірно, це пов'язано з дегідратуючою дією цукру, що й сприяє підвищенню міцності гелів. Зі збільшенням концентрації капа-карагінану, який також асоціює навколо себе значну кількість води, зменшується вплив дегідратуючої дії цукру та відповідно темпи підвищення міцності гелів. [3].

Установлення закономірностей структуроутворення є незавершеним без впливу цього чинника на водовідділяючу здатність (ВВЗ). З метою регулювання процесів синерезису гелів капа-карагінану було визначено водовідділяючу здатність (ВВЗ) гелів від концентрації капа-карагінану та гідроколідів, таких як камедь рожкового дерева.

Доведено, що зі збільшенням концентрації капа-карагінану зменшується ВВЗ. Так, ВВЗ 0,3% гелю капа-карагінану складає  $47,0 \pm 1\%$ , зі збільшенням концентрації до 1,0% ВВЗ зменшується до  $7,4 \pm 0,3\%$ , тобто в 6,4 рази (рис. 4).

Це, імовірно, пов'язано з тим, що зі збільшенням концентрації капа-карагінану в системі, частина його не бере участі в утворенні спіралей та відповідно сітки гелю, а знаходиться у вільному

стані, що зменшує кількість виділеної води.

Збільшення концентрації капа-карагінану з метою зменшення синерезису є нераціональним та

приводить до зменшення варіабельності системи, зокрема в регулюванні текстурних властивостей готової продукції.

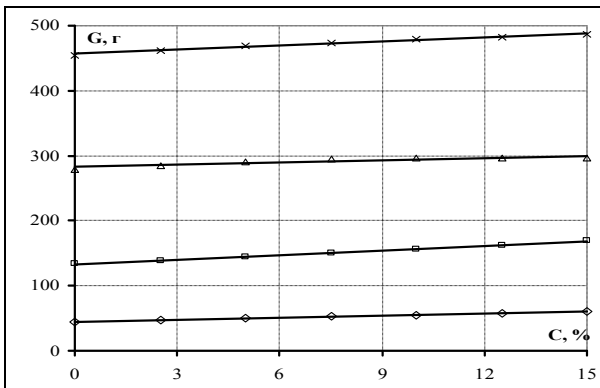


Рис. 2. Залежність міцності гелів капа-карагінану від вмісту цукру за концентрацією (С, %) капа-карагінану: 1, 2, 3, 4 – 0,4; 0,6; 0,8; 1,0% відповідно

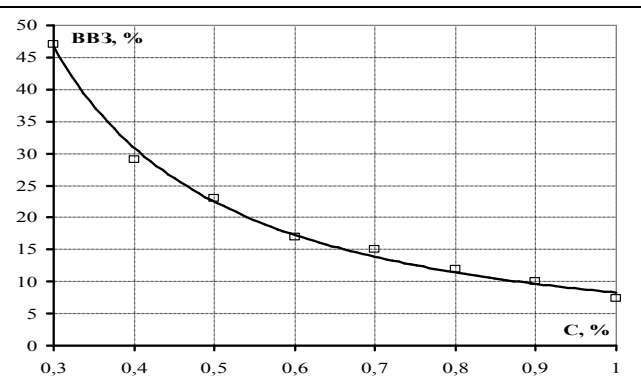


Рис. 3. Залежність ВВЗ гелів від концентрації (С, %) капа-карагінану

Таким чином, для регулювання текстурних властивостей та ВВЗ перспективним є використання у складі капа-карагінанових гелів гідроколоїдів.

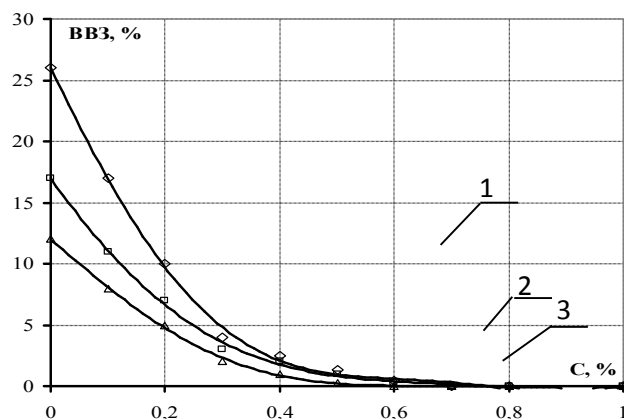


Рис. 5. Залежність ВВЗ гелів капа-карагінану від вмісту КРД за концентрацій капа-карагінану: 1, 2, 3 – 0,4; 0,6; 0,8% відповідно

Визначено ВВЗ гелів капа-карагінану за введення 0,1...1,0% камеді ріжкового дерева (КРД). Встановлено, що за вмісту капа-карагінану 0,4, 0,6 та 0,8% відсутність синерезису досягається введенням 0,6 та 0,5% КРД відповідно (рис. 5).

#### Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку

На основі проведених досліджень встановлено, що введення галактомананів у системи на основі капа-карагінану підвищує температуру плавлення гелів, яка корелює їх з міцністю.

Підтверджено, що галактоманани проявляють синергізм із капа-карагінаном, що дозволяє регулювати не тільки міцність гелів, але й синерезис.

Визначено, що найбільш раціональним є використання камеді ріжкового дерева (КРД).

Визначено, раціональне співвідношення КРД: капа-карагінан, що складає 0,4...0,45:0,6...0,55, за якого досягається максимальна міцність гелів.

Встановлено доцільність використання пюреподібного ягідного напівфабрикату з дикорослих ягід у виробництві солодких страв. Доведено, що за рахунок його додавання зникає необхідність у використанні синтетичних ароматизаторів; позитивно впливає на структурно-механічні показники готових страв.

#### Список літератури

1. Прокопов А. Ю. Физико-химические основы получения пищевых продуктов с пенной структурой: монография / А. Ю. Прокопов. – Кемерово, 2001. – 172 с.
2. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2. Справочные таблицы содержания жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / под ред. проф., д-ра техн. наук И. М. Скурихина и проф., д-ра мед. наук М. Н. Волгарева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат. 1987. – 224 с.
3. Сабадош Г. О. Визначення основних фізико-хімічних показників якості молочних десертів з пінною структурою / Г. О. Сабадош // Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х.: ХДУХТ, 2010. – Вип. 1 (11). – С. 97–103.
4. Сабадош Г. О. Технологія десертів молочних з використанням карагінанів [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Сабадош Ганна Олександрівна. – Х., 2010. – 154 с.
5. Steigman A. A. Dietary Fiber is fundamentally functional / A. A. Steigman // Cereal foods world. 2003. – Vol. 48, 3. – P. 128–132.

6. Прокопов А. Ю. Использование особенностей пенообразующих свойств молочного сыра в производстве продуктов с полидисперсной структурой / А. Ю. Прокопов, И. И. Романцов // Молочная промышленность Сибири: материалы второго специализированного конгресса. – Барнаул, 2000, с. 54–56.
7. Новиков Р. С. Исследование и разработка технологии взбивных продуктов на основе цельного молока с использованием растительного сырья: дисс. ... канд. техн. наук / Новиков Р. С. – Кемерово, 2002. 140 с.
8. Кирьянова А. А. Использование гидроколлоидов в молочном производстве / А. А. Кирьянова, И. Л. Корецкая // Молочное дело. 2006. – № 2, – с. 44–45.
9. Касторных М. С. Молочный коктейль на основе пахты и молочной сыворотки / М.С. Касторных // Современная технология сыроделия и безтоход. перераб. молока. – Ереван, 1989, – с. 318–319.
10. Наука в СевКавГТУ [Электронный ресурс]: / Вестник СевКавГТУ. – Режим доступа : <<http://science.ncstu.ru>>.
11. Neiser S. Gel formation in heat-treated bovine serum albumin-k-carrageenan system / S. Neiser, K. I. Draget, O. Smidsrod // Food Hydrocolloids. 2000. – Vol. 14, № 2, – pp. 95–110.
12. ДСТУ 3946-2000. Продукція харчова. Основні положення. – К.: Держспоживстандарт України, 2000.
13. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи). [текст] підручник. / С.І. Бухкало. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.
14. 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.С., І.М. Демидов та ін. – К.: ЦНЛ, 2016. 470 с.
15. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести). 2-ге вид. доп.: ч. 2, [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2018. 108 с.
4. Sabadosh G. O. Tehnologiya desertiv molochnih z vikoristannym karaglaniv : dis. ... kand. tehn. nauk / Sabadosh Ganna Oleksandrivna. – H., 2010. 154 p.
5. Steigman A. A. Dietary Fiber is fundamentally functional / A. A. Steigman // Cereal foods world. 2003. – Vol. 48, 3, – pp. 128–132.
6. Prosekov A. Ju. Ispol'zovanie osobennostej penoobrazujushhijh svojstv molochnogo syr'ja v proizvodstve produktov s polidispersnoj strukturoj / A. Ju. Prosekov, I. I. Romancov // Molochnaja promyshlennost' Sibiri : materialy vtorigo specializirovannogo kongressa. – Barnaul, 2000. – S. 54–56.
7. Novikov R. S. Issledovanie i razrabotka tehnologii vzbivnyh produktov na osnove cel'nogo moloka s ispol'zovaniem rastitel'nogo syr'ja: diss. ... kand. tehn. nauk / Novikov R. S. – Kemerovo, 2002. 140 p.
8. Kir'janova A. A. Ispol'zovanie gidrokolloidov v molochnom proizvodstve / A. A. Kir'janova, I. L. Koreckaja // Molochnoe delo. 2006. – № 2, – pp. 44–45.
9. Kastornyh M. S. Molochnyj koktejl' na osnove pahty i molochnoj syvorotki / M.S. Kastornyh // Sovrem. tehnologija syrodelija i beztohod. pererab. moloka. – Erevan, 1989, – pp. 318–319.
10. Nauka v SevKavGTU [Elektronnyj resurs] : / Vestnik SevKavGTU. Rezhim dostupa : <<http://science.ncstu.ru>>.
11. Neiser S. Gel formation in heat-treated bovine serum albumin-k-carrageenan system / S. Neiser, K. I. Draget, O. Smidsrod // Food Hydrocolloids. 2000. – Vol. 14, № 2, – pp. 95–110.
12. DSTU 3946-2000. Produkcija harchova. Osnovni polozhennja. – Kii'v : Derzhspozhivstandart Ukraini, 2000.
13. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. / S.I. Buhkalo. – K.: CNL, 2014. 456 p.
14. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi). 2-ge vid. dop. [tekst] pidruchnik. / L.L. Tovazhnjanskij, S.I. Buhkalo, A.C. Denisova, I.M. Demidov ta in. – K.: CNL, 2016. 470 p.
15. Buhkalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislivosti u prikladah i zadachah (prikladi ta testi). 2-ge vid. dop.: ch. 2, [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2018. 108 p.

#### Bibliography (transliterated)

1. Prosekov A. Ju. *Fiziko-himicheskie osnovy poluchenija pishhevijh produktov s pennoj strukturoj : monografija* / A. Ju. Prosekov. – Kemerovo, 2001. 172 p.
2. Chemical composition of food products. Kn. 2. Reference tables for the maintenance of fatty acids, vitamins, macro-and trace elements, organic acids and carbohydrates, ed. Prof. Dr. Tekhn. Sciences I. M. Skurikhin and prof., Dr. Honey. Sciences M. N. Volgarev. - 2nd ed., Pererab. and add - M.: Agropromizdat. 1987. 224 p.
3. Sabadosh G. O. *Viznachennja osnovnih fiziko-himichnih pokaznikiv yakosti molochnih desertiv z plnnoju strukturoju* / G.

Надійшло (received) 23.06.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Сабодаш Ганна Олександрівна (Sabadosh Anna Aleksandrovna, Sabadosh Ganna Oleksandrivna)** – Ужгородський торговельно-економічний інститут КНТЕУ, доцент кафедри технології і організації ресторанного господарства; м. Ужгород, Україна, тел.: +380991991176; e-mail: [aasaa30@ukr.net](mailto:aasaa30@ukr.net).

**Гаврилко Петро Петрович (Gavrilkov Petr Petrovich)** – Вінницький торговельно-економічний інститут КНТЕУ, магістр; м. Ужгород, Україна, [morv77@ukr.net](mailto:morv77@ukr.net)

**O. P. PRISHCHENKO, T. T. CHERNOGOR**

## USING OF METHODS OF CROSS-CORRELATION AND REGRESSIVE ANALYSIS FOR DETERMINATION OF FUNCTIONAL DEPENDENCE BETWEEN SIZES

In article it is told about use of methods of correlation and regression analysis when determining functional dependence between values. When studying different objects of a research in laboratory or working conditions there is a need of establishment of the most probable interrelations and interdependence between two or more variable. Sometimes it happens simply as communication easily is found or is in advance known from any theoretical premises. However identification of such communications between different indicators, factors is much more often, signs is extremely difficult task. Researchers face need of introduction of some hypothesis of the nature of communication in the form of functional dependence, i.e. approximation by its some rather simple mathematical expression, for example, linear equation or a polynomial. Methods of correlation and regression analyses are very useful to search of such mathematical functional or structural dependences between two or more variable (on the saved-up experimental data).

**Keywords:** correlation analysis; regression analysis; functional dependence; approximation; mathematical expression; linear equation; correlation coefficient; thermopower thermocouple.

**O. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР**

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ КОРЕЛЯЦІЙНОГО І РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВЕЛИЧИНАМИ

У статті визначені можливості використання методів кореляційного і регресійного аналізу функціональної залежності між величинами. При вивченні різних об'єктів експериментального дослідження в лабораторних або виробничих умовах виникає необхідність встановлення найбільш вірогідних взаємозв'язків і взаємозалежностей між двома або більше змінними. Іноді це буває просто, оскільки зв'язок легко виявляється або заздалегідь відомий з яких-небудь теоретичних передумов. Проте набагато частіше виявлення таких зв'язків між різними показниками, факторами, ознаками є надзвичайно складним. Дослідники стикаються з необхідністю введення деякої гіпотези про характер зв'язку у вигляді функціональної залежності, тобто апроксимації її деяким відносно простим математичним вираженням, наприклад, лінійним рівнянням або многочленом. Для пошуку таких математичних функціональних або структурних залежностей між двома або більше змінними (за накопиченими експериментальними даними) дуже корисні методи кореляційного і регресійного аналізів.

**Ключові слова:** кореляційний аналіз; регресійний аналіз; функціональна залежність; апроксимація; математичний вираз; лінійне рівняння; коефіцієнт кореляції; термоелектр. термопари.

**O. П. ПРИЩЕНКО, Т. Т. ЧЕРНОГОР**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕЛЯЦИОННОГО И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНАМИ

В статье обозначены возможности использования методов корреляционного и регрессионного анализа функциональной зависимости между величинами. При проведении эксперимента часто приходится сталкиваться с необходимостью установления взаимозависимости между двумя или несколькими величинами с целью получения эмпирической формулы. В некоторых случаях это оказывается простой задачей, так как эти связи практически наглядны или заранее известны. Как правило, установить взаимосвязь между различными показателями, факторами и признаками, далеко не тривиальная задача. Возникает необходимость использования некоторой гипотезы в виде функциональной зависимости. Другими словами, необходимо заменить эту функциональную зависимость достаточно простым математическим выражением. Таким математическим выражением может быть линейное уравнение или многочлен. Для того чтобы, используя данные эксперимента, определить такую математическую или функциональную зависимость между переменными, применяют методы корреляционного и регрессионного анализов.

**Ключевые слова:** корреляционный анализ; регрессионный анализ; функциональная зависимость; аппроксимация; математическое выражение; линейное уравнение; коэффициент корреляции; термоэле. термопары.

**Introduction.** When studying various research objects in a laboratory or production environment, it becomes necessary to establish the most likely relationships and interdependencies between two or more variables.

Sometimes this happens simply because the connection is easily detected or is known in advance from any theoretical premises. However, it is much more often to identify such links between various indicators, factors, signs is extremely difficult.

**Statement of the problem in general and its connection with important scientific or practical problems.** Researchers face need of introduction of some hypothesis of the nature of communication in the form of functional dependence, i.e. approximation by its some rather simple mathematical expression, for example, linear equation or a polynomial.

Methods of correlation and regression analyses are very useful to search of such mathematical functional or structural dependences between two or more variable (on the saved-up experimental data).

Correlation analysis gives the answer to a statistical hypothesis about absence or existence of communication between variables with some beforehand the set confidential probability.

Definition of functional dependence between different values (in the simplest case  $y$  from  $x$ ) on their experimental values is carried out by means of regression analysis. Widely known least-squares method is its cornerstone. Offering this or that equation of regression, the researcher defines both existence of dependence between variables, and its mathematical look.

© Prishchenko O.P., Chernogor T.T., 2019

**Presentation of the main research material.**

**1. Correlation coefficient.** The concept of “correlation” comes from the Latin word correlatio - correlation. In mathematical statistics, correlation refers to any relationship between two or more variable random variables.

The presence or absence of a connection between two random variables in the first approximation is judged by the correlation field (Fig. 1).

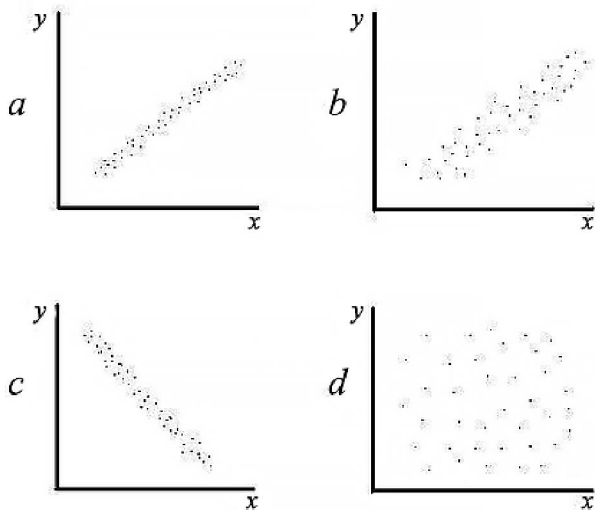


Fig. 1. Correlation field of two random variables: with a different nature of correlation: a – strong positive; b – weak positive; c – strong negative; d – absence

A positive correlation between random variables characterizes such a probabilistic dependence, at which with the increase of one of them the other will also increase on average (Fig. 1, a). With a negative correlation with an increase in one random variable, the other decreases on average (Fig. 1, c). Correlation analysis allows us to estimate the closeness of the relationship of various parameters or factors affecting the process. In general, the task of identifying and assessing the strength of communication in mathematical statistics has not been solved. There are only indicators that allow to evaluate one or another side of a random connection. Of these, the most important indicators is the correlation coefficient.

If we assume that  $m$  tests have been carried out and the values of two random variables  $x_i$  and  $y_i$  were noted for each, then the sample correlation coefficient will be equal to:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(m-1)S_x S_y}, \quad (1)$$

where  $S_x, S_y$  – standard deviations.

The correlation coefficient is a dimensionless quantity whose modulus does not exceed one.  $r_{xy} \leq 1$ . For independent values  $x$  and  $y$   $r_{xy} = 0$  means no linear

relationship. Equality  $|r_{xy}| = 1$  indicates the presence of a linear relationship between the quantities at which each  $x$  value only one matches  $y$ .

The correlation coefficient is a rather rough estimate of the closeness of the connection, which makes sense only with a linear relationship between the parameters. Even with a high correlation coefficient, it is impossible to draw reliable conclusions about the presence of a statistical connection, since the simultaneous adjustment of parameters leads to their artificial (false) correlation. Similarly, a small correlation coefficient is not always a consequence of the lack of connection between the parameters, but may be the result of a non-linear nature of the relationship.

**2. Construction of a mathematical model based on the results of the experiment.** A mathematical model is a relationship between parameters and process factors, obtained theoretically or experimentally. The mathematical model is compact and convenient for researching and managing the actual process.

The use of a mathematical model allows:

- choose the optimal technological mode of the process;
- reduce the research plan in the development of production technology;
- create a process control system.

In the experimental study of functional dependence  $y$  on  $x$  produce a series of measurements of magnitude  $y$  at various values  $x$ .

Results can be presented in the form of tables or graphs. The task is to provide an analytical representation of the desired functional dependence, that is, to select a formula that describes the results of the experiment.

The peculiarity of the problem is that the presence of random measurement errors (or, as they say, the presence of 'noise' in the experiment) makes it impossible to select a formula that accurately describes all the experimental values.

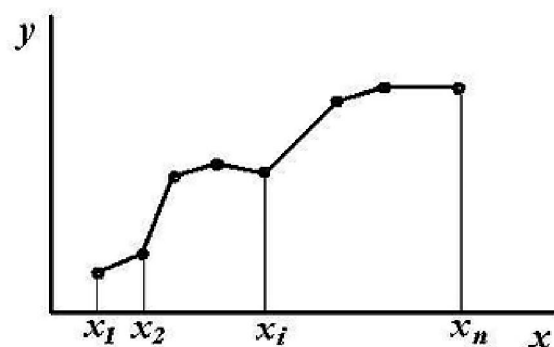


Fig. 2. An example of the variation of experimental points

So, for example, sequential connection of all experimental points with straight line segments will give a very complex dependence (Fig. 2). Therefore, the graph of the desired function should not pass through all points, but should, if possible, smooth out the “noise”.

Smoothing “noise” will be the more accurate and reliable, the more experiments will be performed.

First of all, the researcher must choose the type of curve for which he will look for an approximating equation. The following is for reference a few of the most common types of approximating curves and their corresponding equations:

straight line  $y = b_0 + b_1x$ ; (2)

square parabola  $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$ ; (3)

n-degree parabola  
 $y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n$ ; (4)

hyperbole  
 $y = 1/b_0 + b_1x$  или  $1/y = b_0 + b_1x$ ; (5)

logarithmic curve  $y = b_0 + b_1 \lg x$ . (6)

Of course, many other types of curves can be applied. In order to decide which approximation to use, one should study the correlation field and compare the location of the experimental points with the shape of the curves corresponding to different equations.

The shape of some of them is shown in Figure 3.

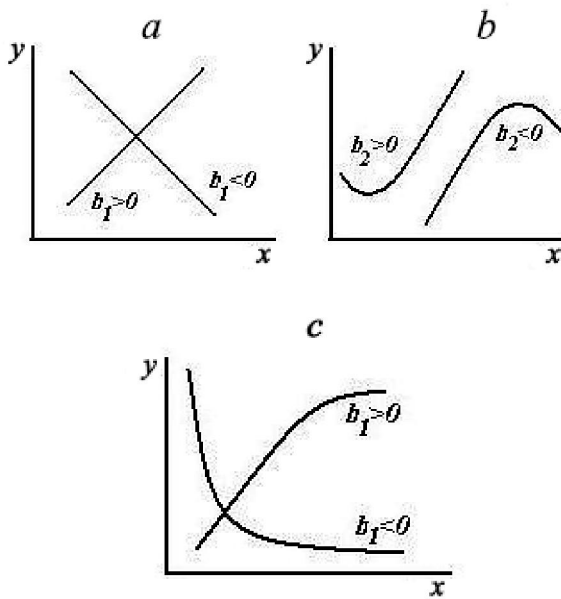


Fig. 3. Forms of various regression curves:

a)  $y = b_0 + b_1x$  if  $b_1 > 0$ ,  $b_1 < 0$ ;

b)  $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$  if  $b_2 > 0$ ,  $b_2 < 0$ ;

c)  $y = b_0 + b_1 \lg x$  if  $b_1 > 0$ ,  $b_1 < 0$ .

The form of communication is not mathematically selected. One can only check how adequate the form of connection chosen by the researcher is to the experimental points.

Thus, the task is reduced to determining the parameters of the equation  $b_0$ ,  $b_1$  etc. In addition, the type of formula can be known in advance from the theoretical description of the object being modeled.

Denote the selected functional dependence through the equation:

$$y = f(x_i; \tilde{\beta}_i), \tag{7}$$

where  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $\tilde{\beta}_i$  – experimental estimates of the parameters of the equation.

This equation is called the regression equation, and the expectation of this functional dependence

$$M(y_i) = M[f(x_i; \tilde{\beta}_i)] \tag{8}$$

called regression.

The word “regression” entered into the statistics of Francis Galton (1822–1911) – English mathematician. Finding parameter estimates and studying the resulting models are called regression analysis.

The resulting equation is called the empirical formula, and the parameter estimates for the function  $f$  is called estimation of empirical formula parameters.

**3. Determination of the regression equation by the method of least squares.** One of the most common methods of regression analysis is the least squares method, the first presentation of which was given by the French mathematician Adrien Marie Alexander (1752–1833) and further developed by the German scientist Karl Friedrich Gauss (1777–1855).

For the simplest, single-factor case the response function or the regression equation when we have two variable random variables  $y$  and  $x_1$  is:

$$y = b_0 + b_1x_1. \tag{9}$$

This is a straight line equation. The purpose of determining the parameters of the empirical formula is the calculation of unknown coefficients  $b_0$  and  $b_1$ .

If all the experimental points were strictly on a straight line, then each of them would be true:

$$y_i - b_0 - b_1x_{1i} = 0. \tag{10}$$

where  $i = 1, 2, \dots, n$  – number of experience.

In practice, this equality is violated, instead you have to write:

$$y_i - b_0 - b_1x_{1i} = \Delta y_i, \tag{11}$$

where  $\Delta y_i$  – the difference between the experimental and calculated by the regression equation values  $y$  at the  $i$  experimental point. This value is sometimes called the discrepancy.

Denoting by  $\hat{y}$  the calculated value of the function (according to the regression equation), we get:

$$\hat{y} = b_0 - b_1 x_{i1}, \quad (12)$$

$$y_i - \hat{y}_i = \Delta y_i. \quad (13)$$

The discrepancy  $\Delta y_i$  arises for two reasons:

- 1) experiment error;
- 2) unsuitability of the model.

Moreover, these reasons are mixed and without additional information it is impossible to decide which of the reasons prevails. For this purpose, methods are used to estimate the errors of experience and the suitability of the model (the adequacy of the model).

Always seek to find regression coefficients at which the residuals will be minimal. Here is one of the possible entries:

$$U = \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2 = \min. \quad (14)$$

It leads to the least squares method.

The smallest cubes method is also possible:

$$\sum_{i=1}^n |\Delta y_i^3| = \min. \quad (15)$$

A method is also possible in which the sum of modules (absolute values) of residuals is minimized:

$$\sum_{i=1}^n |\Delta y_i| = \min. \quad (16)$$

The condition (14) underlying the least squares method is considered the most successful compromise.

When setting up an experiment, more experiments are usually conducted than the number of unknown coefficients. Therefore, the system of linear equations

$$\begin{cases} \Delta y_1 = y_1 - b_0 - b_1 x_{11}, \\ \Delta y_2 = y_2 - b_0 - b_1 x_{12}, \\ \dots \\ \Delta y_i = y_i - b_0 - b_1 x_{1i}. \end{cases} \quad (17)$$

is often controversial.

If all the experimental points lie on a straight line, then only then the system becomes defined and has a unique solution with respect to  $b_0$  and  $b_1$ .

The method of least squares has the remarkable property that makes any arbitrary system of equations

defined. The number of equations is equal to the number of unknown coefficients. The regression equation is:  $y = b_0 + b_1 x_1$ . It has two unknown meanings ( $b_0$  and  $b_1$ ).

Using the least squares method, we rewrite equation (14) otherwise:

$$U = \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_{i1})^2 = \min. \quad (18)$$

It is known that the minimum of some function, if it exists, is achieved while the partial derivatives over all unknowns are equal to zero, that is:

$$\frac{\partial U}{\partial b_0} = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial b_1} = 0. \quad (19)$$

Calculate partial derivatives:

$$\begin{cases} -2 \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_{i1}) = 0, \\ -2 \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_{i1}) x_{i1} = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Open brackets, convert:

$$\begin{cases} nb_0 + \sum_{i=1}^n x_{i1} b_1 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ \sum_{i=1}^n x_{i1} b_0 = \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 b_1 = \sum_{i=1}^n y_i x_{i1}. \end{cases} \quad (21)$$

This system is called a system of normal equations. Formulas for calculating  $b_0$  and  $b_1$  are convenient to find with the help of determinants.

The final formulas are:

$$b_0 = \frac{\sum y_i \sum x_{i1}^2 - \sum y_i x_{i1} \sum x_{i1}}{n \sum x_{i1}^2 - (\sum x_{i1})^2}. \quad (22)$$

$$b_1 = \frac{n \sum y_i \sum x_{i1} - \sum y_i \sum x_{i1}}{n \sum x_{i1}^2 - (\sum x_{i1})^2}. \quad (23)$$

Let us now see how the sums included in these formulas are calculated. To perform the calculations form a matrix of experimental results, as shown in Table 1.

Table 1. Results of an experiment

Number of experience	$x_1$	$y$	$x_{i1}^2$	$y x_{i1}$	$y^2$	$x_1 + y$	$(x_1 + y)^2$
1	$x_{11}$	$y_1$	$x_{11}^2$	$y_1 x_{11}$	$y_1^2$	$x_{11} + y_1$	$(x_{11} + y_1)^2$
2	$x_{12}$	$y_2$	$x_{12}^2$	$y_2 x_{12}$	$y_2^2$	$x_{12} + y_2$	$(x_{12} + y_2)^2$
...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$x_{1n}$	$y_n$	$x_{1n}^2$	$y_n x_{1n}$	$y_n^2$	$x_{1n} + y_n$	$(x_{1n} + y_n)^2$
$\Sigma$	$\Sigma x_{i1}$	$\Sigma y_i$	$\Sigma x_{i1}^2$	$\Sigma y_i x_{i1}$	$\Sigma y_i^2$	-	$\Sigma (x_{i1} + y_i)^2$

It can be seen that more calculations have been made than are required for the calculation  $b_0$  and  $b_1$ . They are marked with an asterisk. These “extra” data are needed to verify the correctness of the calculations. There are two ways to check:

1) condition is checked

$$\sum(x_i + y_i)^2 = \sum x_i^2 + 2\sum y_i x_i + \sum y_i^2; \quad (24)$$

2) the test can be carried out by the following equation

$$\bar{y} = b_0 + b_1 \bar{x}_i. \quad (25)$$

The second method is the most complete and tough.

With its help not only the sum calculation, but also the coefficients is checked. In practice, both checks are used. It must be borne in mind that no verification is guaranteed against errors in the recording of the original data. Therefore, you need to be careful when rewriting the original data.

Example. During testing, a chromel-alumel thermocouple at constant (reference) points – metal crystallization temperatures Pb (327,5 °C), Zn (419,6 °C), Al (660,0 °C), The corresponding thermopower data are obtained accordingly: 12,1 MV; 16,0 MV; 26,1 MV. It is necessary to calculate the regression equation for the linear dependence of temperature on the thermocouple thermopower values. Decision. Create a table 2 to calculate the regression coefficients:

Table 2. Calculation of regression coefficients

Number of experience	$x$	$y$	$x^2$	$x \cdot y$
1	12,1	327,5	146,4	3962,75
2	16,0	419,6	256,0	6713,6
3	26,1	660,0	681,2	17226,0
$\Sigma$	54,2	1407,1	1083,6	27902,3

$$b_0 = \frac{1407,1 \cdot 1093,6 - 27902,3 \cdot 54,2}{3 \cdot 1083,6 - 54,2^2} = 39,75.$$

$$b_1 = \frac{3 \cdot 27902,3 - 1407,1 \cdot 54,2}{3 \cdot 1083,6 - 54,2^2} = 23,76.$$

Thus, we have obtained the regression equation:  $y = 39,75 + 23,76x$ , which allows us to calculate the temperature (°C) from the thermocouple readings.

#### Conclusions and development prospects of this direction.

Often, when studying the topic “Functions of several variables” from the course of higher mathematics, one has to solve problems of a general nature. But for students of the Educational and Scientific Institute of Chemical Technology and Engineering, of greater interest are the tasks that are directly related to their specialty.

Thus, considering the tasks similar to those given in this article, we will increase the interest and motivation of future specialists to study this material.

#### References

1. Высшая математика в примерах и задачах : уч. пособ. : Т. 2 / Ю.Л. Геворкян, Л.А. Балака, С.С. Габриелян и др. ; под ред. Ю.Л. Геворкяна. – Х. : Підручник НТУ «ХП», 2011. – 376 с.
2. Вища математика в прикладах і задачах : у 2 т. Т. 2 : Диференціальне та інтегральне числення функцій багатьох змінних. Диференціальні рівняння та ряди : навч. посіб. / Л.В. Курпа, Н.О. Кириллова, Г.Б. Лінник та ін. ; за ред. Л.В. Курпи. – Харків : НТУ «ХП», 2009. – 432 с.
3. Геворкян Ю.Л. Краткий курс высшей математики : учеб. пособ. : в 2 ч. Ч. 2 / Ю.Л. Геворкян, А.Л. Григорьев, Н.А. Чикина. – Х. : Підручник НТУ «ХП», 2011. – 476 с.
4. Диференціальні рівняння та їх застосування : н.-мет. посіб. / Прищенко О.П., Черногор Т.Т. – Х. : НТУ «ХП», 2017. – 88 с.
5. Ерёмин В. В. Математика в химии. – 2-е изд., испр. / В.В. Ерёмин. – М. : МЦНМО, 2016. – 64 с.
6. Збірник розрахунково-графічних завдань з вищої математики : у 2 ч. Ч. 2 / Н.О. Чікіна, А.М. Гайдаш, В.Д. Крупка та ін. ; за ред. Н.О. Чікіної. – Х. : Підручник НТУ «ХП», 2013. – 216 с.
7. Методические указания к решению расчетных заданий по теме «Дифференциальные уравнения и их приложения» по курсу высшей математики для студентов химических специальностей / сост. А.М. Мануйлова, Е.И. Орлова, Т.Т. Черногор и др. – Харьков : ХПИ, 1989. – 76 с.
8. Прищенко О. П., Черногор Т. Т. Аналіз прикладів застосування диференціальних рівнянь в хімічній та харчовій технології // Вісник НТУ «ХП». – Харків : НТУ «ХП», 2018. – № 40 (1316). – с. 39 – 45.
9. Прищенко О.П., Черногор Т.Т., Бухало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – с.320.
10. Прищенко О.П., Черногор Т.Т. Деякі особливості проведення регресійного аналізу Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – с. 319.
11. Скатецкий В.Г. Математические методы в химии : учеб. пособ. для студентов вузов / В.Г. Скатецкий, Д.В.



- Свиридов, В.И. Яшкин. – Минск : ТетраСистемс, 2006. – 368 с.
12. Тевяшев А.Д. Вища математика у прикладах та задачах : у 3 ч. Ч. 3 : Диференціальні рівняння. Ряди. Функції комплексної змінної. Операційне числення : навч. посіб. / А.Д. Тевяшев, О.Г. Литвин. – Харків : ХНУРЕ, 2002. – 596 с.
  13. Бухкало С. І. Деякі моделі процесів хімічного спінивання вторинного поліетилену // *Вісник НТУ «ХП»*. Х.: НТУ «ХП». 2017. № 18 (1240). – С. 35–45.
  14. Бухкало С. І. *Загальна технологія харчової промисловості: тестові завдання* (підручник з грифом МОНУ). Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 412 с.
  15. Бухкало С. І., Іглін С. П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 3. – С. 52–57.
  16. Бухкало С.І. Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 4. – с. 29–33.
  17. Бухкало С.І. Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // *Вісник НТУ «ХП»*. – Х.: НТУ «ХП». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
  18. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доповідей ХХVI міжн. н-пр. конф. MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. Х.: НТУ «ХП». 205 с.
  19. Бухкало С.І., Іглін С.П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 3. – С. 52–57.
  20. Бухкало С.І., Білоус О.В., Демидов І.М. Розробка комплексного антиоксиданту із екстрактів листя горіху волоського та календули. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. № 1/6(73), – с. 22–26. – Х.: Технол. центр.
  21. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. *Chemical Engineering Transactions*, Vol.70, (2018), – pp.2047–2052.
  4. Diferencial'ni rivnjannja ta ih zastosuvannja : navch.-metod. posib. / Prishhenko O.P., Chernogor T.T. – Harkiv : NTU «HPI», 2017. – 88 p.
  5. Erjomin V. V. *Matematika v himii*. – 2-e izd., ispr. / V.V. Erjomin. – M. : MCNMO, 2016. – 64 p.
  6. Zbirnik rozrahunkovo-grafichnih zavdan' z vishhoi matematiki : u 2 ch. Ch. 2 / N.O. Chikina, A.M. Gajdash, V.D. Krupka ta in. ; za red. N.O. Chikinoi. – Harkiv : Vid-vo «Pidruchnik NTU «HPI», 2013. – 216 p.
  7. Metodicheskie ukazanija k resheniju raschetnyh zadaniij po teme «Diferencial'nye uravnenija i ih prilozhenija» po kursu vysshej matematiki dlja studentov himicheskikh special'nostej / sost. A.M. Manujlova, E.I. Orlova, T.T. Chernogor i dr. – Har'kov : HPI, 1989. – 76 p.
  8. Skateckij V.G. *Matematicheskie metody v himii : ucheb. posob. dlja studentov vuzov* / V.G. Skateckij, D.V. Sviridov, V.I. Jashkin. – Minsk : TetraSistems, 2006. – 368 p.
  9. Tevjashev A.D. *Vishha matematika u prikladah ta zadachah : u 3 ch. Ch. 3 : Diferencial'ni rivnjannja. Rjadi. Funkcii kompleksnoi zminnoi. Operacijne chislennja : navch. posib.* / A.D. Tevjashev, O.G. Litvin. – Harkiv : HNURE, 2002. – 596 p.
  10. Buhkalo S. I. Dejaki modeli procesiv himichnogo spinjuvannja vtorinnogo polietilenu // *Visnik NTU «HPI»*. H.: NTU «HPI». 2017. № 18 (1240), pp. 35–45.
  11. Buhkalo S. I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislivosti: testovi zavdannja (pidruchnik z grifom MONU), Kiiv: Centr uchbovoi literaturi, 2014. – 412 p.
  12. Buhkalo S. I., Iglin S. P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri eksploatacii polimernih virobiv. *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja*. H.: NTU «HPI», 2016. № 3, –pp. 52–57.
  13. Buhkalo S.I. Dejaki vlastivosti polimernih vidhodiv u jakosti sirovini dlja energo- i resursozberigajuchih procesiv // *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja*. – H.: NTU «HPI». 2014. – № 4, – pp. 29–33.
  14. Buhkalo S.I. Modeli energetichnogo miksu dlja utilizacii polimernoj chastki TPV // *Visnik NTU «HPI»*. – H.: NTU «HPI». 2016. – № 19 (1191), – pp. 23–32.
  15. S. Bukhhalo, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018r. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. H. :NTU «HPI»*. – 205 p.
  16. Buhkalo S.I., Iglin S.P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri eksploatacii polimernih virobiv. *Integrovani tehnologii ta energozberezhennja*. H.: NTU «HPI», 2016. № 3, –pp. 52–57.
  17. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo ta kalendulr. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*. No.1/6(73), (2015), – pp. 22–26. Harkiv : «Tehnolog. centr».
  18. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. “Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization”. *Chemical Engineering Transactions*, Vol.70, (2018), – pp.2047–2052.

#### References (transliterated)

1. Vysshaja matematika v primerah i zadachah : ucheb. posob. : T. 2 / Ju.L. Gevorkjan, L.A. Balaka, S.S. Gabrieljan i dr. ; pod red. Ju.L. Gevorkjana. – Har'kov : Pidruchnik NTU «HPI», 2011. – 376 s.
2. Vishha matematika v prikladah i zadachah : u 2 t. T. 2 : Diferencial'ne ta integral'ne chislennja funkcij bagat'oh zminnih. Diferencial'ni rivnjannja ta rjadi : navch. posib. / L.V. Kurpa, N.O. Kirillova, G.B. Linnik ta in. ; za red. L.V. Kurpi. – Harkiv : NTU «HPI», 2009. – 432 p.
3. Gevorkjan Ju.L. Kratkij kurs vysshej matematiki : ucheb. posob. : v 2 ch. Ch. 2 / Ju.L. Gevorkjan, A.L. Grigor'ev, N.A. Chikina. – Har'kov : Vid-vo «Pidruchnik NTU «HPI», 2011. – 476 p.

Надійшла (received) 23.04.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Прищенко Ольга Петрівна (Прищенко Ольга Петровна, Prishchenko Olga Petrivna)** – асистент кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0530-2131> e-mail: priolga2305@gmail.com

**Черногор Тетяна Тимофіївна (Черногор Татьяна Тимофеевна, Chernogor Tetjana Timofiyivna)** – старший викладач кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7823-7628> e-mail: tatyanchernogor54@gmail.com

**Н. М. НІМЕЦЬ, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, О. Д. НІМЕЦЬ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИДОБУВАННЯ ВУГЛЕВОДНІВ ШЛЯХОМ ВИВЧЕННЯ СУМІСНОСТІ СУПУТНИХ ПЛАСТОВИХ ВОД ПРИ ПОВЕРНЕННІ В НАДРА**

У матеріалах представлені можливості оцінки сумісності супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ для попередження аварійних ситуацій при поверненні цих вод у надра. Оцінено варіанти підготовки супутньо-пластових вод для підвищення екологічної безпеки процесу повернення. Підтверджено зменшення концентрації заліза (II), що сприяє кольматації, погіршенню поглинання пласта-колектора і як наслідок виникнення аварійних ситуацій. Запропоновано використання тест-методів для оцінки вмісту заліза (II) та йоду для можливості швидкого реагування на можливий розвиток подій для підвищення екологічної безпеки на пунктах повернення супутньо-пластових вод. Екологічна безпека є основою процесу видобування вуглеводнів на всіх етапах технологічного циклу в тому числі і повернення СПВ у надра.

**Ключові слова:** супутньо-пластові води; сумісність; поглинаючий горизонт; мінералізація; йод; залізо; пінополіуретан; науково обґрунтовані методи; пласт-колектор; екологічна безпека.

**Н. Н. НЕМЕЦЬ, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, А. Д. НЕМЕЦЬ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ ПУТЕМ ИЗУЧЕНИЯ СОВМЕСТИМОСТИ ПОПУТНО-ПЛАСТОВЫХ ВОД ПРИ ВОЗВРАЩЕНИИ В НЕДРА**

В материалах представлены возможности оценки совместимости попутно-пластовых вод нефтегазоконденсатных месторождений для предотвращения аварийных ситуаций при возврате этих вод в недра. Оценены варианты подготовки попутно-пластовых вод для повышения экологической безопасности процесса возврата. Подтверждено уменьшение концентрации железа (II), что способствует кольматации, ухудшению поглощений пласта-коллектора и как следствие возникновение аварийных ситуаций. Предложено использование тест-методов для оценки содержания железа (II) и йода для возможности быстрого реагирования на возможное развитие событий для повышения экологической безопасности на пунктах возврата попутно-пластовых вод. Экологическая безопасность есть основой процесса добычи углеводородов на все этапах технологического цикла, в том числе и возврате ППВ в недра.

**Ключевые слова:** попутно-пластовые воды; совместимость; поглощающий горизонт; минерализация; йод; железо; пенополиуретан; научно обоснованные методы; пласт-коллектор; экологическая безопасность.

**N. N. NEMETS, T. V. BRUSENCEVA, A. D. NEMETS**

**ENHANCING THE ECOLOGICAL SAFETY OF THE HYDROCARBONS PRODUCTION BY LEARNING THE COMPATIBILITY OF ASSOCIATED PLASTIC WATERS WHEN RETURNING TO THE SUBSOIL**

This paper describes the possibilities of assessing the associated formation waters of oil and gas condensate deposits compatibility to prevent emergencies when returning to the subsoil. The possible options for mixing the return waters with the waters of the intake formation, the optimal conditions for the preparation of associated formation waters to improve the environmental safety of the return process have been evaluated. A decrease in the concentration of iron (II) as a result of ozonization of water, the presence of which contributes to clogging, the deterioration of the carrier bed intake and, as a result, the accidents, has been confirmed. It is proposed to use test methods for assessing the iron (II) and iodine content in order to be able to quickly respond to possible developments in order to improve environmental safety at the return points of formation water. Ecological safety is the basis of the process of hydrocarbon production at all stages of the technological cycle of hydrocarbon production, including the return of the associated formation waters to the subsoil.

**Keywords:** associated formation waters; compatibility; lost circulation horizon; salinity; iodine; iron; polyurethane foam; scientifically based methods; carrier bed; environmental safety.

**Вступ.**

**Повернення супутньо-пластових вод** – актуальне завдання для виробничих об'єктів нафтогазовидобувних підприємств. У відповідності до Водного Кодексу України [1], супутньо-пластові води, це води, що надходять на поверхню разом з нафтою і газом. У багатьох випадках ці води агресивні, викликають інтенсивну корозію нафтопромислового обладнання та споруд, порушують герметичність свердловин, в результаті чого можливі витіки вод при їх зборі, підготовці, поверненні, а також забруднення ґрунтів, питних джерел, загибелі рослинності.

В останні роки збільшився попит на розробку технологій підготовки води у світових

нафтогазовидобувних компаній. До методів, що найбільш використовуються для утилізації супутньо-пластових вод відноситься подальша очистка і подальше використання для технологічних потреб – в системі підтримання пластового тиску (повернення в пласт), або для приготування бурових розчинів і розчинів реагентів. Сприятливим з екологічної та економічної точки зору є заводнення продуктивних горизонтів.

Накопичений досвід повернення супутньо-пластових вод у глибокі поглинаючі горизонти: вони повинні мати значне розповсюдження за площею, високі ємнісні і фільтраційні характеристики, бути приуроченими до зони

© Німець Н.М., Брусенцева Т.В., Німець О.Д., 2019

застійного або уповільненого гідродинамічного режиму, обладнаними витриманими водоупорами, що виключають гідравлічний зв'язок пласта-колектора з іншими водоносними горизонтами. Обов'язковою умовою повинна бути сумісність складу супутньо-пластових вод з водами поглинаючого горизонту. В іншому випадку відбувається відкладення солей в призабійній зоні пласта нагнітальної свердловини, що негативно впливає на приймальну здатність пласта.

Особлива увага приділяється хімічній сумісності води, що повертається у надра. Для екологічно безпечного ведення процесу повернення супутньо-пластових вод встановлено граничні показники вмісту деяких компонентів, зокрема сульфатів, заліза, механічних домішок.

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

**1. Аналіз сучасного стану проблеми.** Повернення супутньо-пластових вод (СПВ) у надра необхідно розглядати як відновлення природного середовища геологічного об'єкта. Спосіб повернення СПВ є найефективнішим способом, який відповідає вимогам екологічної безпеки та законодавству щодо охорони надр та навколишнього середовища. Такий захід повинен мати пріоритетне значення, а його реалізація не повинна суперечити діючим нормативам, а навпаки має бути привабливою для додаткових інвестицій, кредитів та податкових пільг. Саме це передбачено Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» ст. 48 [2] щодо стимулювання підприємств при впровадженні ними сучасних природоохоронних чи ресурсозберігаючих технологій. При розробці нафтогазових родовищ особливу актуальність набуває проблема сумісності СПВ і вод поглинаючого пласта. Комплексна система оцінки СПВ, включає практичні і теоретичні дослідження, лабораторні дослідження, моделювання та ін. Результати отримані після проведення відповідних досліджень, дозволяє ефективно оцінювати методи захисту обладнання від солевідкладення, кольматації пласта та надавати рекомендації по поліпшенню процесу повернення і підвищення екологічної безпеки в рамках підготовки проектно-технологічної документації і при здійсненні екологічного моніторингу розробки нафтогазо-конденсатних родовищ [4–20]. Дослідження обумовлене проблемою

екологічної безпеки видобутку вуглеводневої сировини, поверненні супутньо-пластових вод, побічного продукту видобутку. Вивчення сучасних методів утилізації, знешкодження, покращення процесу повернення супутньо-пластових вод, досліджень кількісного та якісного складу сумішей що можуть бути утворені при змішуванні супутньо-пластових вод і вод поглинаючого пласта.

**2. Визначення основних критеріїв дослідження.** Супутньо-пластова вода є побічним продуктом видобутку газу, конденсату та нафти і, який складається з природної водонасиченої частини продуктивного горизонту, а також контурних і підшовних вод, які підпирають поклад і надходять у газonosні поклади із зниженням тиску. Вони - не технологічний цільовий продукт і при підготовці для використання вуглеводневої сировини виникає необхідність їх утилізації. Речовини, що входять до складу СПВ, належать до шкідливих для навколишнього середовища, води не піддаються очищенню до гранично-допустимих концентрацій сучасними хімічними і біохімічними методами від мінеральних компонентів, що в них знаходяться. За цих умов СПВ не підлягають скиданню на поверхню ґрунту та у відкриті водоймища. Тому їх повертають у виснажені пласти, де вони повинні сумішатися з водами пласта, не визиваючи утворення осадів і закупорювання порового простору. Для оцінки сумісності вод при поверненні в надра та технологічних аспектів поводження з ними в хімічному складі СПВ визначаються такі компоненти: аніони (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), катіони (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>); мікрокомпоненти: амоній-іон, нітрат-іон, нітрит-іон; іони йоду та бром, залізо (II), залізо (III); вміст вільної вугільної кислоти, метанолу, нафтопродуктів, величина мінералізації, водневий показник (рН). Основними завданнями при підготовці до повернення СПВ у надра є підтримка, крім інших показників, необхідного вмісту сульфат-іонів, заліза в окисній формі та іонів йоду [3]. На основі закордонного, вітчизняного досвіду та згідно СОУ 09.1-30019775-004:2013 [3] граничні рівні по вмісту регламентуючих компонентів є такими: сульфат-іон – до 1500 мг/дм<sup>3</sup>; залізо в окисній формі – до 10 мг/дм<sup>3</sup>; завислі речовини (ЗР) – згідно розрахунковій величині.

Хімічний склад супутньо-пластових вод розглянемо на прикладі СПВ Медведівського газоконденсатного родовища свердловини №63 (таблиця 1).

Таблиця 1 – Фізико-хімічний склад супутньо-пластових вод Медведівського газоконденсатного родовища

Аніон	мг/дм <sup>3</sup>	мг-екв/дм <sup>3</sup>	% екв.	Катіон	мг/дм <sup>3</sup>	мг-екв/дм <sup>3</sup>	% екв.
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	817,4	13,4	0,12	Ca <sup>2+</sup>	44488,8	2220,0	20,64
Cl <sup>-</sup>	189925,0	5350,0	49,76	Mg <sup>2+</sup>	4920,0	410,0	3,82
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	595,2	12,4	0,12	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	63153,4	2745,8	25,54
Сума	191337,6	5375,8	50,0	Сума	112562,2	5375,8	50,0
I <sup>-</sup>	173,3			Fe <sup>2+</sup>	62,0		
Br <sup>-</sup>	1482,6			Fe <sup>3+</sup>	63,5		
H <sub>2</sub> S	відс.						
Густина 1,226 г/см <sup>3</sup> рН 5,5				Мінералізація 303899,0 мг/дм <sup>3</sup> 303,899 г/дм <sup>3</sup>			

Хімічний склад пластових вод поглинаючого горизонту розглянемо на прикладі триасового горизонту Єфремівського родовища, де обладнано

пункт повернення СПВ в тому числі і тих що надходять з Медведівського газоконденсатного родовища свердловини №63 (таблиця 2).

Таблиця 2 – Фізико-хімічний склад пластових вод поглинаючого горизонту

Місце відбору	Густина, г/см <sup>3</sup>	рН	Хімічний склад, мг/дм <sup>3</sup>								
			Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	аніони				катіони			
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
Поглинаючий горизонт (1181-1179 м) Проба №1	1,047	6,3	166434,46	101805,66	59,68	305,00	відс.	59276,52	3406,8	1580,8	

\*Сірководень (H<sub>2</sub>S) – відсутній

Відомо що, сульфат-іон гіпсу із рідини випадає в осад, коли добуток активності компонентів, що утворюють сіль, вище добутку розчинності згідно М.В. Зільберману [21]. Таким чином, гранична величина концентрації вмісту сульфат-іону повинна визначатися конкретно для води на кожному пункті по поверненню СПВ.

Вважають, що вміст заліза не залежить від величини мінералізації, а закисна форма заліза відноситься до агресивних компонентів по відношенню до металу. Використання інгібіторів корозії сприяє зниженню швидкості корозії. Закисна форма заліза переходить в окисну при контакті води з киснем. При відсутності вільного кисню і закритій технологічній схемі процес окислення сповільнюється і може закінчитися вже після очищення води. Очищення води до необхідного ступеню при поверненні у продуктивний пласт досягають тривалим механічним відстоюванням і фільтрацією. Закисне залізо знаходиться у розчиненому стані. На кольматацию поглинаючого пласта впливає тільки окисне залізо, кількість якого у СПВ необхідно регламентувати.

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

Завислі речовини, які знаходяться у складі СПВ, мають різне походження. Частина їх виноситься із продуктивних пластів разом з рідиною, що видобувається. Більша частина завислих речовин утворюється внаслідок процесу окислення закисного заліза в окисне. За своїм складом завислі речовини розподіляються на мінеральні та органічні. До мінеральних домішок відносяться пісок, глинисті частинки, гідроксид заліза та інші; до органічних – нафтопродукти, деемульгатори та інші.

За фізичним станом завислі речовини поділяються на такі: - нерозчинені, які знаходяться у вигляді крупної суспендованої речовини або емульсії

(розмір цих часток складає від десяти до декілька сот мікрометрів);- колоїдні ( з розміром часток від 0,1 до 0,01 мкм); - розчинені молекулярно-дисперсні частки (система однофазна).

Для оцінки сумісності визначено хімічний склад вод родовища (табл. 1) і хімічний склад СПВ (табл. 2).

Відповідно до хімічних аналізів мінералізація СПВ, у нижченаведених таблицях, дозволяє віднести їх до мінералізованих вод. Водневий показник рН характерний для мінералізованих вод слабкокислої реакції середовища. Вірогідність активних хімічних процесів у такому водному середовищі зведені до мінімуму.

Збільшені значення концентрації заліза (II) знижуються в процесі окислення за участю кисню повітря. СПВ будуть накопичуватися в ємностях, що додатково затримуватимуть іони заліза (III). Значення вмісту іонів заліза (II) буде поступово зменшуватись за рахунок переходу у залізо (III), загальний термін досягнення нормативних концентрацій сягає 2,8 дб.

Основними причинами утворення осаду є – збільшення рН пластових та змішування несумісних вод. Найбільш розповсюдженими солями, що ускладнюють процес повернення СПВ, є сульфати та карбонати кальцію. Імовірність відкладення цих солей визначається розрахунковим методом за результатами аналізу складу вод.

За результатами хімічного аналізу встановлено, що сірководень (H<sub>2</sub>S) у воді відсутній, тому випадіння осаду сульфідів заліза не відбувається

*Розрахунок імовірності утворення осаду сульфату кальцію*

Головною умовою сумісності СПВ із пластовими водами є наявність у них сульфат-іонів, концентрація яких повинна бути недостатньою для утворення осаду. Якщо їх концентрація в СПВ менше концентрації таких у пластовій воді, то випадання в осад гіпсу не повинно відбуватися. Навпаки, у випадку перевищення цих концентрацій можливе випадання гіпсу в осад [21].

Для оцінки можливості випадіння сульфату кальцію із пластових вод газових, газоконденсатних,

нафтових родовищ існує ряд методів [22, 23], оснований на розрахунку насиченості вод цією сіллю.

Згідно методу Н.Д. Шустефа та Б.В. Озоліна [22,23], рівноважну концентрацію сульфат-іонів розраховують за формулою:

$$C_{SO_4^{2-}} = 108/\rho^2 C_{Ca^{2+}}, \quad (1)$$

Таблиця 3 – Концентрації компонентів (мг/л); мінералізація, величина рН і густина при змішуванні СПВ і ВПП у різних співвідношеннях

Іони	СПВ	ВПП	Суміш 1:9	Суміш 2:8	Суміш 3:7	Суміш 4:6	Суміш 1:1	Суміш 6:4	Суміш 7:3	Суміш 8:2	Суміш 9:1
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	63153,4	59276,52	59664,21	60051,90	60439,58	60827,27	61214,96	61602,65	61990,34	62378,02	62765,71
Ca <sup>2+</sup>	44488,8	3406,8	7515,00	11623,20	15731,40	19839,60	23947,80	28056,00	32164,20	36272,40	40380,60
Mg <sup>2+</sup>	49,20	1580,8	1427,64	1274,48	1121,32	968,16	815,00	661,84	508,68	355,52	202,36
Cl <sup>-</sup>	189925,0	101805,7	110617,6	119429,5	128241,5	137053,4	145865,3	154677,3	163489,2	172301,1	181113,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	595,2	59,68	113,23	166,78	220,34	273,89	327,44	380,99	434,54	488,10	541,65
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	817,4	305,00	356,24	407,48	458,72	509,96	561,20	612,44	663,68	714,92	766,16
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.
H <sub>2</sub> S	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.	відс.
Мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	303,899	166,434	179,694	192,9534	206,213	219,472	232,732	245,991	259,251	272,510	285,770
рН	5,5	6,3	6,22	6,14	6,06	5,98	5,9	5,82	5,74	5,66	5,58
Густина, ρ, г/см <sup>3</sup>	1,226	1,047	1,065	1,083	1,101	1,119	1,137	1,154	1,172	1,190	1,208

На рис. 1 наведено отриману залежність зміни концентрацій при змішуванні зразків 1 і 2, взятих у різних співвідношеннях, що дозволяє визначити концентрації основних іонів у будь-якому варіанті суміші.

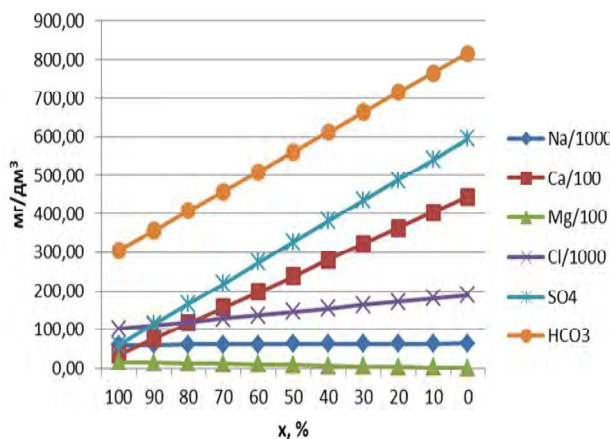


Рис. 1. Залежність зміни концентрацій катіонів і аніонів суміші СПВ і ВПП при їх різних співвідношеннях

За формулою 1 розраховано рівноважну концентрацію сульфат-іонів та співставлено з фактичною концентрацією сумішей зразків 1 та 2 (табл. 4).

Із співставлення видно, що рівноважна концентрація значно вище фактичної, тому осад сульфату кальцію не випадатиме при змішуванні у різних співвідношеннях зразків 1 і 2.

де  $C_{SO_4^{2-}}$ ,  $C_{Ca^{2+}}$  – концентрація іонів  $SO_4^{2-}$  та  $Ca^{2+}$  відповідно у мг-екв/100 г;  $\rho$  – густина розчину, г/см<sup>3</sup>.

Розрахунковим методом було визначено концентрації іонів у сумішах розчинів зразку СПВ та вод поглинаючого пласта (ВПП) у різних співвідношеннях (табл. 3).

Таблиця 4 – Результати розрахунків фактичної і рівноважної концентрації  $SO_4^{2-}$  для суміші СПВ:ВПП

Співвідношення СПВ:ВПП	Концентрація Ca <sup>2+</sup> , мг-екв/100г	Фактична концентрація SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-екв/100г	Рівноважна концентрація SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг-екв/100г
1:9	170,00	0,696415	< 1,24
2:8	375,00	0,326657	< 2,36
3:7	580,00	0,218400	< 3,47
4:6	785,00	0,166774	< 4,58
1:1	990,00	0,136599	< 5,70
6:4	1195,00	0,116836	< 6,81
7:3	1400,00	0,102732	< 7,92
8:2	1605,00	0,092428	< 9,04
9:1	1810,00	0,074715	< 10,15

Для підтвердження достовірності відсутності утворення осадів сульфату кальцію досліджено критерії, що визначають їх утворення у вигляді нерівності М.В.Зільбермана, [22]:

$$C_{Ca^{2+}} + C_{SO_4^{2-}} \geq \left( 1,52 + 15,8J - 2,5J^2 + 52,5C_{SO_4^{2-}} \right) \cdot 10^{-4} \quad (2)$$

в якій максимально граничні концентрації сульфат-іона в суміші визначаються за рівнянням:

$$C_{SO_4^{2-}} = \frac{1,52 + 15,8J - 2,5J^2}{C_{Ca^{2+}} \cdot 10^{-4} - 52,5} \quad (3)$$

де  $C_{Ca^{2+}}$ ,  $C_{SO_4^{2-}}$  – концентрація іонів кальцію і сульфат-іону, моль/дм<sup>3</sup>;  $J$  – іонна сила розчину, моль/дм<sup>3</sup>.

Іонну силу розчину визначено за рівнянням [21]:

$$J = \frac{C_1 Z_1^2 + C_2 Z_2^2 + \dots + C_n Z_n^2}{2} \quad (4)$$

де  $C$  – концентрація іонів розчину, моль/дм<sup>3</sup>;  
 $Z$  – валентність кожного з присутніх у розчині іонів.

Підставивши у формулу (4) молярні концентрації компонентів, визначено іонну силу розчинів.

За формулою (2) знайдено добуток концентрації іонів кальцію і сульфат-іонів у розчинах і по формулі (3) отримано величину максимальної концентрації сульфат-іону

Результати розрахунків іонної сили розчинів сумішей у різному співвідношенні зразків СПВ і ВПП, добутку концентрації іонів кальцію і сульфат-іонів, максимальної концентрації сульфат-іону і співставлено з концентраціями, що визначені за тест-методом, наведено у табл. 5.

Таблиця 5 – Іонні сили розчину, добутку концентрації іонів кальцію і сульфат-іонів, максимальної концентрації сульфат-іону та оцінка їх концентрації за тест-методом в сумішах зразків СПВ і ВПП

Співвідношення СПВ:ВПП	Іонна сила розчину, моль/дм <sup>3</sup>	Фактичний добуток концентрації Ca <sup>2+</sup> · SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , моль/дм <sup>3</sup>		Критерій (1,52+15,8J-2,5J <sup>2</sup> +52,5C <sub>сos</sub> )·10 <sup>-4</sup>	Фактична концентрація SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , моль/дм <sup>3</sup>	ТМ	Максимальна концентрація SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , моль/дм <sup>3</sup>
1:9	3,354483	2,21E-04	<	2,65E-03	1,18E-03	<	1,45E-02
2:8	3,681103	5,04E-04	<	2,59E-03	1,74E-03	<	9,06E-03
3:7	4,007723	9,01E-04	<	2,48E-03	2,30E-03	<	6,38E-03
4:6	4,334343	1,41E-03	<	2,32E-03	2,85E-03	<	4,70E-03
1:1	4,660963	2,04E-03	<	2,10E-03	3,41E-03	<	3,52E-03
6:4	4,987583	2,78E-03	<	1,83E-03	3,97E-03	<	2,61E-03
7:3	5,314203	3,63E-03	<	1,51E-03	4,53E-03	<	1,87E-03
8:2	5,640823	4,60E-03	<	1,14E-03	5,08E-03	<	1,23E-03
9:1	5,967444	5,68E-03	<	7,08E-04	5,64E-03	<	6,76E-04

Примітка: ТМ – підтверджено тест-методом.

Згідно формули (2) нерівність показує, що фактичний добуток концентрації сульфату кальцію на порядок менше критерію оцінки для всіх співвідношень розчинів. Тому при даному складі суміші 1 + 2 буде постійна і осад сульфату кальцію випадати не буде, оскільки фактична концентрація сульфат-іонів менша за максимальне значення, що розраховане за формулою (3), а також через те, що контакт води, призначеної для повернення з пластовою водою поглинаючого пласта відбувається на початковому етапі повернення. На подальшому просуванні води, що повертаються контактують з попередньо закачаними водами. При цьому діє принцип відтиснення кожної попередньої порції води кожними наступними порціями. Отже два методи підтверджують сумісність СПВ з пластовими водами по сульфат іонах.

Поглиналині свердловини як надійне інженерне спорудження виключають можливість прориву СПВ у водоносні горизонти.

Зона локалізації СПВ навколо поглинальних свердловин до кінця експлуатації об'єкта складе не більше декількох сот метрів. Надійність локалізації СПВ у поглинаючому пласті гарантується не тільки технічним станом свердловин, а геологічними і гідрогеологічними умовами об'єкта.

Виключається можливість негативного впливу процесів повернення СПВ на якість питних і господарсько-побутових вод.

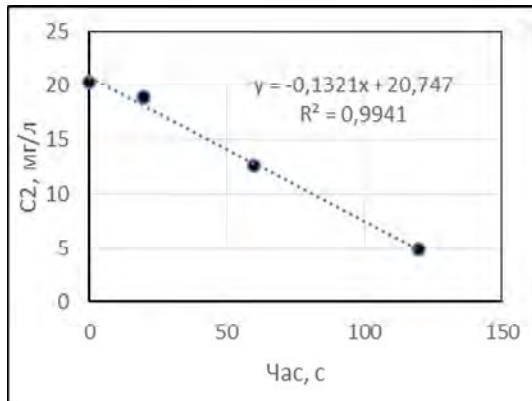
#### Озонування супутньо-пластових вод

При безперервному процесі видобування вуглеводнів потрібно завчасно повертати СПВ у пласт, щоб не відбувалося переповнення відстійників і, як наслідок, забруднення ними навколишнього середовища. Вище було відмічено те, що іони заліза Fe<sup>2+</sup> у закритій системі довго окислюються у Fe<sup>3+</sup> і через тривалий час випадають в осад. Якщо не відстояні сполуки заліза попадають у пласт, вони також, як сульфати чи карбонати кальцію, блокують пори пласта і зумовлюють викиди СПВ у навколишнє середовище. Для запобігання таких викидів необхідно збільшити швидкість перетворення іонів заліза і таким чином зменшувати час відстоювання. Для вирішення такого завдання запропоновано СПВ обробляти озоном, а для підтримання при цьому екологічної безпеки – використовувати низьку концентрацію озону у повітрі, як побуті, тобто озоноване повітря, в якому концентрація озону знаходиться на рівні ≈ 3-6 мг/дм<sup>3</sup>. Також відомо, що для більш ефективного виділення механічних домішок і вуглеводнів використовують флокулянти та коагулянти [24], які спеціально

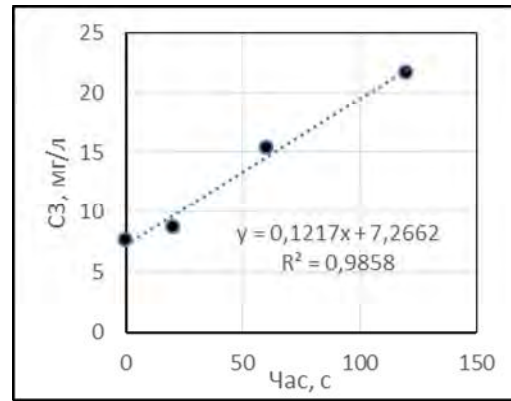
вносять в СПВ. Одним з таких реагентів є солі заліза, які після відповідних хімічних перетворень, у вигляді гідроксиду ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) випадають в осад з прихваченими механічними домішками.

Для озонування використано СПВ Юлівського НГКР і модель супутньо-пластової води складу,

г/дм<sup>3</sup>: калію йодид 0,065; калію бромід 1,3414 натрію хлорид 200; заліза ( $\text{Fe}^{2+}$ ) сульфат 0,1194. До складу промислової СПВ входять завислі речовини концентрації 1500 мг/дм<sup>3</sup>. Результати досліджень змін концентрацій іонів заліза від часу озонування моделі СПВ приведено на рис. 2 (а, б).



а



б

Рис. 2. Зміни концентрацій іонів (а) заліза (II) (C2) і (б) заліза (III) (C3) від часу озонування

На основі змін концентрацій іонів заліза розраховано зменшення іонів двовалентного ( $\Delta C_2 = \text{Fe}_{02} - \text{Fe}_{n2}$ ) і збільшення іонів тривалентного ( $\Delta C_3 = \text{Fe}_{03} + \text{Fe}_{n3}$ ) заліза та одержано залежність (рис. 3), з якої витікає те, що зменшенню іонів заліза (II) відповідає практично таке ж збільшення іонів заліза (III), оскільки у рівнянні регресії  $y = \Delta C_2$  майже не відрізняється від  $x = \Delta C_3$ , що підтверджує коефіцієнт 1,0791 у рівнянні регресії (рис. 3).

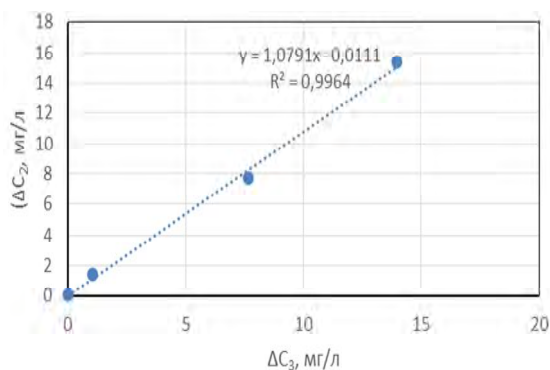


Рис. 3. Залежність змін концентрацій іонів заліза (II)  $\Delta C_2$  від змін концентрацій іонів заліза (III)  $\Delta C_3$

Одержані результати вказують на те, що іони заліза (II) впродовж 180-200 с перетворюються в іони заліза (III). В результаті обробки промислових СПВ озонотрією сумішшю з початковою концентрацією іонів  $\text{Fe}^{2+}$  126 мг/дм<sup>3</sup> і концентрацією завислих речовин (ЗР) 3258 мг/дм<sup>3</sup> ступінь очищення від ЗР через 3 год досягає 82,5 % при залишковій концентрації іонів заліза за тестовим методом менше 10 мг/дм<sup>3</sup>. При відстоюванні 82 % ступінь очищення досягається через 2,8 доби. Зменшення часу відстоювання СПВ перед поверненням в пласт

зумовлює підвищення екологічної безпеки за рахунок запобігання виникненню аварійних ситуацій.

Враховуючи те, що під час озонування для отримання йоду необхідний надлишок озону [24–26], то запропоновано його використовувати для одержання іонів заліза (III). При цьому, як видно з рис.4 повне перетворення іонів заліза (II) в іони заліза (III) відбувається при мольно-іонному відношенні озон :  $\text{Fe}^{2+} = 1.17:1$  через 160 с.

Під час озонування СПВ для одержання йоду, як встановлено у [25–27], в ряді випадків необхідно застосовувати надлишок озону. Для того, щоб зменшити його викиди у навколишнє середовище, враховуючи те, що, як показано вище, цей надлишок озону в озонованому повітрі запропоновано використовувати для перетворення іонів  $\text{Fe}^{2+}$  в іони  $\text{Fe}^{3+}$ , що не тільки дозволяє пришвидшити утворення осадів і зменшення завислих речовин у СПВ, але й зменшити концентрацію озону у відпрацьованому повітрі.

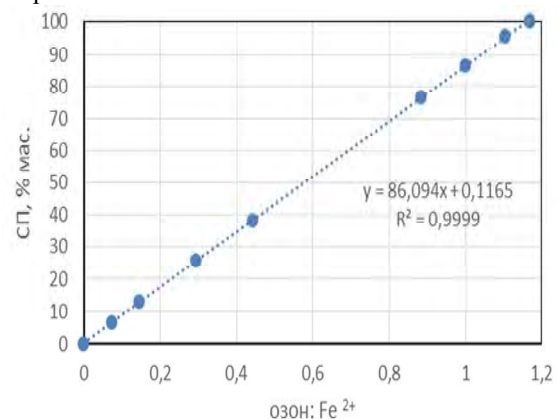


Рис. 4. Ступінь перетворення іонів заліза (II) в іони заліза (III) від мольно-іонного відношення озон:  $\text{Fe}^{2+}$

При озонуванні СПВ тільки для пришвидшення утворення осадів для перетворення  $\text{Fe}^{2+}$  у  $\text{Fe}^{3+}$  необхідно використовувати, як видно з рис. 4, надлишок озону. У такому випадку залишкова концентрація озону у повітрі 0,021 % об. І таким чином ця кількість озону потраплятиме в атмосферу. При дебіті св. 63 (на якій передбачається виробництво йоду) Медведівського ГКР 12 м<sup>3</sup>/добу води з концентрацією іонів  $\text{Fe}^{2+}$  62 мг/дм<sup>3</sup> (62 г/м<sup>3</sup>) продуктивність води 0,5 м<sup>3</sup>/год з 31 г/год (0,555 г-моль/год) іонів заліза.

Для перетворення іонів  $\text{Fe}^{2+}$  у  $\text{Fe}^{3+}$  необхідно 0,555x1,17 = 0,649 г-моль/год (31,17 г/год) озону. Час озонування 160 с. Початкова концентрація озону 3,017 мг/дм<sup>3</sup> повітря. Тоді об'єм повітря з озоном 31170/3,017=10331 л/год (10,3331 м<sup>3</sup>/год). Після озонування у повітрі залишається 46,4 мг/год озону або 46,4/10,331=4,5 мг/м<sup>3</sup>.

При розповсюдженні відпрацьованої озоноповітряної суміші  $\approx 10,3$  м<sup>3</sup>/год (46,35 мг озону) в радіусі 1000 м і висотою 20 м (15,7 млн. м<sup>3</sup>) залишкова концентрація озону (3 10<sup>-6</sup> мг/м<sup>3</sup>) значно менше гранично допустимої концентрації 0,16 мг/м<sup>3</sup> [28] у повітрі населених пунктів. При такій же викідній концентрації озону його концентрація у повітрі робочої зони з діаметром 5,4 м зменшується до 0,1 мг/м<sup>3</sup>, що свідчить про відсутність екологічної небезпеки, яка могла би бути зумовлена з застосуванням озону для видалення іонів заліза і попутно завислих речовин. В той же час у СПВ, присутні іони йоду, які також можуть вступати у взаємодію з озоном.

**Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.** Шляхом дослідження сумісності супутньо-пластових вод (СПВ) і вод поглинаючого пласта (ВПП) при різних співвідношеннях і концентраціях встановлено, що повернення СПВ у пласти не спричинятиме випадіння осадів сульфатів і карбонатів і таким чином сприяє підвищенню екологічної безпеки в порівнянні з тим, якби СПВ направлялись у навколишнє середовище.

Запропоновано для оперативного визначення сумісності залежності між концентраціями іонів і співвідношенням СПВ:ВПП та тест-методи оцінки концентрацій сульфат-іонів, йодид-іонів та іонів заліза.

Обґрунтовано, що повернення СПВ у надра є способом, який сьогодні відповідає вимогам законодавства щодо охорони надр та навколишнього середовища.

Використання тестових експрес-методів підвищує екологічну безпеку повернення СПВ у пласт за рахунок зменшення часу на проведення аналізів щодо вмісту сульфат-іонів та іонів заліза.

СПВ родовища сумісні з пластовими водами поглинаючого пласта-колектора Медведівського

родовища. Первісний хімічний склад пластових вод не зміниться складом СПВ, хімічні реакції між ними виключені.

Суміш СПВ родовища буде стабільною у часі. Осад утворюватись не буде, умови для цього процесу відсутні, оскільки фактична концентрація сульфат-іонів є меншою за максимальне розраховане значення, а контакт СПВ з пластовою водою поглинаючого пласта відбувається на початковому етапі повернення, на подальших етапах повернення СПВ контактують з попередніми водами, які уже були повернуті у пласт-колектор.

Виключається можливість негативного впливу процесу повернення СПВ на якість питних і господарсько-побутових вод, оскільки надійність локалізації СПВ у поглинаючому пласті гарантується не тільки технічним станом свердловин, а геологічними і гідрогеологічними умовами об'єкта згідно загальної характеристики

Повернення СПВ у надра родовища здійснюється згідно розробленого регламенту повернення СПВ у надра, у режимі першої категорії, яка відповідає герметичності усієї технологічної системи від насосу до привибійної зони, з дотриманням вимог чинного природоохоронного законодавства України і не сприяє утворенню додаткових джерел забруднення навколишнього середовища.

Експериментально доведено, що екологічна безпека при поверненні СПВ у поглинаючий пласт підвищується за рахунок їх озонування і зменшення часу відстоювання утвореного осаду.

Встановлено, що під час озонування та частина озону, яка не вступає у реакцію перетворення іонів  $\text{Fe}^{2+}$  в іони  $\text{Fe}^{3+}$  і потрапляє з відпрацьованим повітрям у навколишнє середовище не створює екологічної небезпеки ні у повітрі робочої зони, ні у повітрі населених пунктів.

Виконаний обсяг досліджень і отримані практичні результати дають можливість дослідити та попередити ризики виникнення аварійних ситуацій при поверненні СПВ, зменшити час очистки від речовин, що можуть бути причиною зниження приймальності пласта, підвищити екологічну безпеку при поверненні супутньо-пластових вод у надра.

#### Список літератури

1. Водний кодекс України, 1995.
2. Закон України «Про охорону навколишнього середовища», 1991.
3. СОУ 09.1-30019775-004:2013 Методика визначення привнесених компонентів та вимоги до їх вмісту при поверненні супутньо-пластових вод у надра. – УкрНДІгаз, 2013.
4. Порошин В.Д. Совместимость вод и принципы организации гидрохимического мониторинга разработки месторождения Западная Курна-2 (ИРАК) Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого № 1, 2017, с. 87–92.



5. Трифонов Н.С. Совместимость подземных вод Первомайского нефтегазоконденсатного месторождения, используемых для поддержания пластового давления, с пластовыми водами и породами продуктивных отложений, Всероссийская научная конференция с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидроэкологии Евразии», 23–27 ноября 2015 г., Томск, с. 290–294.
6. Особенности взаимодействия коллекторов, пластовых и технических вод при разработке нефтегазоконденсатного месторождения им. Ю. Корчагина / С.В. Делия, Л.А. Абукова, О.П. Абрамова, С.Н. Попов, И. В. Воронцова, Л.А. Анисимов // Нефтяное хозяйство. 2013. № 3, с. 18–22.
7. Совместимость морской и пластовой воды при поддержании пластового давления на месторождении Северного Каспия / Л.А. Анисимов, А.Ю. Самойленко, М.В. Шарашкина, Л.В. Шумаева, Л.А. Абукова, О.П. Абрамова // Прогноз и разработки нефтегазоносных структур нижнего Поволжья и Северного Каспия. Волгоград. 2012. Вып. 71, с. 229–234.
8. Попов С.Н. Геохимическое взаимодействие пластовых и нагнетаемых вод с трещиноватыми карбонатными коллекторами // Нефтяное хозяйство. 2013. № 5. С. 76–79
9. Кудряшов С. Н. Менеджмент солеотложения на месторождениях «НК «Роснефть»// Нефтегазовое дело: электрон. журн. 2006. № 2. С. 15. URL: [http://ogbus.ru/authors/Kudryashov/Kudryashov\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Kudryashov/Kudryashov_1.pdf)
10. Стратиграфия мезозоя и кайнозоя Широкой площади Северного Каспия (месторождение им. Ю. Корчагина) / В.Н. Манцурова, В.Н. Кривонос, В.Е. Смирнов, Е.Н. Здобнова, В.Е. Кудинова, Л.В. Бубликова. Перспективы нефтеносности Нижнего Поволжья и Азово-Каспийского региона. ООО «ЛукойлНИПИморнефть». Волгоград. 2005. Вып. 64, с. 119–142.
11. Никаноров А. М. Гидрохимия. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. С. 444.
12. Collins A.G. Geochemistry of oilfield waters. Amsterdam - Oxford - New York, Elsevier scientific publishing company, 1975. 496 p.
13. Абрамова О. П., Абукова Л. А., Попов С. Н. Проблемы повышения достоверности компьютерных моделей природного и техногенного солеотложения в геологической среде // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4, 68 с.
14. Исходный состав пластовых вод как основа гидрохимического контроля за разработкой Ачимовских отложений Уренгойского НГКМ / Л.А. Абукова, О.П. Абрамова, А.В. Кошелев, В.А. Ставицкий, Г.С. Ли, М.А. Катаева. ООО «Газпром добыча Уренгой». М.: Недра, 2013. 411 с.
15. Абукова Л.А., Абрамова О.П., Исаева Г.Ю. Факторы контроля качества прогноза солеотложения в нефтепромысловой практике // Георесурсы, геонэнергетика, геополитика: электрон. науч. журнал. 2012. №1(5). С. 9. URL: [http://oilgasjournal.ru/vol\\_5/abukova-isaeva.pdf](http://oilgasjournal.ru/vol_5/abukova-isaeva.pdf)
16. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1972. 280 с.
17. Гаттенбергер Ю. П. Гидрогеология и гидродинамика подземных вод. М.: Недра, 1971. 184 с.
18. Ахундов А.Р., Буряковский Л.А. Новый графический метод определения соотношения объемов и составов смешивающихся вод // Азерб. нефт. хоз. 1965. №8, с. 14–15.
19. Мархасин И.Л., Лейберт Б.М., Баширов Л.Х. О влиянии осадкообразования при смешении закачиваемой воды с пластовой на проницаемость пласта // Вопросы бурения скважин и добычи нефти: сб. науч.тр. / Уфим. нефт. ин-т. 1972. Вып. 8, с. 65–76.
20. Абукова Л.А., Абрамова О.П., Попов С.Н., Анисимов Л.А. Прогноз взаимодействия пород-коллекторов, пластовых и технических вод при разработке нефтегазоконденсатного месторождения им. Ю. Корчагина. Электронный научный журнал Георесурсы. Геонэнергетика. Геополитика, [http://oilgasjournal.ru/vol\\_6/abukova.html](http://oilgasjournal.ru/vol_6/abukova.html)
21. Гаев А.Я. Подземное захоронение сточных вод на предприятиях газовой промышленности. - Л.: Недра, 1981, 166 с.
22. Зверев В.П. Гидрогеологические исследования системы гипс- подземные воды. – М.; Наука, 1967, 124 с.,
23. Ибрагимов Н.Г., Хафизов А.Р., Шайдаков В.В. и др. Осложнения в нефтедобыче – Уфа, 2003, 302с
24. Т.Д. Ланина, В.И. Литвиненко, Б.Г. Варфоломеев. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов. Ухта: 2006, 172 с.
25. Мельник А.П. Щодо використання супутньо-пластових вод газоконденсатних родовищ / С.В. Кривуля, Н. М. Німець// Science without borders, 2016, Vol. 1, pp. 23–29.
26. 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.
27. 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. – Харків, 2016. Вип.45, с.159–168.
28. fat-down.ru-methods losing-weight/ozon

#### Bibliography (transliterated)

1. Vodnij kodeks Ukraїni, 1995.
2. Zakon Ukraїni «Pro ohoronu navkolishn'ogo seredovishha», 1991.
3. SOU 09.1-30019775-004:2013 Metodika viznachennja privnesenih komponentiv ta vimogi do ih vmistu pri povnennni suputn'o-plastovih vod u nadra. – UkrNDIgaz, 2013.
4. Poroshin V.D. Sovmestimost' vod i principy organizacii gidrohimicheskogo monitoringa razrabotki mestorozhdenija Zapadnaja Kurna-2 (IRAK) Vestnik GGTU im. P. O. Suhogo № 1, 2017, pp. 87–92.
5. Trifonov N.S. Sovmestimost' podzemnyh vod Pervomajskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdenija, ispol'zuemyh dlja podderzhanija plastovogo davlenija, s plastovymi vodami i porodami produktivnyh otlozhenij, Vserossijskaja nauchnaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremen-nye problemy gidrogeologii, inzhenernoj geologii i gidroekologii Evrazii», 23–27 nojabrja 2015 g., Tomsk, pp. 290–294.
6. Osobennosti vzaimodejstvija kollektorov, plastovyh i tehniceskij vod pri razrabotke neftegazo-kondensatnogo mestorozhdenija im. Ju. Korchagina / S.V. Delija, L.A. Abukova, O.P. Abramova, S.N. Popov, I. V. Voroncova, L.A. Anisimov // Neftjanoe hozjajstvo. 2013. № 3, pp. 18–22.
7. Sovmestimost' morskoi i plastovoi vody pri podderzhanii plastovogo davlenija na mestorozhdenii Severnogo Kaspija / L.A. Anisimov, A.Ju. Samojlenko, M.V. Sharashkina, L.V. Shumaeva, L.A. Abukova, O.P. Abramova // Prognoz i razrabotki neftegazonosnyh struktur nizhnego Povolzh'ja i Severnogo Kaspija. Volgograd. 2012. Vyp. 71, pp. 229–234.
8. Popov S.N. Geohimicheskoe vzaimodejstvie plastovyh i nagnetaemyh vod s treshhinovatyimi karbonatnymi kollektorami // Neftjanoe hozjajstvo. 2013. № 5. P. 76–79.

9. Kudryashov S. N. Menedzhment soleotlozheniya na mestorozhdeniyah «NK «Rosneft'»// Neftegazovoe delo: jelektron. zhurn. 2006. № 2. P. 15. URL: [http://ogbus.ru/authors/Kudryashov/Kudryashov\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Kudryashov/Kudryashov_1.pdf)
10. Stratigrafija mezozoja i kajnozoja Shirotnoj ploshhadi Severnogo Kaspija (mestorozhdenie im. Ju. Korchagina) / V.N. Mancurova, V.N. Krivosos, V.E. Smirnov, E.N. Zdobnova, V.E. Kudinova, L.V. Bublikova. Perspektivy neftenosnosti Nizhnego Povolzh'ja i Azovo-Kaspijskogo regiona. OOO «LukoilNIPImorneft'». Volgograd. 2005. Vyp. 64, pp. 119–142.
11. Nikanorov A. M. Gidrohimiya. SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. S. 44412. Arutyunyan L. R., Arutyunyan R. S., Hizhnyak S. D., Pahomov P. M. Nekotorye fiziko-himicheskie i kolloidnyie svoystva sistemyi letsitin-etilovyyi spirt-voda. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya*. Tver, TvGU Publ., 2016, no. 2, pp. 125–134.
12. Collins A.G. Geochemistry of oilfield waters. Amsterdam - Oxford - New York, Elsevier scientific publishingcompany, 1975. 496 p.
13. Abramova O. P., Abukova L. A., Popov S. N. Problemy povysheniya dostovernosti komp'juternyh modelej prirodnoho i tehnogennogo soleotlozheniya v geologicheskoy srede // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. № 4, 68 p.
14. Ishodnyj sostav plastovyh vod kak osnova gidrohimicheskogo kontrolja za razrabotkoj Achimovskih otlozhenij Urengoj'skogo NGKM / L.A. Abukova, O.P. Abramova, A.V. Koshelev, V.A. Stavickij, G.S. Li, M.A. Kataeva. OOO «Gazprom dobycha Urengoj». M.: Nedra, 2013. 411 p.
15. Abukova L.A., Abramova O.P., Isaeva G.Ju. Faktory kontrolja kachestva prognoza soleotlozheniya v neftepromyslovoj praktike // Georesursy, geojenergetika, geopolitika: jelektron. nauch. zhurnal. 2012. №1(5). P. 9. URL: [http://oilgasjournal.ru/vol\\_5/abukova-isaeva.pdf](http://oilgasjournal.ru/vol_5/abukova-isaeva.pdf)
16. Karcev A.A. Gidrogeologija neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij. M.: Nedra, 1972. 280 p.
17. Gattenberger Ju. P. Gidrogeologija i gidrodinamika podzemnyh vod. M.: Nedra, 1971. 184 p.
18. Ahundov A.R., Burjakovskij L.A. Novyj graficheskij metod opredeleniya sootnosheniya ob'emov i sostavov smeshivajushihhsja vod // Azerb. nef. hoz. 1965. №8, pp. 14–15.
19. Marhasin I.L., Lejbert B.M., Bashirov L.H. O vlijanii osadkoobrazovaniya pri smeshenii zakachivaemoj vody s plastovoj na pronicaemost' plasta // Voprosy bureniya skvazhin i dobychi nefi: sb. nauch.tr. / Ufim. nef. in-t. 1972. Vyp. 8, pp. 65–76.
20. Abukova L.A., Abramova O.P., Popov S.N., Anisimov L.A. Prognoz vzaimodejstvija porod-kollektorov, plastovyh i tehniceskikh vod pri razrabotke neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya im. Ju. Korchagina. *Elektronnyj nauchnyj zhurnal Georesursy. Geojenergetika. Geopolitika*, [http://oilgasjournal.ru/vol\\_6/abukova.html](http://oilgasjournal.ru/vol_6/abukova.html)
21. Gaev A.Ja. Podzemnoe zahoronenie stochnyh vod na predpriyatijah gazovoj promyshlennosti. - L.: Nedra, 1981, 166 p.
22. Zverev V.P. Gidrogeologicheskije issledovaniya sistemy gips- podzemnyie vody. – M.; Nauka, 1967, 124 p.,
23. Ibragimov N.G., Hafizov A.R., Shajdakov V.V. i dr. Oslozheniya v neftedobyche – Ufa, 2003, 302 p
24. T.D. Lanina, V.I. Litvinenko, B.G. Varfolomeev. Processy pererabotki plastovyh vod mestorozhdenij uglevodorodov. Uhta: 2006, 172 p.
25. Mel'nik A.P. Shhodo vikoristannija suputn'o-plastovyh vod gazokondensatnih rodovishh / S.V. Krivulja, N. M. Nimec// Science without borders, 2016, Vol. 1, pp. 23–29.
26. Nimec N.N. O prevrashhenii jodid-ionov poputno-plastovyh vod gazokondensatnyh mestorozhdenij v jod pod vozdejstviem ozona. *Visnik NTU «HPI»*. Serija: Innovacijni doslidzhennja v naukovih robotah, Harkiv, 2016. №16 (1191), pp. 14–18.
27. Nimec' N.M., Mel'nik A.P., Podustov M.O. Ekologichna bezpeka suputn'o-plastovyh vod i oderzhannja jodu. *Visnik HNU im. V.N. Karazina. Serija Geologija. Geografija. Ekologija*. – Harkiv, 2016. Vip.45, pp.159–168.
28. fat-down.ru-methods losing-weight/ozon

*Надійшла (received) 19.04.2019*

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Німець Наталія Миколаївна (Nimec' Natalia Nikolaevna)** – начальник відділу, філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна; e-mail: [ecolog.2601@gmail.com](mailto:ecolog.2601@gmail.com)

**Брусенцева Тетяна Володимирівна (Brusentseva Tatiana Vladimirovna)** – начальник сектору філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна.

**Німець Олександр Дмитрович (Nimec' Aleksandr Dmitrievich)** – студент, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна.

*Л. М. КАСЬЯНЕНКО, І. М. ДЕМИДОВ, С. М. МОЛЬЧЕНКО*

### **МОЖЛИВІСТЬ ОДЕРЖАННЯ БІОМАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ХІМІЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ОЛІЙ**

На сьогодні досить багато є робіт присвячених пошуку альтернативи нафтопродуктам. Більшість робіт стосується хімічної обробки олій, як присадка до нафтопродуктів. Зазвичай використовують для таких досліджень ріцинову або ріпакову олії, оскільки вони більш популярні для технічного застосування, та ріцинову олію можливо використовувати без хімічних перетворень, так як вона містить у своєму складі гідроксікислоти. Об'єктом дослідження є процес гідрохлорування соняшникової олії хлорним вапном. Метою роботи є розробка технології одержання мастильних матеріалів на основі соняшникової олії шляхом гідрохлорування олії з наступним хімічним перетворенням продукту для отримання основи мастильних матеріалів. В роботі обґрунтовано методи отримання базових мастил з альтернативних джерел (відновлюваної сировини), в тому числі – за допомогою переробки рослинних олій. Виготовлено зразки мастильних олій на основі соняшникової олії. Визначено в'язкісно-температурні властивості отриманих продуктів. Результати проведеної роботи вказують на перспективність і доцільність подальших досліджень в галузі одержання кисневміслючих похідних рослинних олій з метою визначення оптимальних умов проведення зазначеної хімічної модифікації.

**Ключові слова:** біомас тильні матеріали; соняшникова олія; жирні кислоти; хімічна модифікація; гідро хлорування; в'язкісно-температурна характеристика.

*Л. Н. КАСЬЯНЕНКО, И. Н. ДЕМИДОВ, С. Н. МОЛЬЧЕНКО*

### **ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ БИОСМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ**

Сегодня достаточное количество работ посвященных поиску альтернативы нефтепродуктам. Большинство работ касается химической обработки масел, как присадка к нефтепродуктам. Для таких целей обычно используют касторовое и рапсовое масла, так как они достаточно популярные для технического применения, касторовое масло возможно использовать без химических превращений, поскольку в его составе присутствуют гидроксильные группы. Объектом исследования является процесс гидрохлорирования подсолнечного масла хлорной известью. Целью работы представляется разработка технологии получения смазочных материалов на основе подсолнечного масла путем гидрохлорирования масла с последующим химическим превращением продукта для получения основы смазочных материалов. В работе обосновано поиск методов получения базовых масел из альтернативных источников, в том числе – с помощью переработки масел растительного происхождения. Были изготовлены образцы смазочного материала на основе подсолнечного масла. Были определены вязкостно-температурные свойства полученных продуктов. Результаты проведенной работы указывают на перспективность и целесообразность дальнейших исследований в области получения кислородсодержащих производных растительных масел с целью определения оптимальных условий проведения указанных химических модификаций.

**Ключевые слова:** биосмазочные материалы; подсолнечное масло; жирные кислоты; химическая модификация; гидрохлорирование; вязкостно-температурная характеристика.

*L. M. KASIANENKO, I. M. DEMIDOV, MOLCHENKO S. M.*

### **POSSIBILITY OF OBTAINING BIOLUBRICANTS MATERIALS BY CHEMICAL MODIFICATION OF VEGETABLE OILS**

Today, have been a sufficient of science works devoted to the search for alternatives to petroleum products. Many scientific papers are discussing the chemical processing by vegetable oils such as a component to petroleum product. For such purposes, castor and rapeseed oils are usually used, since they are quite popular for technical use, it is possible to use castor oil without chemical transformations, since it contains hydroxyl groups. Target of research: sunflower oil hydrochlorination process with chlorine lime. Research objective: development of procedure for hydrochlorination of sunflower oil, with further the synthesis of the product which will be the basis of lubricants. The thesis is devoted to development of technology for production of lubricants based on sunflower oil. The paper establishes a research on methods for basic oils obtaining from alternative sources, including vegetable oil processing. During the research lubricant samples, based on sunflower oil, were made. In these samples viscosity-temperature properties were determined. The results of this work indicate the prospects and feasibility of further research in the field of obtaining oxygen-containing derivatives of vegetable oils in order to determine the optimum conditions for carrying out the abovementioned chemical modifications.

**Key words:** bio-lubricants; sunflower oil; fatty acids; chemical modification; hydrochlorination; viscosity-temperature characteristic.

**Вступ.** Стабільне посилення глобальної екологічної кризи поставило перед людством життєво важливе завдання: по новому підійти до вирішення проблем забруднення навколишнього середовища і створити замкнутий кругообіг діоксиду вуглецю [1]. Як наслідок виник Кіотський протокол, метою якого є зменшення викидів в атмосферу, що призводить до глобального потепління. За оцінкою Єврокомісії (ЄК), з 1990 до 2016 року країни ЄС скоротили викиди діоксиду вуглецю в атмосферу на 20,8%. Однак останніми роками ситуація в цьому напрямку перестала

поліпшуватися. Так, у звіті ЄК з емісії діоксиду вуглецю за 2017 рік вказано, що в 2016-м європейські країни збільшили викиди на 0,2% [2].

Тому пошук альтернативних джерел енергетичних та паливних ресурсів досі залишається актуальним.

**Метою роботи** є розробка технології одержання мастильних матеріалів на основі соняшникової олії шляхом гідрохлорування олії з наступним хімічним перетворенням продукту для отримання основи мастильних матеріалів.

© Касьяненко Л. М., Демидов І. М., Мольченко С. М., 2019

Одним із значних джерел забруднень природного середовища є мастильні матеріали, як свіжі, так і відпрацьовані. Це пояснюється, перш за все, низьким рівнем біорозкладання мінеральних і синтетичних мастил. Деякі нафтові і синтетичні мастильні матеріали та їх компоненти є екоотоксичними продуктами. Всі види палива, мастильні матеріали та спеціальні рідини в тій чи іншій мірі є токсичними і вогнебезпечними, а палива та органічні розчинники до того ж є вибухонебезпечними. Тому необхідно добре знати основні екологічні властивості палив, мастильних матеріалів і спеціальних рідин, які впливають на людину і навколишнє середовище і можуть проявлятися при зберіганні, транспортуванні або використанні. До найбільш важливих відносять: токсичність, пожежонебезпечність, вибухонебезпечність і здатність до електризування [3].

Крім екологічних чинників слід враховувати і економічні: використання одного домінуючого матеріалу для отримання мастил, яким останнім часом є нафта, не виправдовує себе [4]. Альтернативою цим матеріалам можуть служити жири рослинного і тваринного походження, біологічні мастильні матеріали. Вони нетоксичні, мають високий рівень біорозкладання і добрі змащувальні властивості [5]. Такі жири і відходи їх переробки можна використовувати для виробництва мастильних матеріалів практично всіх видів – олив, пластичних мастил, мастильно-охолоджуючих технологічних засобів, технологічних мастил, а також присадок.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** На сьогодні в літературі представлена велика кількість робіт пошуку альтернативи нафтопродуктам, більшість з яких стосується хімічної обробки олій з метою їх використання в якості присадок до нафтопродуктів [6-11,14]. Зазвичай з цією метою використовують рицинову або ріпакову олії. Першу застосовують внаслідок присутності в її складі гідроксигруп, тому вона без будь-якої хімічної модифікації є придатною для використання. Відомим є спосіб одержання базової оливи для мастильних композицій [8], що ґрунтується на хімічній модифікації ріпакової олії та включає наступні стадії перетворення: 1) метаноліз ріпакової оливи реагентом реакції, що містить КОН та метилат натрію у метанолі з одержанням проміжного продукту – метилових ефірів вищих жирних кислот ріпакової олії (метафлору); 2) сульфювання метафлору розмолотим сульфуром з отриманням кінцевого продукту – олива метафлор-S.

При отриманні метафлору досягається зниження молекулярної маси за рахунок відщеплення гліцерину. Під час додавання розмолотого сульфуру в'язкість збільшується, оскільки сірка за певних умов

розриває подвійний зв'язок. А при високих температурах відбувається зшивання молекул по місцю сульфідних груп [9, 11]. В'язкісно-температурна залежність такої оливи зростає плавно-повільно, що є досить бажаною характеристикою. Проте наявність сульфідних груп може призводити до реакції полімеризації, що негативно позначиться на роботі двигуна. Іншим перспективним напрямком в технології відновлювальних мастильних матеріалів є використання бутилових ефірів на основі гідроксильованої соняшникової олії. Матеріали такої природи мають достатню потенційну можливість взаємодії з металевими поверхнями за рахунок різних механізмів: 1) енергетично слабо, тобто адсорбційно, наприклад за рахунок сил Ван-дер-Ваальса або диполь-дипольних взаємодій; 2) енергетично більш ефективно, за рахунок хемосорбції, наприклад, утворенням водневих та комплексних зв'язків між молекулами мастил і поверхнею; 3) енергетично найбільш сильно за рахунок гетерогенних хімічних реакцій, наприклад, трибо активованих реакцій полімеризації, конденсації, комплексоутворення тощо. Використання рослинних олій без попередньої хімічної модифікації в технології мастильних матеріалів навіть в якості добавок до мінеральних олив є недоцільним [12]. Це зумовлено рядом вагомих причин. По-перше, олії містять хоча і мінімальну кількість (залежно від типу олій 0,5–5 % мас.), але досить активних біологічних домішок, серед яких слід виділити фосфоліпіди та ферменти типу ліпаз, які мають виражену каталітичну дію, прискорюючи біохімічне окиснення олій. По-друге, олії характеризуються досить високими у порівнянні із мінеральними мастилами значеннями кислотного числа (К.Ч., мг КОН/г). По-третє, естерні групи триацилгліцеролів олій є більш термодинамічно нестабільними у порівнянні з функціональними групами мінеральних олив, що негативно впливає на експлуатаційні показники мастил [13].

Отже, аналізуючи визначальні особливості олій як біосировини бачимо, що за умови розробки методів усунення їх функціональних недоліків шляхом хімічної модифікації, можна успішно їх використовувати для одержання цілої низки як проміжних продуктів, так і базових біомастил в галузі мастильних матеріалів. Важливим завданням є розширення сировинної бази галузі мастильних матеріалів, яка на сьогодні є традиційно застарілою, обмеженою продуктами суцільно нафтового (мінерального) походження [14]. Пошук альтернативних сировинних джерел приводить до технічних рослинних олій, зокрема ріпакової, соєвої генетично модифікованої, рицикової, соняшникової, які за своїми функціональними властивостями є найбільш схожими з базовими мінеральними оливами. Отже, базові матеріали мастильної галузі – оливи і присадки, які можна виробляти із такої

дешевої, поновлювальної і екологічно безпечної сировини як рослинні олії, здатні до швидкого біорозкладання. Тоді як мінеральні оливи є стійкими до біорозкладання, і тому є екологічно небезпечними.

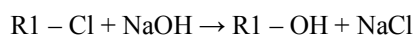
**1. Визначення основних критеріїв дослідження. 1.1 Вибір умов експерименту.** Для збільшення окисної стійкості олії в молекулу триацилгліцеролу додатково введено функціональні групи шляхом гідрохлорування соняшникової олії. Внаслідок цього у радикалі жирної кислоти значно зменшується кількість ненасичених зв'язків, наявність яких виступає потужним фактором, що стимулює окиснення жирів. Продукт гідрохлорування може надалі набути хімічних модифікацій, спрямованих на заміщення атому хлору певною функціональною групою. В досліді, як модельна речовина, застосовувалась олія соняшникова рафінована дезодорована. Основні параметри початкової олії, що змінювалися протягом досліді наведені у таблиці 1. Реакція проводилась за температури 70–90 °С при інтенсивному перемішуванні мішалкою протягом 4–6 годин. Під час досліді колір олії набував світло-жовтих відтінків. Після 4-ох годин досліді змінилися фізико-хімічні показники, що свідчать про зміну хімічного складу (табл. 1: 1 – Соняшникова олія, 2 – Гідрохлорована олія 4 год  $T=70^{\circ}\text{C}$ , 3 – Гідрохлорована олія 6 год  $T=70^{\circ}\text{C}$ , 4 – Гідрохлорована олія 4 год  $T=90^{\circ}\text{C}$ ). Таким чином, число омилення (Ч. О.), а отже і ефірне число (Еф. Ч.) зросло з 190,4 мг КОН/г до 323,4 мг КОН/г, тобто на 133 одиниці, що становить 69,8 % приросту відносно початкового показнику. Таким чином, можна зробити припущення, що до кожної 2,37 молекули ТАГ по місцю ненасичених вуглеводневих зв'язків було приєднано Cl та OH групу.

**1.2 Омилення та алкоголіз гідрохлорованого продукту.** З метою видалення жирних кислот із продукту гідрохлорування олії було проведено омилення останнього спиртово-водним розчином NaOH із надлишком у 30 % від теоретично необхідного.

Таблиця 1 – Основні показники початкової та гідрохлорованої соняшникової олії

Показник, мг КОН/г	1	2	3	4.
К. Ч.	0,3	0,3	3,0	3,79
Ч. О.	190,4	247,6	253,4	323,4
Еф. Ч.	190,1	247,3	250,4	319,6

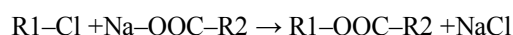
Під час омилення жирних кислот функціональна галоїдна група замінюється на гідроксигрупу:



Отриманий продукт після відгону спирту являє собою нагріві мила гідроксикислот, на зовнішній вигляд – гомогенна тверда речовина помаранчевого кольору. Речовина жирна на дотик, добре відмивається

ся водою. Задля відновлення жирних дигідроксикислот соняшникової олії нагрівіє мило було розкладено під дією соляної кислоти. Отримані жирні гідроксикислоти являють собою малов'язку рідину помаранчевого кольору з коефіцієнтом рефракції 1,472. Щоб зменшити схильність ЖК гідрохлорованого продукту до утворення нерозчинних полімерних сполук був проведений їх алкоголіз бутиловим та метиловим спиртами. Продукти хімічного перетворення являють собою малов'язкі рідини темнуватого помаранчевого кольору.

Як альтернативний метод підвищення в'язкості синтезованого мастильного матеріалу була проведена етерифікація гідрохлорованого продукту милами цих же гідрохлорованих жирних кислот за наступною реакцією:



Продукт етерифікації після видалення розчинника являє собою желеподібну за кімнатної температури, пластичну речовину помаранчевого кольору. Характеристика отриманого продукту реакції мила гідрохлорованого продукту та гідрохлорованої олії приведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Основні показники продукту взаємодії мила гідрохлорованого продукту та гідрохлорованої олії

Показник	Значення
К. Ч., мг КОН/г	8,24
Ч. О., мг КОН/г	253,35
Еф. Ч., мг КОН/г	245,11
Кінематична в'язкість за ВПДЖ-2 при температурі $T = 25,0^{\circ}\text{C}$ , мм <sup>2</sup> /с	649,18

Регулюючи ступінь протікання процесів гідрохлорування та етерифікації, можна отримувати продукт із необхідними показниками в'язкості та густини. Через високу в'язкість продукту, виникає можливість його використання в якості загущуючої добавки до бутилових та метилових ефірів гідроксильованих жирних кислот про отримання яких йшлося вище. Можна зробити висновок щодо необхідності подальших досліджень, спрямованих на виявлення умов, що будуть сприяти більш повному протіканню хімічного перетворення.

**2. Характеристика одержаних мастильних матеріалів.** Порівняльний аналіз одержаних ефірів та жирних кислот гідрохлорованої соняшникової олії було виконано за значеннями коефіцієнтів заломлення ( $n_D$ ). З літературних джерел [15] відомо, що рефракція ацилгліцеролів є непрямим показником їх ступеню полярності, тобто зі збільшенням полярності молекул ацилгліцеролів значення коефіцієнтів заломлення зростає. На рис. 1 представлено значення  $n_D$  модифікованих та не модифікованих жирних кислот.

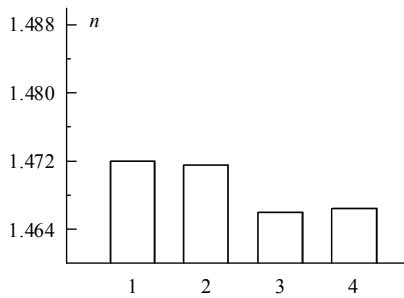


Рис. 1. Значення  $n_D$  відповідно до жирних кислот: 1 – гідрохлорованої соняшникової олії; 2 – рицинової олії, 3 – соняшникової олії, 4 – оливкової олії.

Як видно з результатів, значення  $n_D$  жирних кислот гідрохлорованої соняшникової олії (ГХСО) є близьким до відповідного показника жирних кислот рицинової олії та перевищує значення для немодифікованих жирних кислот соняшникової та оливкової олії. Це свідчить про ефективність перебігу реакції гідрохлорування соняшникової олії, що призводить до розриву подвійних зв'язків та утворення дигідроксикислот. Тобто функціональність жирних кислот ГХСО є близькою до функціональності жирних кислот рицинової олії. За еталонний зразок було обрано метилові ефіри рицинової олії. Залежності кінематичної в'язкості від температури мають подібний характер для всіх зразків. Порівняння в'язкісно-температурних властивостей було здійснено на основі значень тангенсів кутів нахилу залежностей  $tga$  (табл. 3: 1 – Бутилові ефіри жирних кислот гідрохлорованого продукту, 2, 3 – Метилові ефіри рицинової олії (2), жирних кислот гідрохлорованого продукту (3).

Таблиця 3 – Тангенси кутів нахилу в'язкісно-температурних залежностей

Ефіри	$tga$
1	-0.4627
2	-0.5133
3	-0.7611

Оскільки значення  $tga$  бутилових ефірів жирних кислот гідрохлорованого продукту та метилових ефірів рицинової олії є досить близькими, то можна зробити припущення, що змішуванням бутилових та метилових ефірів жирних кислот гідрохлорованого продукту можна досягти в'язкісно-температурних характеристик еталонного зразку.

Оцінка в'язкісно-температурних характеристик отриманих ефірів жирних кислот гідрохлорованого продукту представлені на рис. 2 (залежності 1 та 3) та рис.3. Як можна побачити, хоча продукт бутанолізу поступається за в'язкістю касторовій олії, але демонструє в той же час значно вищий індекс в'язкості, тобто сталість в'язкості при зміні температури. Можна висунути припущення, що така поведінка отриманого продукту пов'язана із різною природою взаємодії молекул у шарі рідини, внаслідок змінюється механізм конфігурування молекулярних асоціатів.

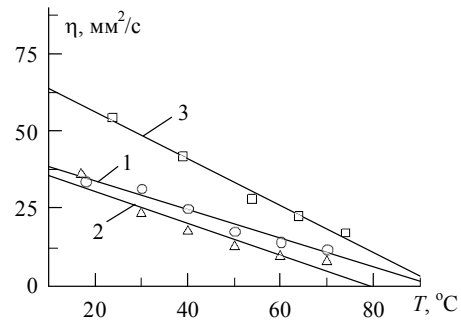


Рис. 2. Залежність кінематичної в'язкості  $\eta$  від температури: 1 – бутилові ефіри жирних кислот гідрохлорованого продукту, 2 – метилові ефіри рицинової олії, 3 – метилові ефіри жирних кислот гідрохлорованого продукту (точками позначено експериментальні дані).

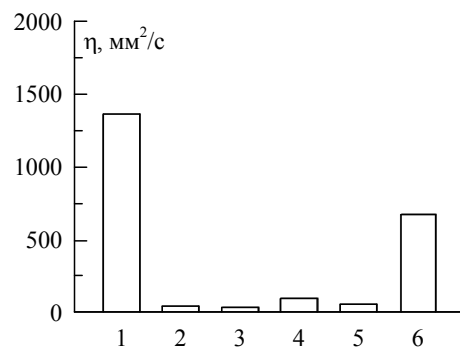


Рис. 3. Значення кінематичної в'язкості при 20 °C для: 1 – рицинової олії; 2 – соняшникової олії; 3 – метилових ефірів рицинової олії; 4 – бутилові ефіри жирних кислот гідрохлорованого продукту; 5 – метилові ефіри жирних кислот гідрохлорованого продукту; 6 – продукту взаємодії мила гідрохлорованого продукту та гідрохлорованої олії.

Із низької в'язкості отриманого продукту впливає висновок щодо необхідності залучення в'язкісних присадок, подальшої хімічної модифікації або внесення певних змін у запропонований цикл обробки соняшникової олії.

#### Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку досліджень.

Можна зробити висновок щодо необхідності подальших досліджень, спрямованих на виявлення умов, що будуть сприяти більш повному протіканню хімічного перетворення.

Розроблена методика взаємодії хлорного вапна  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  з соняшниковою олією з отриманням кисневміслючих похідних олій. Встановлено, що в'язкісно-температурна залежність естерів жирних кислот і низькомолекулярних спиртів продукту взаємодії хлорного вапна і соняшникової олії (ПВХВСО) є подібною до естерів рицинової олії.

Показано, що в результаті реакції ПВХВСО з нагрівом милом кислот ПВХВСО можна одержати мастильний матеріал з в'язкістю, що наближається до в'язкості рицинової олії. За в'язкісно-температурною характеристикою бутилові ефіри ПВХВСО кращі ніж метилові ефіри ПВХВСО.

## Список літератури

1. Милованов А.В., Ведишев С.М. *Топливо и смазочные материалы*. Тамбов: ТГТУ, 2003. 80 с.
2. Заквасин А. *Киотский протокол: почему Запад не может решить проблему глобального потепления?*. URL: russian.rt.com/world/article/459154-kiotskiy-protokol-uglekisly-gaz-energiya (дата обращения: 03.04.2019).
3. Остриков В.В., Нагорнов С.А., Клейменов О.А., Прохорнеков В.Д., Курочкин И.М., Хренников А.О., Дровских Д.В. *Топливо, смазочные материалы и технические жидкости*. Тамбов: ТГТУ, 2008. 304 с.
4. Долгова Л.А., Жаткин С.А., Салмин В.В. Анализ параметров моторного масла и технических устройств, позволяющих контролировать процессы старения моторных масел // *Молодой ученный*. 2015. Т. 9, № 89. С. 198-201.
5. Фукс И.Г., Евдокимов А.Ю., Джамалов В.А., Лукса А. Растительные и животные жиры - сырьё для приготовления товарных смазочных материалов // *Химия и технология топлив и масел*. 1992. № 4. С. 34-39.
6. Касьяненко Л.М., Демидов И.М., Крамской, Шеманська Є.І. Рослинні олії як сировина при одержанні мастильних матеріалів. *Тези доповідей п'ятої міжн. н-тех. конф. Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієвкової галузей у контексті євроінтеграції (7-8 листопада 2016 р., Київ)*. К.: НУХТ, 2016. С. 159-160.
7. Касьяненко Л.М., Сорочинський В.М., Демидов І.М. Етоксильовання та метоксильовання соняшникової олії для одержання мастильних матеріалів. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжн. н-пр. конф. Ч. II (16-18 травня 2018р., Харків)*. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 241.
8. Кириченко В.І., Кириченко Л.М., Свідерський В.П. Пат. 65753, Україна. Спосіб одержання базової оливи для мастильних композицій. 2005.
9. Сіренко Г.О., Кириченко В.І., Кириченко Л.М., Свідерський В.П. Пат. 18077, Україна. *Мастильна композиція*. 1997.
10. Дец М.М., Поп Г.С., Назарчук Н.М. Пат. 70497, Україна. *Трансмиссионное масло для легковых автомобилей*. 2004.
11. Веласко В.Л., Фернандес-Мартінес Х.М., Перенес В.Б., Пат. 106966, Україна. *Соняшникова олія з високою термостабільністю*. 2010.
12. Демидова А.О. Визначення строку зберігання олій прискореним методом // *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2015. № 44 (1153). С. 15-18.
13. Вильямс Вл. Р. *Топливо, смазочные материалы и вода: 2-е изд.*. Москва: Государственное изд-во с/х лит-ры, 1951. 498 с.
14. Кириченко В.В., Кириченко В.І., Полумбрик О.М. Пат. 91623, Україна. Спосіб одержання базових для галузі мастильних матеріалів біосинтетичних олив-присадок поліфункціональної дії. 2010.
15. Тютюнников Б.Н., Бухштаб З.И., Гладкий Ф.Ф., Мельник А.П., Бутенев В.П., Демидов И.Н., Тимченко В.К., Перевалов Л.И. *Химия жиров: учебники и уч. пособия для студентов ВУЗов / ред. Кобчикова И.Н. М.: Колос, 1992. 448 с.*

## References (transliterated)

1. Milovanov A.V., Vedishhev S.M. *Toplivo i smazochnye materialy*. Tambov: TGTU, 2003. 80 p.
2. Zakvasin A. *Kiotskiy protokol: pochemu Zapad ne mozhet reshit' problemu global'nogo potepennja?* URL: russian. rt.com/ world / article/459154-kiotskiy-protokol-uglekisly-gaz-energiya (data obrashheniya: 03.04.2019).
3. Ostrikov V.V., Nagornov S.A., Klejmenov O.A., Prohornekov V.D., Kurochkin I.M., Hrennikov A.O., Drovskih D.V. *Toplivo, smazochnye materialy i tehicheskie zhidkosti*. Tambov: TGTU, 2008. 304 p.
4. L.A. Dolhova, S.A. Zhatkyn, V.V. Salmyn. *Analyz parametrov motornoho masla i tekhnicheskyykh ustroystv, pozvoliaushchyykh kontrolyrovat protsessu stareniya motornukh masel. Molodoi uchennui*. 2015.T.9, No. 89, pp. 198–201.
5. Fuks I.G., Evdokimov A.Ju., Dzhamalov V.A., Luksa A. *Rastitel'nye i zhivotnye zhiry - syr'jo dlja prigotovleniya tovarnih smazochnyh materialov // Himija i tehnologija topliv i masel*. 1992. No. 4, pp. 34–39.
6. Kasianenko L.M., Demydov I.M., Kramskoj, Shemans'ka Ye.I. *Rosly'nni oliyi yak sy'rovny'na pry' oderzhanni mastyl'ny'x materialiv. Tezy' dopovidej p'yatoyi mizhn. n-tex. konf. Perspektvy'vy' rozvy'tku m'yasnoyi, molochnoyi ta oliyezhy'rovoyi galuzej u konteksti yevrointegraciyi (7-8 ly'stopada 2016 r., Ky'yiv)*. K.: NUXT, 2016, pp. 159–160.
7. Kasianenko L.M., Sorochy'ns'ky'j V.M., Demydov I.M. *Etoksy'lyuvannya ta metoksy'lyuvannya sonyashny'kovoyi oliyi dlya oderzhannya mastyl'ny'x materialiv. Informacijni tehnologiyi: nauka, texnika, tehnologiya, osvita, zdorov'ya: tezy' dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. Ch. II (16-18 travnya 2018., Kharkiv)*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2018, 241 p.
8. Ky'ry'chenko V.I., Ky'ry'chenko L.M., Sviders'ky'j V.P. Pat. 65753, Ukrayina. *Sposib oderzhannya bazovoyi oly'vy' dlya mastyl'ny'x kompozy'cij*. 2005.
9. Sirenko G.O., Ky'ry'chenko V.I., Ky'ry'chenko L.M., Sviders'ky'j V.P. Pat. 18077, Ukrayina. *Mastyl'na kompozy'ciya*. 1997.
10. Decz M.M., Pop G.S., Nazarchuk N.M. Pat. 70497, Ukray'na. *Transmy'ssy'onnoe maslo dlya legkovy'x avtomoby'lej*. 2004.
11. Velasko V.L., Fernandes-Martines X.M., Perenes V.B., Pat. 106966, Ukrayina. *Sonyashny'kova oliya z vy'sokoyu termostabil'nisty*. 2010.
12. Demydova A.O. *Vy'znachennya stroku zberigannya olij pry'skoreny'm metodom // Visny'k NTU «KhPI»*. 2015. No. 44 (1153), pp. 15–18.
13. Vil'jams Vl. R. *Toplivo, smazochnye materialy i voda: 2-e izd.*. Moskva: Gosudarstvennoe izd-vo s/h literatury, 1951. 498 p.
14. Kirichenko V.V., Kirichenko V.I., Polumbrik O.M. Pat. 91623, Ukraїna. *Sposib oderzhannya bazovy'x dlja galuzi mastil'nih materialiv biosintetichnih oliv-prisadok polifunkcional'noi dii*. 2010.
15. Tjutjunnikov B.N., Buhshtab Z.I., Gladkij F.F., Mel'nik A.P., Butenev V.P., Demidov I.N., Timchenko V.K., Perevalov L.I. *Himija zhirov: uchebniki i uchebnye posobija dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij / red. Kobchikova I.N. Moskva: Kolos, 1992. 448 p.*

Надійшла (received) 15.04.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Касьяненко Любов Миколаївна (Касьяненко Любовь Николаевна, Kasianenko Liubov Mykolaivna)** – аспірант кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; <http://orcid.org/0000-0002-4631-0448>; e-mail: [ljubovkasyanenko@gmail.com](mailto:ljubovkasyanenko@gmail.com)

**Демидов Ігор Миколайович (Демидов Игорь Николаевич, Demydov Ihor Mykolaiovych)** – доктор технічних наук, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; <http://orcid.org/0000-0001-5854-0833>; e-mail: [demigon50@ukr.net](mailto:demigon50@ukr.net)

**Мольченко Світлана Миколаївна (Мольченко Светлана Николаевна, Molchenko Svitlana Mykolaivna)** – кандидат технічних наук, викладач кафедри технології жирів та продуктів бродіння; Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; <http://orcid.org/0000-0001-7897-8947>; e-mail: [molchenko.svetlana@gmail.com](mailto:molchenko.svetlana@gmail.com)

*М. А. ЛАБЕЙКО, О. А. ЛИТВИНЕНКО, Н. М. ЛЮБЧЕНКО, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЯДУ РОЗЧИННИКІВ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ЕКСТРАГУВАННЯ ХЛОРОГЕНОВОЇ КИСЛОТИ ЗІ СОНЯШНИКОВОГО ШРОТУ**

У матеріалах статті розглянуто питання окиснення жирів та негативний вплив цього явища на якість жировмісних продуктів харчування і організм людини вцілому. Описано метод боротьби з процесами окиснення за допомогою антиоксидантів та наведено основний антиоксидантний склад шроту з насіння соняшнику, як перспективної сировини для отримання сполук - антиокислювачів. Також розглянуто методи екстракції хлорогенової кислоти з рослинної матриці, до яких належать різноманітні варіанти фізичної дії з використанням ультразвуку та генераторів надвисокої частоти, методи з використанням органічних розчинників та водно-спиртових розчинів, а також субкритичної води. З урахуванням переваг та недоліків, обрано напрямок для подальших досліджень з використанням екстрагентів - розчинників. Досліджено ефективність ряду розчинників на предмет екстрагуючої здатності щодо хлорогенової кислоти, як основної фенольної сполуки шроту з насіння соняшнику. З урахуванням собівартості розчинників та простоти проведення досліджень, в якості оптимального екстрагента обрано водний розчин етилового спирту з концентрацією 80%.

**Ключові слова:** окиснення жирів; антиоксидант; екстрагування хлорогенової кислоти; екстрагент-розчинник; фенольні сполуки; шрот з насіння соняшнику.

*М. А. ЛАБЕЙКО, Е. А. ЛИТВИНЕНКО, Н. М. ЛЮБЧЕНКО, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЯДА РАСТВОРИТЕЛЕЙ КАСАТЕЛЬНО ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ХЛОРОГЕНОВОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ПОДСОЛНЕЧНОГО ШРОТА**

В материалах статьи рассмотрен вопрос окисления жиров и негативное влияние этого явления на качество жиросодержащих продуктов питания и организм человека в целом. Описан метод борьбы с процессами окисления с помощью антиоксидантов и приведен основной антиоксидантный состав шрота из семян подсолнечника, как перспективного сырья для получения веществ - антиокислителей. Также рассмотрены методы экстракции хлорогеновой кислоты из растительной матрицы, к которым относятся разнообразные варианты физического воздействия с использованием ультразвука и генераторов сверхвысокой частоты, методы с использованием органических растворителей и водно-спиртовых растворов, а также субкритической воды. С учетом преимуществ и недостатков, выбрано направление для дальнейших исследований с использованием экстрагентов - растворителей. Исследована эффективность ряда растворителей на предмет экстрагирующей способности касательно хлорогеновой кислоты, как основного фенольного соединения шрота из семян подсолнечника. С учетом себестоимости растворителей и простоты проведения исследований, в качестве оптимального экстрагента выбран водный раствор этилового спирта с концентрацией 80%.

**Ключевые слова:** окисление жиров; антиоксидант; экстрагирование хлорогеновой кислоты; фенольные соединения; экстрагент - растворитель; шрот из семян подсолнечника.

*М. А. ЛАБЕЙКО, Е. А. ЛИТВИНЕНКО, Н. М. ЛЮБЧЕНКО, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ*

### **INVESTIGATION OF EFFECTIVENESS OF A SOLUTION RANGE ON THE POSSIBILITY OF CHLOROGENIC ACID EXTRACTION FROM SUNFLOWER MEAL**

The materials of the article consider the issue of fats oxidation and the negative impact of this phenomenon on the quality of fat-containing food and the human body in general. The control method of oxidation processes and their effects with antioxidants is described and the main antioxidant composition of sunflower seed meal is presented as a promising raw material for the production of compounds - antioxidants. Methods of extraction of chlorogenic acid from the plant matrix, which include various variants of physical action using ultrasound and ultrahigh frequency generators, methods using organic solvents and water-alcohol solutions, as well as subcritical water, are also considered. Taking into account the advantages and disadvantages, the direction for further research with the use of solvent extractives was chosen. After studying and analyzing the properties of chlorogenic acid as the main phenolic compound of sunflower seed meal, a range of extractants was selected. In the process of research, the effectiveness of a number of selected solvents has been determined for the extraction ability of chlorogenic acid. Several extractant selected that showed the most effective: acetamide 100%, 5% solution of acetamide in an aqueous 80% ethanol solution, 80% ethanolic aqueous solution, and a mixture of acetamide and ethyl alcohol solution at a concentration of 80% in the ratio 30:70. Taking into account the cost of solvents and the ease of conducting research, an aqueous solution of ethyl alcohol with a concentration of 80% was chosen as the optimum extractant.

**Keywords:** fat oxidation; antioxidant; chlorogenic acid extraction; phenolic compounds; extractant-solvent; sunflower seed meal.

**Вступ.** На протязі багатьох років існує проблема псування жировмісних продуктів за рахунок окиснення жирової основи [1]. Механізм окиснювання носить ланцюговий вільнорадикальний характер [2], первинними продуктами якого є пероксидні сполуки, які при подальшому окисненні утворюють вторинні продукти: альдегіди, кетони, кислоти та спирти [3]. Первинні продукти окиснення не змінюючи органолептичних характеристик продукту, накопичуються в організмі людини і

призводять до небезпечних наслідків: впливають на серцевий м'яз, гальмують діяльність деяких ферментів, діють на слизову оболонку шлунково-кишкового тракту, про що споживач може навіть не здогадуватись. Стосовно вторинних продуктів окиснення слід зазначити, що окрім негативного впливу на організм людини, вони також у більшості випадків псують смак, аромат, харчову цінність і загальну якість продукції [4].

©Лабейко М.А., Литвиненко Е.А., Любченко Н.М., Гладкий Ф.Ф., 2019



Для вирішення цієї проблеми, в харчовій промисловості застосовують сполуки - антиоксиданти різної природи. Антиоксиданти – складні сполуки, які здатні пригнічувати процеси окиснення, шляхом інгібування ініціації або інгібування поширення окислювальних ланцюгових реакцій [5]. Існують природні (вітаміни: А,Е,С, поліфенольні сполуки та інші) і синтетичні (бутилгідроксіанізол, пропілгалат та інші) антиоксиданти [2]. Стосовно синтетичних антиоксидантів слід зазначити, що ці сполуки повинні бути використані чітко за призначенням і під суворим контролем у зв'язку з їх потенційною токсикологічною небезпекою для здоров'я людини [6].

Основними джерелами природних антиоксидантів є рослинні продукти: різноманітні фрукти та ягоди, овочі, зелені зерна кави [7], яблука [8], різноманітні водорості [9], чорниця, стевія [10], насіння соняшнику [11] та інші. Слід зазначити, що саме насіння соняшнику належить до актуальної рослинної сировини, а точніше шрот з насіння соняшнику, тому що ця дешева вторинна сировина, маючи у своєму складі потужний антиоксидантний потенціал [12], не використовується належним чином. До складу шроту з насіння соняшнику входять білки, хлорогенова і кавава кислоти та інші цінні сполуки. Хлорогенова [13] і кавава [14] кислоти належать до групи поліфенолів – природних антиоксидантів [15], при чому хлорогенова кислота значно переважає за кількісним вмістом [16].

Питання отримання природних антиоксидантів і, зокрема хлорогенової кислоти, зі соняшникового шроту, на сьогоднішній день є актуальним.

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

**1. Аналіз сучасного стану проблеми.** Беручи до уваги корисні властивості природних антиоксидантів соняшникового шроту, слід також відзначити важливість досліджень стосовно методів отримання зазначених сполук.

З літературних джерел відомі різні методи екстракції хлорогенової кислоти з рослинної матриці: від традиційних, заснованих на використанні органічних розчинників та водно-спиртових розчинів [17] до методик, що використовують різноманітні варіанти фізичної дії з використанням ультразвуку [18] та НВЧ-генераторів [19]. Крім того, в останні роки набирають популярності такі досить специфічні методи, як екстракція полярних та слабополярних сполук за допомогою субкритичної води [20]. Кожний з зазначених методів має недоліки та переваги. Наприклад, використання УЗД- та СВН-генераторів дозволяє суттєво скоротити тривалість аналізу, проте потребує дорогого специфічного обладнання. Використання субкритичної води дає можливість отримати екологічно чистий продукт, однак умови, за яких проводиться екстракція за даним методом – це тиск та висока температура, яка досягає 100–374 °С, що може вплинути на загальний

вихід продукту, оскільки хлорогенова кислота при високій температурі може розкластись на хінну та кавову кислоти [20].

Навпаки, методи екстракції з використанням органічних розчинників та водно-спиртових розчинів не потребують модернізації експериментальної бази, однак, в даному випадку слід звернути увагу на тривалість процесу та можливу токсичність екстрагентів - розчинників.

**2. Визначення основних критеріїв дослідження.** Як було зазначено вище, шрот з насіння соняшнику, що належить до вторинної дешевої сировини, є цінним джерелом хлорогенової кислоти, кількість якої у ньому досягає 5 %. Тому використання соняшникового шроту є раціональним. Проте вихід хлорогенової кислоти визначається низкою параметрів: способом отримання, типом розчинника, гідромодулем шрот-розчинник, тривалістю процесу та іншими факторами.

Таким чином, з'являється потреба у розробці нових більш ефективних та раціональних способів одержання природного антиоксиданту – хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту, та удосконалення існуючих методів шляхом отримання нового більш ефективного розчинника для екстракції.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.**

З урахуванням властивостей хлорогенової кислоти та місця розташування її у частинах насіння соняшнику підібрано лінійку розчинників - екстрагентів для вилучення даної фенольної сполуки. До переліку обраних речовин належать:

- 5 % розчин ацетаміду у водному розчині етилового спирту з концентрацією 80 %;
- водний розчин етилового спирту з концентрацією 80 %;
- етилацетат;
- 5 % розчин Na солі гліцину у водному розчині етилового спирту з концентрацією 80 %;
- диметилформамід;
- 5 % розчин цетилового спирту у диметилформаміді;
- цетиловий спирт.

Екстракцію хлорогенової кислоти проводять за відомою методикою [21]. Насіння соняшника перед аналізом знежирюють в апараті Сокслета діетиловим або петролейним ефіром. Шроти додатково не знежирюють. Знежирений матеріал подрібнюють до проходу крізь сито з отворами 0,25 мм.

Для вилучення хлорогенової кислоти беруть наважку знежиреного і подрібненого продукту близько 10 г з точністю 0,0002 г і додають до неї 100 мл розчинника. Екстракцію проводять протягом 60 хвилин у колбі зі зворотнім холодильником на киплячій водяній бані при періодичному збовтуванні. Екстракт відокремлюють фільтруванням, кількісно переносять у мірну колбу ємністю 100 мл і об'єм доводять до мітки розчинником.

Для визначення кількості хлорогенової кислоти у шроті соняшника використовують метод перманганатного титрування, який модифіковано за прикладом методу визначення таніну в чаї (ГОСТ 19885). Вказаний метод базується на окисленні поліфенолів (хлорогенової кислоти) за участі індикатора індигокарміну

Результати досліджень наведено в таблиці 1 (1 – розчинник для екстракції, 2 – маса наважки шроту, г; 3 – кількість розчинника, мл; 4 – кількість перманганату калію  $KMnO_4$ , використаного на дослідну пробу, мл; 5 – Кількість перманганату калію  $KMnO_4$ , використаного на контроль, мл; 6 – кількість хлорогенової кислоти, у шроті, %).

Таблиця 1 – Екстракція хлорогенової кислоти різними розчинниками

№ з/п	1	2	3	4	5	6
1.	Ацетамід 5% у 80 % етиловому спирті	10,0800	100	8	0,8	5,1
2.	Етиловий спирт, 80%	10,0918	100	8,7	0,8	5,6
3.	Етилацетат	10,0525	100	1,05	0,8	0,8
4.	На сіль гліцину 5% у 80% етиловому спирті	10,0057	100	6,7	0,8	4,1
5.	Диметилформамід	10,0007	100	6,8	0,8	4,3
6.	Цетиловий спирт 5% у диметилформаміді	10,0028	100	6,55	0,8	4,6
7.	Цетиловий спирт, 100%	10,0134	100	2,6	0,8	1,3

Згідно з даними таблиці 1, найкращим розчинником для екстракції хлорогенової кислоти є водний розчин етилового спирту з концентрацією 80%, який показав вихід кінцевого продукту – 5,6%, проте 5%-вий розчин ацетаміду у водному розчині етилового спирту з концентрацією 80 %; також дає досить високий вихід хлорогенової кислоти – 5,1%.

Крім того, слід зазначити, що під час проведення екстракції за допомогою чистого цетилового спирту (дослід №7) неможливо визначити кількість хлорогенової кислоти, оскільки температура плавлення  $T_{пл}$  спирту = 49,5 °C. При кімнатній температурі спирт застигає, а під час визначення кількості поліфенолів та додавання екстракту у воду, цетиловий спирт утворив нерозчинні у воді пластівці, які спливали на поверхню води. Тому для проведення аналізу перед титруванням вміст колби попередньо необхідно

підігріти до температури плавлення цетилового спирту. За меншої концентрації (дослід №6) пластівці спирту також утворювались та при потраплянні у воду збільшувались, проте основна частина екстракту розчинилася у воді та утворила слабку емульсію, що дало змогу все ж таки провести аналіз.

Беручи до уваги досить високу ефективність екстрагента-розчинника – 5% розчину ацетаміду у водному розчині етилового спирту з концентрацією 80 %, проведена екстракція чистим ацетамідом у кількості 20 мл на 2 г шроту (гідромодуль 10:1 зберігається). Отримані данні наведені у табл. 2 (1 – екстракт, 2 – маса наважки шроту, г; 3 – кількість розчинника, мл; 4 – кількість перманганату калію  $KMnO_4$ , використаного на дослідну пробу, мл; 5 – кількість  $KMnO_4$ , використаного на контроль, мл; 6 – кількість хлорогенової кислоти, у шроті, %).

Таблиця 2 – Екстракція 100% ацетамідом

№	1	2	3	4	5	6
1	Ацетамід, 100%	2,0079	20	3,95	1,4	9,03

Дані таблиці 2 свідчать про те, що при використанні 100%-го ацетаміду в якості розчинника, можливо збільшити вихід хлорогенової кислоти, проте через високу собівартість ацетаміду та складності проведення дослідження (ацетамід являє собою тверді тугоплавкі кристали) використання вказаного розчинника не доцільне.

Прийнято рішення, про розробку нового складу розчинника-екстрагента. Склад розчинника визначили за допомогою певних розрахунків на

основі довідкових значень діелектричної проникності окремих реагентів: 96 %-го етилового спирту ( $\epsilon=20$ ), ацетаміду ( $\epsilon=59$ ), води ( $\epsilon=81$ ). Розрахункове значення діелектричної проникності розчину етилового спирту з концентрацією 80% склало  $\epsilon=32,2$ . Враховуючи цей показник, визначили співвідношення реагентів, що показали найбільшу ефективність: ацетаміду та розчину етилового спирту з концентрацією 80% – 30:70. Провели екстракцію хлорогенової кислоти отриманим розчинником (табл. 3).

Таблиця 3 – Екстракція хлорогенової кислоти сумішшю ацетаміду та розчину етилового спирту з концентрацією 80% у співвідношенні 30:70

№	1	2	3	4	5	6
1	Суміш ацетаміду та розчину етилового спирту з концентрацією 80% у співвідношенні 30:70	10,0034	100	8,9	0,8	5,7

Отримані результати табл. 3 (1 – екстракт, 2 – маса наважки шроту, г; 3 – кількість розчинника, мл; 4 – кількість перманганату калію  $KMnO_4$ , використаного на дослідну пробу, мл; 5 – кількість  $KMnO_4$ , використаного на контроль, мл; 6 – кількість хлорогенової кислоти, у шроті, %). Порівнюючи данні таблиці 3 з даними таблиці 1, слід звернути увагу на однакову екстрагуючу здатність комплексного розчинника (суміші ацетаміду та розчину етилового спирту з концентрацією 80% у співвідношенні 30:70) та водного розчину етилового спирту з концентрацією 80%. Екстрагування зазначеними розчинниками дало змогу виділити хлорогенову кислоту зі шроту насіння соняшнику у кількості 5,7% та 5,6% відповідно.

**Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.** Підводячи підсумки вищесказаному, можна зробити наступні висновки:

- проаналізувавши лінійку розчинників - екстрагентів стосовно вилучення хлорогенової кислоти за допомогою розробленої нами методики, можна зазначити, що найбільш ефективним з них є ацетамід 100%, який дає змогу виділити 9,03% хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту; однак ацетамід 100% має високу вартість та викликає ряд труднощів під час роботи з ним;

- серед інших екстрагентів за ступенем ефективності слід відзначити:

- 1) суміш ацетаміду та водного розчину етилового спирту з концентрацією 80% у співвідношенні 30:70, яка дає досить високий вихід хлорогенової кислоти – 5,7%;

- 2) водний розчин етилового спирту з концентрацією 80% – 5,6%;

- 3) розчин ацетаміду 5% у водному розчині етилового спирту з концентрацією 80% – 5,1%.

- враховуючи собівартість екстрагентів - розчинників та ступінь складності роботи з ними, для подальших досліджень обрано водний розчин етилового спирту з концентрацією 80%; однак, слід зазначити, що усі інші розчинники, ефективність яких доведена в даному дослідженні, можуть успішно використовуватись в якості екстрагентів.

У подальшому планується провести гідроліз виділеної зі шроту хлорогенової кислоти з метою отримання кавової кислоти, як сполуки, що розчинна у жирах та оліях, та може бути використана в якості антиоксиданту у жировмісних продуктах.

#### Список літератури

1. Лабейко М.А. Про здатність природних антиоксидантів впливати на окиснення харчових рослинних олій / М.А. Лабейко, О.А. Литвиненко, Н.М. Любченко [та ін.] // Інтегровані технології та енергозбереження. 2019. №1, – с. 78–85.
2. Шаповалова І.Е. Возможность использования подсолнечного шрота как источника природного антиоксиданта – хлорогеновой кислоты / И.Е. Шаповалова, З.П. Федякина // Олейно-жировый комплекс. 2013. №2 (41), – с. 49–50.
3. Півень О. М. Технологія стабілізації харчових жирів щодо окиснювального псування: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.06; захищена 21.06.2007; затв. 17.10.2007 / Олена Миколаївна Півень. – Х., 2007. 169 с.
4. Weisz G.M. Identification and quantification of phenolic compounds from sunflower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC-DAD/ESI-MSn / G.M. Weisz., D.R. Kammerer, R. Carle // Food Chemistry: 2009. № 115, pp. 758–765.
5. Шаповалова І.Е. Обоснование получения хлорогеновой кислоты из подсолнечного шрота / И.Е. Шаповалова, З.П. Федякина, И.Н. Демидов и [др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: 2013. № 6/6, – с. 39–41.
6. Temple N.J. Antioxidants and disease: more questions than answers / N.J. Temple // Nutr Res. 2000. Vol. 20. №3, pp. 449–459, doi: org/10.1016/S0271-5317(00)00138-X.
7. Budryn, G. Influence of the Form of Administration of Chlorogenic Acids on Oxidative Stress Induced by High fat Diet in Rats / G. Budryn, D. Zaczynska, D. Zyzewicz [et al.] // Plant foods for human nutrition. 2017. Vol. 72. №2, pp. 184–191, doi: 10.1007/s11130-017-0608-3.
8. Raudone, L. Phenolic antioxidant profiles in the whole fruit, flesh and peel of apple cultivars grown in Lithuania / L. Raudone, R. Raudonis, M. Liaudanskas [et al.] // Scientia horticulturae. 2016. Vol. 216, pp. 186–192, doi: 10.1016/j.scienta.2017.01.005.
9. Klejdus B. Development of new efficient method for isolation of phenolics from sea algae prior to their rapid resolution liquid chromatographic-tandem mass spectrometric determination / B. Klejdus, M. Plaza, M. Snoblova, [et al.] // Journal of pharmaceutical and biomedical analysis. 2017. Vol. 135, pp. 87–96, doi: 10.1016/j.jpba.2016.12.015.
10. Левицкий А.П. Хлорогеновая кислота: биохимия и физиология / А.П. Левицкий, Е.К. Вертикова, И.А. Селиванская // Микробиология і біотехнологія. 2010. №2, с. 6–20.
11. Литвиненко О.А. Виробництво харчових форм білків із насіння олійних культур/ [О.А. Литвиненко, Ф.Ф. Гладкий, З.П. Федякіна]. – К.: Аграр. Наука, 2016. – 52с.
12. Schmidt S. Potential application of oilseeds as source of antioxidants for food lipids – a review / S. Schmidt, J. Pokorny // Czech J Food Sci. 2005. Vol. 23, pp. 93–102.
13. Yang D. Development of a new chlorogenic acid certified reference material for food and drug analysis / D. Yang.; L. Jiao, Tai Ling [et al.] // Journal of pharmaceutical and biomedical analysis. 2017. Vol. 140, pp. 169–173. doi: 10.1016/j.jpba.2017.03.026
14. Чуклин П.Е. Влияние кофейной кислоты на сердечно-сосудистую систему в эксперименте : дис. ... канд. мед. наук : 14.03.06 / Роман Евгеньевич Чуклин. – Курск, 2012. – 130 с.
15. Karamac M. Antioxidant activity of phenolic compounds identified in sunflower seeds / M. Karamac, A. Kosinska, I. Estrella [et al.] // Eur Food Res Technol. 2012. Vol. 235, pp. 221–230.
16. Pedrosa M.M. Determination of caffeic and chlorogenic acids and their derivatives in different sunflower seeds / M.M. Pedrosa, M. Muzquiz, C. Garcia-Vallejo [et al.] // J Sci Food Agric. 2000. Vol. 80, pp. 459–464.
17. Grujic N. Effects of Different Extraction Methods and Conditions on the Phenolic Composition of Mate Tea Extracts / N. Grujic., Z. Lepojevic., B. Srdjenovic [et al.] // Molecules. 2012. Vol. 17. № 3, pp. 2518–2528. doi: 10.3390/molecules17032518.
18. Liu Q. M. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of chlorogenic acid from Folium eucommiae and evaluation of its antioxidant activity / Q. M. Liu., X. M. Yang, L. Zhan. [et al.] // J. of Medicinal Plants Research. 2010. Vol. 4. № 23, pp. 2503–2511.
19. Upadhyay R. Microwave-assisted extraction of chlorogenic acids from green coffee beans / R. Upadhyay., K. Ramalakshmi, L.J.M. Rao // Food Chemistry. 2012. Vol. 130. №1, pp. 184–188.
20. Лекарь А.В. Экстракция хлорогеновой кислоты из сабельника болотного COMARUS PALUSTRE L. В среде субкритической воды / А.В. Лекарь, О.В. Филонова, С.Н. Борисенко [и др.] // Химия растительного сырья. 2014. №3, с. 201–207. DOI: 10.14258/jepm.1403201.
21. Добрунов Д. С.. Технологія комплексної переробки соняшникової макухи з безлушпинного ядра : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.06 // Дмитро Євгенійович Добрунов. – Харків, 2016. –181 с. – Бібліогр.: с. 136–151.

## References (transliterated)

- Labejko M.A. Pro zdatnist' prirodnih antioksidantiv vplivati na oksinnennja harchovih roslinnih olij / M.A. Labejko, O.A. Litvinenko, N.M. Ljubchenko [ta in.] // Integrovani tehnologij ta energozberezhennja. 2019. No. 1, – pp. 78–85.
- Shapovalova I.E. Vozmozhnost' ispol'zovanija podsolnechnogo shrota kak istochnika prirodnoho antioksidanta – hlorogenovoj kisloty / I.E. Shapovalova, Z.P. Fedjakina // Olijno-zhirovij kompleks. 2013. No.2 (41), pp. 49–50.
- Piven' O. M. Tehnologija stabilizacii harchovih zhiriv shhodo oksinjuval'nogo psuvannja: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.18.06; zahishhena 21.06.2007; zatv. 17.10.2007 / Olena Mikolaivna Piven'. – Kh., 2007. 169 p.
- Weisz G.M. Identification and quantification of phenolic compounds from sunflower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC-DAD/ESI-MSn / G.M. Weisz., D.R. Kammerer, R. Carle // Food Chemistry: 2009. No. 115, pp. 758–765.
- Shapovalova I.E. Obosnovanie poluchenija hlorogenovoj kisloty iz podsolnechnogo shrota / I.E. Shapovalova, Z.P. Fedjakina, I.N. Demidov i [dr.] // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovih tehnologij: 2013. No.6/6, pp. 39–41.
- Temple N.J. Antioxidants and disease: more questions than answers / N.J. Temple // Nutr Res. 2000. Vol. 20. No.3, pp. 449–459, doi: org/10.1016/S0271-5317(00)00138-X.
- Budryn, G. Influence of the Form of Administration of Chlorogenic Acids on Oxidative Stress Induced by High fat Diet in Rats / G. Budryn, D. Zaczynska, D. Zyzelewicz [et al.] // Plant foods for human nutrition. 2017. Vol. 72. No.2, pp. 184–191, doi: 10.1007/s1130-017-0608-3.
- Raudone, L. Phenolic antioxidant profiles in the whole fruit, flesh and peel of apple cultivars grown in Lithuania / L. Raudone, R. Raudonis, M. Liaudanskas [et al.] // Scientia horticulturae. 2016. Vol. 216, pp. 186–192, doi: 10.1016/j.scienta.2017.01.005.
- Klejdus B. Development of new efficient method for isolation of phenolics from sea algae prior to their rapid resolution liquid chromatographic-tandem mass spectrometric determination / B. Klejdus, M. Plaza, M. Snoblova, [et al.] // Journal of pharmaceutical and biomedical analysis. 2017. Vol. 135, pp. 87–96, doi: 10.1016/j.jpba.2016.12.015.
- Levickij A.P. Hlorogenovaja kislota: biokhimiya i fiziologija / A.P. Levickij, E.K. Vertikova, I.A. Selivanskaja // Mikrobiologija i bioteknologija. 2010. No.2, pp. 6–20.
- Litvinenko O.A. Virobnictvo harchovih form bilkiv iz nasinnja olijnih kul'tur/ [O.A. Litvinenko, F.F. Gladkij, Z.P. Fedjakina]. – K.: Agrar. Nauka, 2016. – 52p.
- Schmidt S. Potential application of oilseeds as source of antioxidants for food lipids – a review / S. Schmidt, J. Pokorny // Czech J Food Sci. 2005. Vol. 23, pp. 93–102.
- Yang D. Development of a new chlorogenic acid certified reference material for food and drug analysis / D. Yang.; L. Jiao, Tai Ling [et al.] // Journal of pharmaceutical and biomedical analysis. 2017. Vol. 140, pp. 169–173. doi: 10.1016/j.jpba.2017.03.026
- Chuklin R.E. Vlijanie kofejnoj kisloty na serdechno-sosudistuju sistemu v jeksperimente : dis. ... kand. med. nauk : 14.03.06 / Roman Evgen'evich Chuklin. – Kursk, 2012. – 130 p.
- Karamac M. Antioxidant activity of phenolic compounds identified in sunflower seeds / M. Karamac, A. Kosinska, I. Estrella [et al.] // Eur Food Res Technol. 2012. Vol. 235, pp. 221–230.
- Pedrosa M.M. Determination of caffeic and chlorogenic acids and their derivatives in different sunflower seeds / M.M. Pedrosa, M. Muzquiz, C. Garcia-Vallejo [et al.] // J Sci Food Agric. 2000. Vol. 80, pp. 459–464.
- Grujic N. Effects of Different Extraction Methods and Conditions on the Phenolic Composition of Mate Tea Extracts / N. Grujic., Z. Lepojevic., B. Srdjenovic [et al.] // Molecules. 2012. Vol. 17. № 3, pp. 2518–2528. doi: 10.3390/molecules17032518.
- Liu Q. M. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of chlorogenic acid from Folium eucommiae and evaluation of its antioxidant activity / Q. M. Liu., X. M. Yang, L. Zhan. [et al.] // J. of Medicinal Plants Research. 2010. Vol. 4. No.23, pp. 2503–2511.
- Upadhyay R. Microwave-assisted extraction of chlorogenic acids from green coffee beans / R. Upadhyay., K. Ramalakshmi, L.J.M. Rao // Food Chemistry. 2012. Vol. 130. No.1, pp. 184–188.
- Lekar' A.V. Jekstrakcija hlorogenovoj kisloty iz sabel'nika bolotnogo COMARUS PALUSTRE L. V srede subkriticheskoj vody / A.V. Lekar', O.V. Filonova, S.N. Borisenko [i dr.] // Himija rastitel'nogo syr'ja. 2014. No.3, pp. 201–207. doi: 10.14258/jepm.1403201.
- Dobrunov D. E. Tehnologija kompleksnoi pererobki sonjashnikovoi makuhi z bezlushpinnoho jadra : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.18.06 / Dmitro Evgenijovich Dobrunov. – Kharkiv, 2016. –181 p. – Bibliogr.: pp. 136–151.

Надійшла (received) 22.06.2019

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Лабейко Марина Анатоліївна (Лабейко Марина Анатольевна, Labeiko Marina Anatoliyivna)** – молодший науковий співробітник відділу досліджень технології переробки олій та жирів, Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України, м. Харків, Україна;

ORCID: 00000002-6306-6272; e-mail: [labejkomarina@gmail.com](mailto:labejkomarina@gmail.com)

**Литвиненко Олена Анатоліївна (Литвиненко Елена Анатольевна, Litvinenko Olena Anatoliyivna)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

ORCID: № 0000-0003-0493-1585; e-mail: [elena.litvinenko14@gmail.com](mailto:elena.litvinenko14@gmail.com)

**Любченко Надія Михайлівна (Любченко Надежда Михайловна, Liubchenko Nadiia Mihaylovna)** – магістрант, кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

ORCID: № 0000-0003-2305-3124; e-mail: [nadezhda.lvubchenko2016@gmail.com](mailto:nadezhda.lvubchenko2016@gmail.com)

**Гладкий Федір Федорович (Гладкий Федор Федорович, Gladkiy Fedir Fedorovich)** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

ORCID № 0000-0002-7995-0863; e-mail: [gladky2009@gmail.com](mailto:gladky2009@gmail.com).

**Л. С. МИРОНЕНКО, Є. А. КРИШТОП, Л. І. ГРИГОРОВА, В. К. ТИМЧЕНКО**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ САФЛОРУ ВІТЧИЗНЯНИХ СОРТІВ**

Статтю присвячено дослідженню перспективної для України олійної культури сафлор з метою обґрунтування доцільності його вирощування в умовах Східного Лісостепу (зокрема, на Харківщині). Наведено результати лабораторних досліджень щодо енергії проростання та схожості насіння сафлору сортів, рекомендованих для вирощування в умовах України. Визначено вплив класичних наноматеріалів (структурованої води і стимулюючих препаратів на основі фуллеренів) на посівні властивості сафлору. Визначено основні технологічні властивості насіння (вологість та олійність) та склад жирних кислот, кислотне число і перекисне число сафлорової олії.

**Ключові слова:** насіння сафлору; енергія проростання; наноматеріали; технологічні властивості; жирнокислотний склад олії.

### **Л. С. МИРОНЕНКО, Е. А. КРИШТОП, Л. И. ГРИГОРОВА, В. К. ТИМЧЕНКО** **ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН САФЛОРА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ**

Статья посвящена исследованию перспективной для Украины масличной культуры сафлор с целью обоснования целесообразности его выращивания в условиях Восточной Лесостепи (в частности, на Харьковщине). Приведены результаты лабораторных исследований по энергии прорастания и всхожести семян сафлора сортов, рекомендованных для выращивания в условиях Украины. Определено влияние классических наноматериалов (структурированной воды и стимулирующих препаратов на основе фуллеренов) на посевные свойства сафлора. Определены основные технологические свойства семян (влажность и масличность) и состав жирных кислот, кислотное число и перекисное число сафлорового масла.

**Ключевые слова:** семена сафлора; энергия прорастания; наноматериалы; технологические свойства; жирнокислотный состав масла.

### **L. S., MYRONENKO, E. A. KRISHTOP, L. I. GRIGOROVA, V. K. TIMCHENKO** **RESEARCH AND ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF SEEDS TO SAFLOR DOMESTIC VARIETIES**

Article is devoted to the study of safflower – oil-bearing crop, promising for Ukraine with a purpose of feasibility study of its growing in conditions of Eastern Forest-Steppe (in particular, in the Kharkiv region). Safflower has a fairly high level of profitability - reduces load on the soil, so it is a good predecessor. It is positioned as an alternative sunflower crop during growing in rainy conditions of the southern Steppe of Ukraine, as well as on impoverished and inadequate (saline and eroded) soils. In extremely drought conditions, with a significant freezing of winter cabbage crops, it is safflower that can stabilize the production of oilseeds and guarantee the profitability of crop and oilseed production. Results of laboratory examinations on the germinating power and capacity of safflower seeds of varieties, recommended for cultivation in Ukraine, are presented. Influence of classical nanomaterials (structured water and stimulants based on fullerenes) on the sowing properties of safflower has been determined. The important effect of nanomaterials is to increase resistance of plants to adverse environmental factors such as high and low temperatures, lack of moisture, phytotoxic effects of pesticides, pests and diseases, which ultimately contribute to a significant increase in viability and availability of environmentally friendly products. The main technological properties of seeds (moisture and oil content) and composition of fatty acids, acid number and peroxide number of safflower oil are determined.

**Keywords:** safflower seeds; germinating power; nanomaterials; technological properties; fatty-acid composition of oil.

**Вступ.** В Україні сафлор з'явився у другій половині XVIII століття. У довосенні роки на невеликих площах його вирощували переважно у південних посушливих районах. Середня урожайність насіння становить 10–12 ц/га, за сприятливих умов – до 20 ц/га і більше. Сафлор – теплолюбна і дуже посухостійка рослина короткого дня, добре пристосована до сухого континентального клімату. До тепла сафлор особливо вимогливий у фазі цвітіння і дозрівання. Разом з тим, сходи його витримують зниження температур до – 5–6 °С.

Сафлор красильний (*Cartamus tinctorius* L.) належить до тієї ж родини, що і соняшник. Він позиціонується як альтернативна культура соняшнику під час вирощування у бogarних умовах

південного Степу України, а також на збіднених і малопродатних (засолених та еродованих) ґрунтах. За екстремально посушливих умов при значному вимерзанні озимих капустяних культур саме сафлор може забезпечити стабілізацію виробництва олієнасіння і гарантувати прибутковість рослинництва та олієжирової галузі [1].

**Постановка проблеми.** Основу вітчизняної колекції сафлору складають сорти, що виведено в Інституті олійних культур НААН України, які мало адаптовані в умовах Лісостепу України [2]. Одним з елементів сучасної технології вирощування сільськогосподарських культур є передпосівна підготовка насіння.

©Мироненко Л.С., Криштоп Є.А., Григорова Л.І., Тимченко В.К., 2019

У виробничих умовах найбільш поширеним є хімічний спосіб передпосівної підготовки насіння. Проте його застосування не дає можливості одержати екологічно чисту продукцію та підвищує антропогенне навантаження на природні екосистеми. Тому нині важливим є розробка альтернативних методів передпосівної підготовки насіння, які б відповідали сучасним екологічним вимогам ведення сільського господарства і мали високу економічну ефективність.

Сафлор красильний (*Carthamus tinctorius L*) - рослина родини складноцвітих здавна відома як фарбувальна рослина і порівняно недавно стала використовуватися як олійна культура [3].

Сафлор має достатньо високий рівень рентабельності виробництва – знижує навантаження на ґрунт, тому є гарним попередником. Такі біологічні особливості, як нетривалий вегетаційний період та висока посухостійкість, роблять його культурою цілком придатною для вирощування в Україні, особливо на Півдні, Сході та Кримському півострові. Саме в цих регіонах сафлор може стати альтернативою традиційним олійним культурам – соняшнику, ріпаку, сої [4]. Тому розробка технології вирощування та переробки сафлору у східній частині Лісостепу України є актуальним та своєчасним питанням. Так, у виробництві врожайність цієї культури була і залишається низькою, що спричиняється як погодними умовами, так і недосконалістю сучасних технологій вирощування. Щоб виправити це становище впроваджуються нові сорти та технології, які дають змогу рослинам легше переносити стресові ситуації, а також продуктивно використовувати свій потенціал. Останніми роками об'єктами досліджень є нанобіотехнології. Нанобіотехнології, як і класична селекція, можуть оперативніше впливати на виробництво і якість врожаю, продуктивність рослин, а також підтримувати і відтворювати сорти з використанням генетичної мінливості і різноманітності, закодованої у нанометровому масштабі у ДНК. Завдяки розвитку та застосуванню нових нанобіотехнологічних методів вже з'явилися не тільки рекомбінантні молекули ДНК, але і нові організми із заданими властивостями здатні прискорити і спростити сільськогосподарське виробництво, домогтися масштабного одержання нових сортів рослин і сільськогосподарських матеріалів [5]. Наночастинки впливають на біологічні об'єкти на клітинному рівні, підвищуючи ефективність протікання процесів у рослинах, а також, беручи участь у формуванні мікроелементного балансу, тобто є біоактивними [6].

Використання у рослинництві особливих властивостей наноматеріалів дає змогу забезпечити збалансований вміст поживних речовин, необхідних для покращання властивостей ґрунту, росту рослин. Важливою дією наноматеріалів є підвищення стійкості рослин до несприятливих факторів навколишнього середовища – високих та низьких

температур, нестачі вологи, фітотоксичної дії пестицидів, пошкодження шкідниками та хворобами, що в кінцевому результаті сприяє значному підвищенню врожайності та отриманню екологічно чистої продукції.

Загалом, наукових досліджень, присвячених впливу наноматеріалів на схожість насіння сафлору у лабораторних умовах фактично не проводили. Зважаючи на це і на основну проблему сафлору – складність вчасного та дружнього отримання сходів, ми поставили перед собою завдання вивчити вплив сучасних наноматеріалів на посівні якості насіння сафлору вітчизняних сортів, вивчити його технологічні особливості, а також структурні показники олії з насіння сафлору.

**Мета і задачі досліджень.** Метою даних досліджень є вивчення особливостей вирощування рекомендованих сортів сафлору в умовах Лісостепу за допомогою наноматеріалів, а також технологічна оцінка насіння сафлору як олійної культури.

Для досягнення заданої мети поставлено наступні задачі:

- провести лабораторні дослідження енергії проростання та схожості насіння сафлору вітчизняних сортів за умови дії наноматеріалів;
- обґрунтувати вибір сорту насіння сафлору, адаптованого до зони Східного Лісостепу;
- визначити основні технологічні показники насіння сафлору;
- визначити структурні та фізико-хімічні показники олії з насіння сафлору.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Об'єктами досліджень були сорти сафлору, які на сьогодні занесені до Державного реєстру сортів рослин України: Сонячний, Живчик (Інститут олійних культур НААНУ, м. Запоріжжя), сорт Лагідний створений спільно з НВФ «Дріада» (м. Херсон). Лабораторна схожість проростання насіння сафлору зазначених сортів визначалась за методикою, прийнятою у лабораторії кафедри екології та біотехнології Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва [7].

В якості наноматеріалів (стимуляторів росту) було використано наступні класичні продукти [8-11]:

- структурована (кластерна) вода, яка представляє з себе водний розчин гідратованого фулерену C60 з концентрацією 144 мг/л;
- гумир, до складу якого входить (поліетиленгліколь (далі - ПЕГ) - 400, ПЕГ-1500, гуMAT натрію, бурштинова кислота і фулеренова вода;
- гумир 1, отриманий на основі Гумиру з додавання масляного розчину мікробіологічного β-каротину.

Для визначення схожості насіння сафлору зазначених сортів за розробленою методикою відраховували три проби насіння кожного сорту у кількості 50 насінин у пробі. Перед пророщуванням насіння сафлору намочували протягом 1–2 години у дистильованій воді (мокрый контроль) або розчині стимулятора. Лист паперу розміром 40x50 см підписували простим олівцем у верхньому куту, по

ширині складали вдвоє, потім розгортали, зволожували пульверизатором дистильованою водою (розчином стимулятора) одну половину листа. Пробу насіння розкладали під маркер або порохове на відстані 2 см зверху по 25 штук на лист у шаховому порядку в 4 рядка, знизу листа залишали біля 7 см. Насіння розташовували гострим кінчиком до низу листа. Накривали відігнутою половиною листа, зволожували, звертали не туго у рулон і розміщували вертикально нижньою стороною у склянці з дистильованою водою або у розчині стимулятора. Склянки з рулонами розміщували у термостатах з температурою 15 °С. Контролювали температуру і вентиляцію термостату, термін визначення енергії проростання і схожості, а також вологість рулону, додаючи за необхідності дистильовану воду (розчин стимулятора) до склянки.

Додаткові умови пророщування: у термостаті підтримували температуру згідно умов, перевіряючи її 3 рази на добу, вона не повинна відхилитися на  $\pm 2$  °С; забезпечували постійну вентиляцію у термостатах; щодоби розгортали рулони на кілька

секунд; воду у піддоні термостату міняли кожні 3–5 діб. Слід відмітити, що енергію проростання, схожість насіння проводили на 4 та 10 добу відповідно до ДСТУ 4138 [12].

В результаті проведених досліджень було визначено енергію проростання та схожості насіння сафлору при обробці їх наноматеріалами, які наведено в табл. 1.

Зразки для порівняння – це сухий і мокрий (з дистильованою водою або розчином стимулятора) контроль.

Таблиця 1 – Середні показники енергії проростання і схожості насіння сафлору під впливом наноматеріалів (стимуляторів росту)

Варіант обробки	Енергія проростання, %	Схожість, %
Сорт Сонячний		
Сухий контроль	57.00 $\pm$ 0.3	68.10 $\pm$ 0.3
Мокрий контроль	60.20 $\pm$ 0.3	69.70 $\pm$ 0.3
Структурована вода	66.70 $\pm$ 0.3	71.10 $\pm$ 0.3
Гумир	67.70 $\pm$ 0.3	72.60 $\pm$ 0.3
Гумир-1	67.78 $\pm$ 0.3	72.40 $\pm$ 0.3
Сорт Живчик		
Сухий контроль	63.15 $\pm$ 0.3	67.30 $\pm$ 0.3
Мокрий контроль	64.10 $\pm$ 0.3	70.40 $\pm$ 0.3
Структурована вода	64.30 $\pm$ 0.3	72.40 $\pm$ 0.3
Гумир	64.40 $\pm$ 0.3	72.50 $\pm$ 0.3
Гумир-1	64.30 $\pm$ 0.3	72.20 $\pm$ 0.3
Сорт Лагідний		
Сухий контроль	59.00 $\pm$ 0.3	74.90 $\pm$ 0.3
Мокрий контроль	64.95 $\pm$ 0.3	76.45 $\pm$ 0.3
Структурована вода	66.95 $\pm$ 0.3	76.90 $\pm$ 0.3
Гумир	68.40 $\pm$ 0.3	77.10 $\pm$ 0.3
Гумир-1	68.10 $\pm$ 0.3	77.15 $\pm$ 0.3

Як видно з табл. 1, найбільш ефективним з досліджених нами сортів сафлору виявився сорт «Лагідний». Застосування при вирощуванні насіння структурованої води або Гумиру та Гумиру-1 приводить до підвищення схожості і енергії проростання.

Доцільно відмітити, що селекційна робота з створення районованих сортів сафлору з високим вмістом олії ліпшими адаптаційними показниками проводиться постійно. Найбільш привабливим з них є сорт «Лагідний». Цей сорт дозволяє збирати врожай до 15–18 ц/га в умовах південних регіонів України.

Для підтвердження висновків, отриманих в лабораторних умовах, проведено польові випробування на базі Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва, які повністю підтвердили доцільність вибору сорту «Лагідний», як більш перспективного.

При цьому урожайність сафлору цього сорту

при використанні як структурованої води, так і Гумиру вище, ніж інших сортів і складає 13,0-13,5 ц/га в умовах Східного Лісостепу.

Технологічні властивості насіння сафлору сорту «Лагідний», а саме олійність та вологість визначали за стандартними для олієжирової галузі методиками згідно ДСТУ 4811 [13] та ДСТУ 7577 [14]. Для насіння сафлору сорту «Лагідний» вологість складає 5.4 – 8.0 %, а олійність – 37.0 – 40.6 % (у перерахунку на абсолютно суху речовину).

Головна вимога до сортів насіння сафлору під час його виробництва і переробки — це наявність інформації щодо жирно кислотного складу олії з насіння. Цей показник є обов'язковим у розвинутих країнах, оскільки від нього залежить напрямок використання сафлорової олії [15].

В табл. 2 наведено жирнокислотний склад олії з насіння сорту «Лагідний».

Таблиця 2 – Жирнокислотний склад олії з насіння сорту «Лагідний»

Показник	Масова частка жирної кислоти, %
C <sub>12:0</sub> -лауринова	0.1
C <sub>14:0</sub> -міристинова	0.1
C <sub>16:0</sub> -пальмітинова	7.6
C <sub>16:1</sub> -пальмітолеїнова	0.1
C <sub>18:0</sub> -стеаринова	2.0
C <sub>18:1</sub> -олеїнова	11.6
trs C <sub>18:1</sub> -олеїнова	4.3
C <sub>18:2</sub> -лінолева	72.9
C <sub>18:3</sub> -ліноленова	0.4
C <sub>20:0</sub> -арахінова	0.2
C <sub>22:0</sub> -бегенова	0.4
C <sub>24:0</sub> -лігноцеринова	0.1
C <sub>24:1</sub> -селохолева	0.1
Не ідентифікована	0.1

Жирнокислотний склад олії з насіння сафлору визначали методом газорідної хроматографії згідно ГОСТ 30418 [16] у лабораторії інструментальних досліджень Українського науково-дослідного інституту олій та жирів (м. Харків). Наведені дані у табл.2 свідчать про те, що в олії з насіння сафлору сорту «Лагідний» ідентифіковано 13 жирних кислот. Домінуючою кислотою є лінолева кислота, масова частка якої сягає величини 72.9 %, що є характерним для сафлорової олії. Несподіваним є результат відносно наявності 4.3 % транс-ізомеру олеїнової кислоти. Виявлено незначні кількості мінорних кислот: міристинової (0.1 %), арахінової (0.2 %), селохолевої (0.1 %), які не ідентифікували інші автори. Фізико-хімічні показники олії: кислотне число – 4.0 мг КОН/г, пероксидне – 8.6 ½ О ммоль/кг.

#### Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Показано, що завдяки застосуванню класичних стимуляторів росту (структурованої гідратованим фулереном води і розчинів Гумиру та Гумиру-1) енергія проростання насіння сафлору зростає в середньому на 10–15 %, а схожість – на 5–10 %.

Сорт насіння сафлору Лагідний має найбільшу енергію проростання (≈ 68 % і схожість (≈ 77.0 %) серед рекомендованих сортів, що є достатнім для практичних цілей.

Технологічні властивості насіння сафлору і, перш за все, висока олійність (≈ 37 %) та значний вміст есенціальної лінолевої кислоти у сафлоровій олії (72.9 %) підтверджують перспективність сафлору як олійної культури для Східного лісостепу.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на удосконаленні технології видобування сафлорової олії, особливо стосовно вирішення проблеми ефективного обґрунтування насіння сафлору з метою одержання олії харчового призначення.

#### Список літератури

1. Шевченко І. А., Поляков О. І., Ведмедева К. В., Комарова І. Б. *Рижій, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені*

*культури)*. Інститут олійних культур НААН України. – Запоріжжя: Статус, 2017. 40 с.

2. Ведмедева К. В., Єрмаков А. І. *Характеристика колекції сафлору (Carthamus Tinctorius L.)*. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН України. – Запоріжжя: Статус, 2011.
3. Пузік В. К., Криштоп Є. А., Волощенко В. В. Вивчення жирно-кислотного складу олії з насіння сафлору, культивованого в умовах Східного Лісостепу та перспективи його використання. *Вісник ХНАУ, Серія "Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво": зб. н. праць*. Харк. нац. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва. – Харків, 2015. № 2. С. 133–141.
4. Радченко Є. О. Ботанічна характеристика та адаптивна технологія виробництва сафлору. *Агроном*. 2009. № 3. С. 170–172.
5. Федоренко В. Ф., Ерохин М. Н., Балабанов В. И., Буклагин Д. С., Голубев И. Г., Ищенко С. А. *Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе*: науч. издание. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 312 с.
6. Ситар О. В., Новицька Н. В., Таран Н. Ю., Каленська С. М., Ганчурін В. В. Нанотехнології в сучасному сільському господарстві. *Фізика живого*. 2010. Т.18, № 3. С. 113–116.
7. ГОСТ 24933.0-81. *Семена цветочных культур. Правила приемки и методы отбора проб*. Москва: Стандартиформ, 1986. 23 с.
8. Кричковська Л. В., Мироненко Л. С. Пошуки нових препаратів для підвищення врожайності сільськогосподарських рослин. *Тези доповідей IV міжнар. наук.-практ. конф. «Біотехнологія. Наука. Освіта. Практика.» (11-13 листопада, Дніпропетровськ)*. Дніпропетровськ, 2008. С. 128–129.
9. Кричковская Л. В., Мироненко Л. С. Использование кластерной природы воды в препаратах нового поколения для сельского хозяйства. *Науч. конф., посв. 85-летию каф. орган. и биол. химии и 90-летию со дня рождения почетного профессора МПГУ Филипповича Ю.Б. (26 ноября 2009, Москва)*. Москва, 2009. С. 120–121.
10. Мироненко Л. С., Кричковська Л. В. Розробка технології отримання препарату для росту рослин з використанням гідратованих фулеренів. *Міжнародна наукова конференція MicroCAD: Секція №12 - Удосконалення технології органічних речовин*. Харків: НТУ "ХП", 2011. №8. С.123.
11. Кричковська Л. В., Варанкіна О. О., Жулінська О. В., Белінська А. П., Мироненко Л. С. *Біологічно активні речовини і харчові добавки: навчальний посібник*. Харків: НТУ «ХП», 2012. 98 с.
12. ДСТУ 4138–2002. *Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості*/Нац. стандарт України. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 17 с.
13. ДСТУ 4811:2007. *Насіння олійних культур. Методи визначення вологості*/Нац. стандарт України. – К.: Національний науковий центр Ін-т землеробства Національної академії аграрних наук України, 2007. 10 с.
14. ДСТУ 7577:2014. *Насіння олійне. Визначення вмісту олії методом екстракції в апараті Сокслета* / Нац. стандарт України. Київ: Держспоживстандарт України, 2014. 9 с.
15. Зубков В. В., Милехин А. В., Куркин В. А. и др. Перспективы использования масла семян сафлора красильного в пищевой и фармацевтической промышленности. *Известия Самарского НЦ РАН*. 2014. Т.16, № 5(3). С. 1135–1139.
16. ГОСТ 30418-96. *Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава*. Минск:



Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 7 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Shevchenko I. A., Poljakov O. I., Vedmedjeva K. V., Komarova I. B. *Ryzhij, saflor, kunzhut. Strategija vyrobnyctva olujnoi' syrovyny v Ukrai'ni (maloposhyreni kul'tury)* [False flax, safflower, sesame. Strategy for production of oilseeds in Ukraine (not widespread crops)]. Institute of oilseeds NAAS of Ukraine. – Zaporozhye: Status, 2017. 40 p.
2. Vedvedjeva K. V., Jermakov A. I. *Harakterystyka kolekcii' safloru (Carthamus Tinctorius L.)* [Characteristics of safflower collection (Carthamus Tinctorius L.)]. Scientific-technical bulletin Institute of oilseeds NAAS of Ukraine. – Zaporozhye: Status, 2011.
3. Puzik V. K., Kryshchtop Je. A., Voloshchenko V. V. *Vyvchennja zhyrno-kyslotnogo skladu olii' z nasinnja safloru, kul'tyvanogo v umovah Shidnogo Lisostepu ta perspektyvy jogo vykorystannja* [Study of fatty acid composition of safflower seed oil cultivated in conditions of the Eastern Forest-steppe and prospects for its use]. *Visnyk HNAU, Serija "Roslynyctvo, selekcija i nasynnyctvo, plodoovochivnyctvo": zbirnyk naukovykh prac'*. [Bulletin of the KhNAU, Series "Crop, breeding and seed production, fruit and vegetable production": a collection of scientific papers]. Khark. nation. agrar. univ-ty named after V. V. Dokuchaev. - Kharkiv, 2015. no 2. pp. 133-141.
4. Radchenko Je. O. *Botanichna karakterystyka ta adaptivna tehnologija vyrobnyctva safloru* [Botanical characteristic and adaptive technology of safflower production]. *Agronom.* 2009, no 3, pp. 170-172.
5. Fedorenko V. F., Erohin M. N., Balabanov V. I., Buklugin D. S., Golubev I. G., Ishhenko S. A. *Nanotehnologii i nanomaterialy v agropromyshlennom komplekse* [Nanotechnologies and nanomaterials in agro-industrial complex]: scientific edition. M., FGBNU «Rosinformagroteh», 2011. 312 p.
6. Sytar O. V., Novyc'ka N. V., Taran N. Ju., Kalens'ka S. M., Ganchurin V. V. *Nanotehnologii' v suchasnomu sil's'komu gospodarstvi* [Nanotechnologies in modern agriculture]. *Fizyka zhyvogo.* 2010, vol.18, no 3, pp. 113-116.
7. GOST 24933.0-81. *Semena cvetochnykh kul'tur. Pravila priemki i metody otbora prob* [Interstate standard 24933.0-81. Seed of flowers. Acceptance rules and sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 1986. 23 p.
8. Krychkovs'ka L. V., Myronenko L. S. *Poshuky novykh preparativ dlja pidvyshhennja vrozhajnosti sil's'kogospodars'kyh roslyn* [Search for new drugs to increase the yield of agricultural plants]. *Tezy dopovidej IV mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Biotehnologija. Nauka. Osvita. Praktyka.» (11-13 lystopada, Dnipropetrovs'k)* [Abstracts of the IV Int. Sci.-Pract. Conf. "Biotechnology. Science. Education. Practice." (11-13 November 2008, Dnipropetrovsk)]. Dnipropetrovsk, 2008, pp. 128-129.
9. Krychkovs'ka L. V., Mironenko L. S. *Ispol'zovanie klasternoj prirody vody v preparatah novogo pokolenija dlja sel'skogo hazhajstva* [Use of the cluster nature of water in the preparations of the new generation for agriculture]. *Nauch. konf., posv. 85-letiju kaf. organ. i biol. himii i 90-letiju so dnja rozhdenija pochetnogo professora MPGU Filippovicha Ju. B. (26 nojabrja 2009, Moskva)* [Sci. Conf., dedicated to the 85th anniversary of Department. organ. and biol. chemistry and the 90th anniversary of the birth of honorary professor of MPGU Filippovich Yu. B. (26 November 2009, Moscow)]. Moscow, 2009, pp. 120-121.
10. Myronenko L. S., Krychkovs'ka L. V. *Rozrobka tehnologii' otrymannja preparatu dlja rostu roslyn z vykorystannjam gidratovanykh fullerenuv* [Development of the technology for obtaining a preparation for growth of plants using hydrated fullerenes]. *Mizhnarodna naukova konferencija MicroCAD: Sekcija №12 - Udoskonalennja tehnologii' organichnykh rehovyn* [International Scientific Conference MicroCAD: Section no.12 Improvement of Organic Substances Technology]. Kharkiv, NTU"KhPI", 2011. no. 8. p. 123.
11. Krychkovs'ka L. V., Varankina O. O., Zhulins'ka O. V., Bjelins'ka A. P., Myronenko L. S. *Biologichno aktyvni rehovyny i harchovi dobavky: navchal'nyj posibnyk* [Biologically active substances and nutritional supplements: educational accessory]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2012. 98 p.
12. DSTU 4138-2002. *Nasinnja sil's'kogospodars'kyh kul'tur. Metody vyznachennja jakosti* [State Standard 4138-2002. Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality]. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine Publ., 2003. 170 p.
13. DSTU 4811:2007. *Nasinnja olujnykh kul'tur. Metody vyznachennja vologosti* [State Standard 4811:2007. Oilseeds. Methods of moisture content determination]. Kyiv: National Scientific Center "Agriculture Institute of National Academy Agrarian Sciences of Ukraine" Publ., 2007. 10 p.
14. DSTU 7577:2014. *Nasinnja olujne. Vyznachannja vmistu olii' metodom ekstrakcii' v aparati Soksleta* [Oil seeds. Determination of oil content by extraction method in Soxhlet apparatus]. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine Publ., 2014. 9 p.
15. Zubkov V. V., Milehin A. V., Kurkin V. A. et al. *Perspektivy ispol'zovanija masla semjan saflora krasil'nogo v pishhevoj i farmacevticheskoj promyshlennosti* [Prospects for usage of safflower seed oil in food and pharmaceutical industries]. *Izvestija Samarskogo NC RAN.* 2014, vol.16, no 5(3), pp. 1135-1139.
16. GOST 30418-96. *Masla rastitel'nye. Metod opredelenija zhirnokislotojnogo sostava* [Interstate standard 30418-96. Vegetable oils. Method for determination of fatty acid content]. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification Publ., 1996. 7 p.

Received 17.06.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Мироненко Лілія Сергіївна (Myronenko Lilija Sergeevna, Мироненко Лилия Сергеевна)** – асистент кафедри органічного синтезу і нанотехнологій НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна; e-mail: [Fox-phenek@ukr.net](mailto:Fox-phenek@ukr.net)

**Кришчтон Євгеній Анатолійович (Krishtop Evgen Anatol'evich, Кришчтон Евгений Анатольевич)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та біотехнології ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, м. Харків, Україна; e-mail: [shtoppi06@gmail.com](mailto:shtoppi06@gmail.com), [kafecobio@ukr.net](mailto:kafecobio@ukr.net)

**Григорова Любов Іванівна (Grigороva Ljubov' Ivanovna, Григорова Любовь Ивановна)** – кандидат технічних наук, зав. лабораторією інструментальних досліджень Українського науково-дослідного інституту олій та жирів, м. Харків; e-mail: [lab.fatoil@gmail.com](mailto:lab.fatoil@gmail.com)

**Тимченко Валентина Кузьмівна (Timchenko Valentina Kuzminichna, Тимченко Валентина Кузьминична)** – кандидат технічних наук, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна; контактний тел.: (057) 707-63-29

**С. І. БУХКАЛО, О. І. ОЛЬХОВСЬКА, В. О. ОЛЬХОВСЬКА, М. М. ЗІПУННИКОВ**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ З ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ПІСЛЯСПИРТОВОЇ БАРДИ**

Предметом дослідження статті є технологія переробки та утилізації післяспирткової барди на базі різновидів технології та обладнання. Встановлено можливість використання переваг сучасних пластинчастих теплообмінників для інтеграції їх технологічних процесів. Інноваційним предметом дослідження є комплексна технологія переробки та кінцевої утилізації післяспирткової барди. Матеріали статті надають оцінку способам використання фільтрату барди для отримання кормових продуктів, збагачених живими клітинами бактерій лактобактерій та пропіонової кислоти, а також білком. У таких технологіях введення хлориду кобальту в навколишнє середовище в концентрації 1,1 мг/л викликає збільшення вмісту біомаси, живих клітин бактерій пропіонової кислоти та накопичення білка. Вміст нуклеїнових кислот у продуктах корму, отриманих як роздільним, так і спільним вирощуванням бактерій, не перевищує допустимий рівень (до 10 г/добу) споживання тварин. У процесі дослідження післяспирткової барди отримано білок високий вміст. Фільтрат може бути повернутий повністю в спиртове виробництво.

**Ключові слова:** післяспиртова барда; комплексна утилізація; фільтрат; кормові продукти; пластинчасті теплообмінники.

**С. И. БУХКАЛО, О. И. ОЛЬХОВСКАЯ, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ, Н. Н. ЗИПУННИКОВ**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОЙ ИНЖЕНЕРИИ В ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ**

Предметом исследования статьи является технология переработки и утилизации послеспиртовой барды на базе разновидностей технологии и оборудования. Установлена возможность использования преимуществ современных пластинчатых теплообменников для интеграции технологических процессов. Инновационным предметом исследования является комплексная технология переработки и конечной утилизации послеспиртовой барды. Материалы статьи предоставляют оценку способам использования фильтрата барды для получения кормовых продуктов, обогащенных живыми клетками бактерий лактобактерий и пропионовой кислоты, а также белком. В таких технологиях введение хлорида кобальта в окружающую среду в концентрации 1,1 мг/л вызывает увеличение содержания биомассы, живых клеток бактерий пропионовой кислоты и накопление белка. Содержание нуклеиновых кислот в продуктах корма, полученных как раздельным, так и общим выращиванием бактерий, не превышает допустимый уровень (до 10 г/сут) потребления животных. В процессе исследования послеспиртовой барды получено белок высокое содержание. Фильтрат может быть возвращен полностью в спиртовое производство.

**Ключевые слова:** послеспиртовая барда; комплексная утилизация; фильтрат; кормовые продукты; пластинчатые теплообменники.

**S. I. BUKHALO, O. I. OLKHOVSKA, V. O. OLKHOVSKA, M. M. ZIPUNNIKOV**

### **RESEARCH AND ANALYSIS OF INNOVATIVE MEASURES ON COMPLEX RECYCLING TECHNOLOGY OF DISTILLERS GRAINS**

The subject of the article's research is the technology of processing and recycling of post-alcohol bard based on the types of technology and equipment. The possibility of using the advantages of modern plate heat exchangers for the integration of their technological processes is established. An innovative subject of research is a complex technology of processing and final disposal of post-alcohol bards. The article provides an assessment of how to use bard filtrate to obtain feed products enriched with live cells of lactobacilli and propionic acid, as well as protein. In such technologies, the introduction of cobalt chloride into the environment at a concentration of 1.1 mg/l causes an increase in the content of biomass, living cells of bacteria of propionic acid and protein accumulation. The content of nucleic acids in feed products obtained as separate and co-growing bacteria does not exceed the allowable level (up to 10 g/day) of animal consumption. In the post-alcohol bard study, a high protein content was obtained. The filtrate can be completely returned to alcohol production. This article describes the possibilities of assessing: the main demands to ethyl alcohol production looked through, it is considered. The possibility of using the advantages of modern plate heat exchangers units for their trntry saving process integration was pointed out.

**Keywords:** post-alcohol bard; complex utilization; filtrate; feed products; plate heat exchangers.

**Вступ.** Виробництво етилового спирту продовжує неухильно зростати – більш ніж 150 галузей промисловості застосовує його для різних цілей й кількість споживачів зростає. Економічність виробництва спирту визначається витратами різних видів енергії, енергоефективністю використовуваного встаткування й технологій, застосуванням заходів з ресурсо- і енергозбереження протягом усього процесу, а також розробкою екологічно чистих енерготехнологій. Стічні води спиртових заводів, що переробляють крохмальвмісну сировину, відносяться до категорії висококонцентрованих за органічним забрудненням. Їх склад і кількість залежать від технології виробництва спирту, а необхідна ефективність очищення обумовлена

умовами скидання. Слід відзначити, що у середньому на 1 дал спирту із зерна або картоплі звичайно одержують 0,14 м<sup>3</sup> барди. В 1 т такої барди втримується 18,6 кг сирого протеїну, який при обробці перетворюється в протеїн дріжджів, і з урахуванням азоту, що вводиться в корми, вміст перетравлюваного тваринами протеїну збільшується у два рази.

Утилізація спирткової барди, крім важливого економічного ефекту, має також велике екологічне значення. Практично всі спиртові заводи за межами нашої країни мають відділення з утилізації барди, продуктом виробництва якого є сухий кормовий продукт.

© Бухкало С.І., Ольховська О.І., Ольховська В.О., Зіпунніков М.М., 2019

Зернова, картопляна або мелясна барда відрізняються за своїм складом, по концентрації й номенклатурі сухих речовин, і, отже, по кормовій цінності. Перевозити неперероблену бардові не має сенсу: великий об'єм рідини й досить низький вміст коштовних речовин робить транспортування цих відходів нерентабельним.

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

**1. Аналіз сучасного стану проблеми.** Пропоновані технології переробки барди можна умовно розділити на чотири основні технологічні схеми з: випарними станціями; аеробною мікробіологічною переробкою рідкої фази з одержанням кормових дріжджів; метантанками з одержанням біогазу; комбіновані схеми.

За думкою деяких авторів, найбільш перспективним і рентабельним способом біологічної очистки стічних вод спиртових виробництв можуть бути двоступеневі аеротенки, технологічні параметри роботи яких можуть бути встановлені тільки експериментально з урахуванням конкретних умов основного виробництва. В основу комбінованих технологічних схем покладені відомі технологічні прийоми, що успішно зарекомендували себе – поділ рідкої й твердої фази на центрифугах, вирощування кормових дріжджів на субстраті, сушіння продукції [1–3]. Технологічні схеми з випарними станціями пов'язані з розпарюванням фугату у випарних станціях є найпоширенішими у світі. Приваблива простота технічного оформлення не знімає, однак, проблем: вартість випарних станцій і допоміжного устаткування досить висока, процес випарки вимагає значних енергетичних витрат, а утилізація одержуваного конденсату стає окремим завданням, розв'язок якого усередині технології не закладений.

Схеми з одержанням кормових дріжджів пов'язані з тим, що вже із другої половини ХХ століття як кормові добавки у тваринництві стали широко застосовуватися кормові дріжджі. Вони суттєво підвищують біологічну цінність кормів, насамперед за рахунок незамінних амінокислот, що втримуються в них, і вітамінів. У цей час одержання кормових дріжджів обмежене дрібними місцевими виробництвами в різних господарствах.

Істотне зниження вартості встаткування з одночасним зниженням експлуатаційних витрат при переробці післяспиртової барди, на думку ряду авторів, можна одержати, якщо застосувати замість випарювання технологію аеробної мікробіологічної переробки рідкої фази з одержанням концентрованих кормових дріжджів.

Процеси окислення при біологічному очищенні концентрованих стічних вод супроводжуються виділенням великої кількості вільної енергії, яка може використовуватися в реакціях клітинного синтезу і для енергетичних потреб клітини. При аеробному окисленні отримання енергії є більш економічним, ніж при анаеробному, і однакову

кількість субстрату здатне підтримувати значно більше біомаси аеробного активного мулу, ніж анаеробного. Процес окислення забруднень в аеробних умовах протікає з утворенням  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , тоді як в анаеробних умовах утворюються низькомолекулярні органічні сполуки – метан, органічні кислоти і т.д. Процес очищення в аеробних умовах протікає більш глибоко, ніж в анаеробних. Технологія переробки барди на біогаз заснована на анаеробному бродінні: барда подається в спеціальні ємності, у які вводяться анаеробні бактерії. Однак, у даному способі переробки барди необхідні величезні метантанки, тому що процес переробки барди анаеробними бактеріями вкрай повільний. Іншим недоліком методу є досить тривалий період виходу на режим – до 6 місяців.

Комбінована технологічна схема переробки барди розроблена порівняно недавно, вона передбачає переробку післяспиртової барди в сухий дріжджовий кормовий концентрат – суміш твердої фази барди, з вирощеними на основі фугату кормовими дріжджами. Запропонована схема дозволяє в значній мірі заощаджувати енергоресурси в процесі переробки барди.

Крім виробництва сухого концентрату барди в деяких випадках вигідно одержувати згущену барду, яка може транспортуватися на значні відстані. При цьому згущена мелясна барда використовується як високоякісне добриво. Реалізація цього процесу дуже ефективна при використанні пластинчастих випарних апаратів різної потужності.

**2. Визначення основних критеріїв дослідження.** Процеси окислення при біологічному очищенні концентрованих стічних вод супроводжуються виділенням великої кількості вільної енергії, яка може використовуватися в реакціях клітинного синтезу і для енергетичних потреб клітини. При аеробному окисленні отримання енергії є більш економічним, ніж при анаеробному, і однакову кількість субстрату здатне підтримувати значно більше біомаси аеробного активного мулу, ніж анаеробного. Процес окислення забруднень в аеробних умовах протікає з утворенням  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , тоді як в анаеробних умовах утворюються низькомолекулярні органічні сполуки – метан, органічні кислоти і т.і. Процес очищення в аеробних умовах протікає більш глибоко, ніж в анаеробних. Технологія переробки барди на біогаз заснована на анаеробному бродінні: барда подається в спеціальні ємності, у які вводяться анаеробні бактерії. Однак, у даному способі переробки барди необхідні величезні метантанки, тому що процес переробки барди анаеробними бактеріями вкрай повільний. Іншим недоліком методу є досить тривалий період виходу на режим – до 6 місяців.

Комбінована технологічна схема переробки барди розроблена порівняно недавно, вона передбачає переробку післяспиртової барди в сухий дріжджовий кормовий концентрат – суміш твердої фази барди, з вирощеними на основі фугату

кормовими дріжджами. Запропонована схема дозволяє в значній мірі заощаджувати енергоресурси в процесі переробки барди.

Крім виробництва сухого концентрату барди в деяких випадках вигідно одержувати згущену барду, яка може транспортуватися на значні відстані. При цьому згущена мелясна барда використовується як високоякісне добриво. Реалізація цього процесу дуже ефективна при використанні пластинчастих випарних апаратів різної потужності.

## Виклад основного матеріалу дослідження.

### 1. Загальні положення теми.

У процесі одержання спирту в барді залишаються майже всі, за винятком крохмалю й сахарів, живильні речовини, що присутні у вихідній сировині, яка надходить у спиртове виробництво, внаслідок чого барда являє собою досить коштовний харчовий і кормовий продукт незалежно від виду використовуваної сировини (табл. 1).

Таблиця 1. Витрата сировини для вироблення спирту і його кормова цінність (корм. од.)

Вид сировини	Вихід спирту з одиниці сировини, дал/т	Кормова цінність сировини, 1 кг корм. од.	Вихід барди, дал/дал спирту	Кормова цінність барди, 1 кг корм. од.
Картопля	9,8	0,30	12,0	0,04
Цукровий буряк	9,0	0,26	12,0	0,04
Пшениця	36,0	1,20	12,0	0,09
Кукурудза	37,5	1,34	12,0	0,12
Жито	35,4	1,18	12,0	0,08
Ячмінь	29,8	1,21	12,0	0,09
Меляса	31,0	0,77	11,0	–

При скиданні неочищених стічних вод спиртового заводу на міські очисні споруди навантаження на них по БСК зростає від 1 до 3 тон на добу в залежності від продуктивності заводу. Для утилізації барди спиртового виробництва в цей час використовують два основні способи:

1) випарювання (згущення) з метою одержання кормових концентратів;

2) у якості сировини для виробництва кормових дріжджів.

Ці способи дають відходи зі вмістом сухих речовин до 8 %, які також необхідно утилізувати. Незалежно від застосовуваного сировини технологічний процес одержання етилового спирту включає три основні стадії:

- 1) підготовка сировини до зброджування;
- 2) зброджування сахароутримуючих середовищ;
- 3) виділення спирту із бражки.

Підготовча стадія найбільш проста при переробці в етиловий спирт сахароутримуючих матеріалів. В Україні спирт із такого виду сировини в основному одержують із меляси. При використанні крохмалеутримуючої сировини метою підготовчої стадії є оцукрювання крохмалю.

Правильний добір високоефективного теплообмінного встаткування багато в чому визначає продуктивність і економічність процесу в цілому. Найбільш ефективним і сучасним є безперервно-потоківий спосіб, який підвищує продуктивність бродильного відділення, сприяє затримувannya розвитку інфекції в масі й подовжує строк роботи бродильної батареї між профілактичними стерилізаціями встаткування.

### 2. Загальні положення технології.

Технологічна схема (рис. 1) одержання сухого продукту випарної установки з механічною

рекомпресією для зневоднювання рідкої фази післяспиртової барди з використанням декантерних центрифуг, пластинчастих випарних апаратів і пластинчастих теплообмінників для підігріву барди і як конденсатори виглядає в такий спосіб:

- післяспиртова барда з концентрацією сухих речовин, приблизно 7,5–8,0 %, спочатку подається на роздільне сито, де частина її фільтрується й далі використовується для готування замісу;

- густа частина відфільтрованої барди й не фільтрована барда зливаються в збірник, і суміш насосом подається на ділянку центрифугування;

- перед центрифугуванням барда може бути нагріта у звичайному пластинчастому розбірному теплообмінному апараті й далі подається на декантерні центрифуги (або центрифуги іншого типу), після чого відфугована частина барди із центрифуг (кек) направляється в сушарку, а фугат після центрифуг зливається в збірник;

- після цього фугат підігрівається в пластинчастому паровому теплообмінному апараті до температури кипіння й подається до першого ступеня випарної станції;

- після проходження всіх ступенів випарної станції згущена приблизно до 40 % барда направляється на сушіння.

Роботи випарних апаратів станції (рис. 2) здійснюються при низькому тиску пари, під розрядженням. Особливість представленої схеми полягає у використанні на останньому ступені випарювання традиційних пластинчастих розбірних теплообмінників великої потужності або ширококаналних теплообмінників. Вони, як правило, установлюються із примусовою циркуляцією.

Для згущення барду упарюють на випарних



Після проведених операцій відфугована частина барди із центрифуг (кек) направляється в сушарку, а фугат після центрифуг зливається в збірник; далі фугат підігривається в пластинчастому паровому теплообмінному апараті до температури кипіння й подається в перший шабель випарної станції; після проходження всіх шаблів випарної станції згущена приблизно до 40 % барда направляється на сушіння.

Іноді технологічно не передбачають обробку на розділовому ситі. У цьому випадку частина фільтрату барди (до 40 %) вертається на готування замісу варильного відділення після центрифугування.

Слід пам'ятати, що білки це високомолекулярні речовини природного походження, що складаються із з'єднаних амідним зв'язком залишків амінокислот. Вихідна (нативна) зернова барда має кислу реакцію, високу температуру, а близько 1% від загальної маси барди зважені речовини у вигляді дробини – залишками часточок зерна й солоду, являють собою корозійно-абразивне середовище, яке при русі інтенсивно руйнує трубопроводи й технологічні апарати. У відстояній рідкій фазі барди перебувають зважені речовини у вигляді дрібнодисперсних і колоїдних суспензій, з розміром до 1÷2 мкм, а також розчинені продукти кислого бродіння, амінокислоти, рослинний жир і безазотисті екстрактивні речовини в кількості до 50% від загальної маси всіх органічних речовин, що втримуються в барді. Значення рН, при якому молекула амінокислоти перебуває в розчині у вигляді біполярного іона (колоїдної частки з мінімумом розчинності), називається ізополлярною точкою.

Для переведення істинно розчинених амінокислот у зважений колоїдний стан можливо попереднє підлужування вихідної барди до рН = 6 – ізопотенційної точки  $\approx 50\%$  усіх розчинених амінокислот. Після попереднього кислого бродіння, витягу дробини й наступної нейтралізації до рН=6,0 рідка фаза барди прохолоджується до температури, регламентованої процесами. Кек, вологістю 40÷50%, далі направляється на сушіння, при цьому необхідно враховувати, що білки деструкують при температурі більш ніж 82 °С.

Спосіб концентрування спиртової барди може бути використаний при утилізації стоків спиртового виробництва. Відомі способи утилізації барди в кормові дріжджі, бетаїн, глютамінову кислоту, бардяне вугілля, а також спосіб обробки аміаком стічних вод мелясної барди до рН 8–10 і одержанням осаду фільтруванням [9, 10] та інші.

Найбільш близьким за аналогом до способу (рис. 3), який пропонується нами, по технічній суті й результатам, яких досягають є спосіб концентрування мелясної післядріжджевої барди перед розпарюванням при обробці розчином каустичної соди [6, 7, 11].

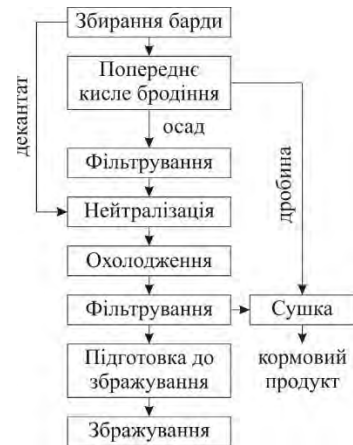


Рис. 3. Функціональна схема обробки барди

Спосіб концентрування спиртової барди, який пропонується нами, проводять у такий спосіб. Спиртову барду з кількістю сухих речовин 4,5 % по масі, при рН 4,0 обробляють хімічним реагентом (основна стадія виробництва) – визначеною кількістю оксиду кальцію, який використовують для осадження сухих речовин барди, попередньо його подрібнюють і просівають для видалення нерозчинних речовин, а далі вводять у спиртову барду у кількості 1,0 % від її маси до досягнення показника рН середовища 7,0 при температурі 65 °С.

Проведення процесу концентрування за таких умов приводить до коагуляції білкових сполук, які утворюють із гідроксидом великі конгломерати і осаджують інші корисні речовини спиртової барди.

Використання для хімічної обробки нелетучих хімічних реагентів не створює шкідливих умов на виробництві й підвищує екологічну безпеку способу.

Технологічна схема одержання сухого продукту має вирішальне значення для формування якісних властивостей кормових продуктів і складається із важливих технологічних операцій:

1) післяспиртова барда після нейтралізації має концентрацією сухих речовин, приблизно 7,5–8,0 %, спочатку подається на роздільне сито, де частина її фільтрується й далі використовується для готування замісу;

2) густа частина відфільтрованої барди й не фільтрована барда зливаються в збірник, і суміш насосом подається на ділянку центрифугування рис. 4 [6];

3) перед центрифугуванням барда може бути нагріта у звичайному пластинчастому розбірному теплообмінному апараті й далі подається на декантерні центрифуги (або центрифуги іншого типу), після чого відфугована частина барди із центрифуг (кек) направляється в сушарку, а фугат після центрифуг зливається в збірник і далі подається за призначенням – для виготовлення культурального середовища або на стадію нейтралізації;

4) інший спосіб – фугат підігривається в пластинчастому паровому теплообмінному апараті до температури кипіння й подається до першого ступеня випарної станції за потребою.

Іноді технологічно не передбачають обробку на роздільному ситі. У цьому випадку частина фільтрату барди (до 40 %) повертається на готування замісу варильного відділення після

центрифугування.

Спосіб концентрування сухих речовин спиртової барди [9] дозволяє досягти позитивних результатів: максимально осадити речовини різного походження її середовища (табл. 2); привести рівень рН середовища до необхідного значення показника 6,0 – 8,0 з метою подальшого отримання кормового продукту.

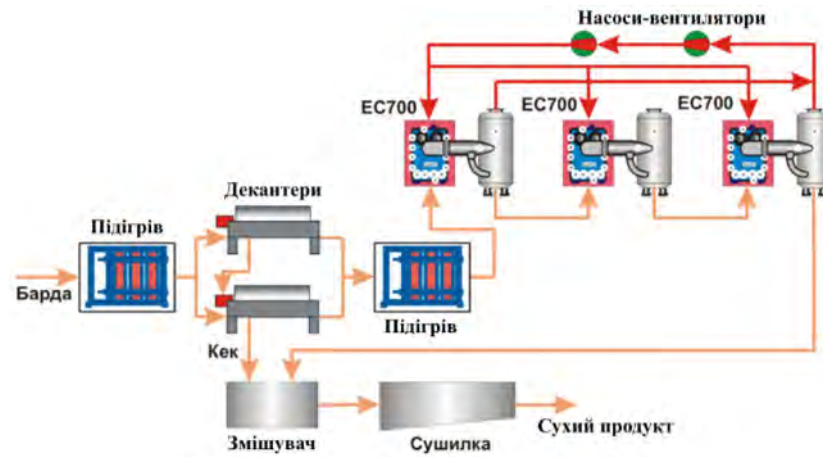


Рис. 4. Схема відділення утилізації післяспиртової барди з використанням декантерних центрифуг і пластинчастих випарних апаратів [6].

Таблиця 2. Показники спиртової барди після завершення стадії преддефекації

Кількість добавки	Показник спиртової барди після хімічної обробки	
	Сухі речовини, % від маси	Водневий показник, рН
0,5	до 3,0	6,0
1,0	до 2,0	7,0
1,5	до 2,0	8,0

Таблиця 3. Порівняльні показники спиртової барди

Показник барди	Спиртова барда		
	Вихідна	Фугат без хіміобробки	Фугат після хіміобробки
Сухі речовини, % від маси	4,5 – 8,0	до 4,0	до 2,0
Водневий показник (рН)	4,0 – 4,5	4,0 – 4,5	7,0

Обробка спиртової барди хімічним реагентом при рН середовища нижче 6,5 не забезпечує коагуляції білкових сполук і утворення осаду гідроксиду кальцію; рівень рН середовища вище 7,0 приводить до додаткових витрат хімічного реагенту й негативно впливає на встаткування, а також з погляду економічних показників є нерентабельним. У результаті порівняльних випробувань способу, який пропонується, за вищевказаними показниками, було обрано для стадії преддефекації кількість хімічної добавки 1 % від маси барди, яка дозволяє одержати високі результати на спиртовому виробництві (таблиця 3).

Як видно з результатів лабораторних і промислових випробувань, кількість сухих речовин у спиртовій бардові після хімічної обробки вже на стадії преддефекації зменшується від 4,5 до 2,0 % по масі. Одночасно така хімічна обробка дозволяє уникнути великих енергетичних витрат на

проведення складної стадії випарки в технологічному регламенті за рахунок виключення її з технологічної схеми виробництва. При порівнянні значень показника сухого залишку способу концентрування спиртової барди з відомими, видно, що ці значення значно кращі й не мають потреби у введенні додаткових технологічних операцій у процес, а навпаки спрощують його апаратурне оснащення й зменшують кількість стадій на виробництві. Отримані показники по сухому залишкові барди показують, що можливо використовувати рідну-фільтрат – воду, наприклад, після мембранного очищення як воду для технологічного циклу.

Відомий спосіб [12] коагуляції та осадження органо-мінеральних речовин шляхом введення у рідкі відходи спиртового виробництва суспензії дефекату або вапна у кількості 10–100 кг сухої маси/1 т рідких відходів та поліакриламід у кількості 10–100 г сухої маси/100 л рідких відходів і

подальше відкачування висадженої суміші надає інформацію про дослідження кількості складових отриманих порошкоподібних речовин – вміст вільних та зв'язаних амінокислот (табл. 4: №1 – з вапном; № 2 – вапно та поліакриламід; наважка для аналізу на амінокислоти 30 мг).

Таблиця 4. Порівняльні показники отриманих порошкоподібних речовин

Амінокислота	№ 1, кількість мг	№ 2, кількість мг
Аспарагінова	0,1106	0,2196
Треонин	0,0532	0,1318
Серин	0,0638	0,1651
Глутамінова	0,2747	0,8148
Пролин	0,0934	0,3850
Гліцин	0,0580	0,1429
Аланін	0,0619	0,1489
Валін	0,0611	0,1532
Метіонін	0,0091	0,0242
Ізолейцин	0,0527	0,1293
Лейцин	0,0958	0,2364
Тирозин	0,0402	0,0903
Фенілаланін	0,0619	0,1562
Лізин	0,0614	0,1459
Гістидин	0,0284	0,0749
Аргінін	0,0651	0,1467
Сума	1,1913	3,1452

Фугат після хімічної обробки можна використати для вирощування молочнокислих та пропіоновокислих бактерій, така технологія є перспективною з точки зору виробництва протеїново-вітамінного кормового пробіотичного продукту низької собівартості, високої харчової цінності і антибактеріальної дії [9, 13, 14].

Краще зростання мікроорганізмів спостерігалось в зразках з трьохгодинною відстрочкою внесення пропіоновокислих бактерій (рис. 4) [13]: значення рН знизилось до 3,17; вміст протеїну збільшився до 19,6 мг/мл, що склало 33% від рівня біомаси в 59,3 г/л – найвищої серед досліджених зразків. Вміст нуклеїнових кислот також було найвищим – 1,5 мкг/мл, проте це значення не є критичним для тварин і цілком укладається в добові межі споживання нуклеїнових кислот – 10 г [15]. Лактат, спочатку утворений молочнокислими паличками, зброджується потім до пропіонату, ацетату і вуглекислого газу [16].

За думкою авторів [13] найбільш незадовільними виявилися результати при культивуванні варіантів з шестигодинним попереднім культивуванням лактобацил і без попереднього культивування (з одночасним внесенням пропіоновокислих і лактобактерій); звідси випливає висновок, що для гарного росту пропіоновокислих бактерій попередня інкубація лактобацил необхідна, але не більше 3 год

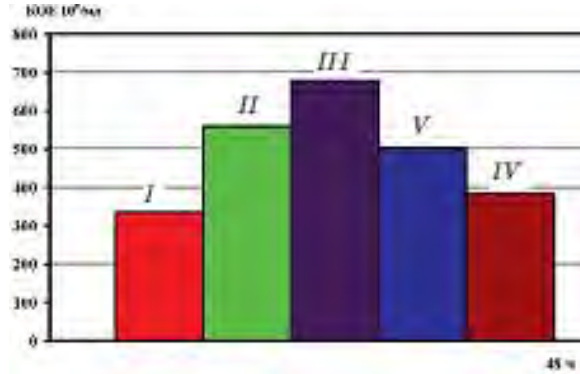


Рис. 4. Зміна кількості живих клітин молочнокислих і пропіоновокислих бактерій у процесі культивування на фільтраті післяспиртової барди при відтермінуванні внесення пропіоновокислих бактерій (годин): I – 0; II – 1,5; III – 3; IV – 4,5; V – 6 [13].

У вихідному фільтраті післяспиртової барди містяться протеїн і нуклеїнові кислоти – продукти життєдіяльності клітин дріжджів, які здійснювали спиртове бродіння (табл. 5: протеїн – Пр; сухі речовини – СР; нуклеїнові кислоти – НК).

Таблиця 5. Порівняльні показники отриманих порошкоподібних речовин

Продукт	рН	Пр, мг/мл	СР, г/л	НК, мкгНК/мл
Фільтрат післяспиртової барди	4,43	4,23	27,4	1,233
	±	±	±	±
	0,02	0,01	0,2	0,003

У зв'язку з тим, що вихідний рівень рН післяспиртової барди становив 4,47, його значення, за висновками авторів, необхідно доводити до оптимальної величини, що необхідний для розвитку культурального середовища.

Таким чином, визначені перспективи інтеграції в сучасні схеми енергозберігаючих розв'язків технології з урахуванням пропонованого способу вдосконалення концентрування сухих речовин спиртової барди. Цей спосіб дозволяє максимально осадити речовини різного походження середовища барди, її поділом після обробки, на осад і рідину, тобто, можливо одержати кормову добавку й воду для технологічного циклу.

Вибір технології й устаткування дозволяє рекомендувати цей спосіб як дешеву й ефективну можливість концентрування спиртової барди, створює передумови для подальшої апробації й впровадження на спиртових заводах.

#### Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Можна відзначити, що утилізація спиртової барди і зараз є складним технологічним процесом для галузі виробництва етилового спирту з рослинної та зернової сировини. Більшість існуючих технологічних схем виробництва етилового спирту



передбачають використання післяспиртової барди тільки як кормопродукта в рідкому виді.

Для більшості спиртових заводів у повному об'ємі використовувати післяспиртову барду в рідкому виді практично неможливо. Часто виникають ситуації змушеного скорочення потужності й зупинки спиртових заводів через не реалізацію барди, особливо в літній період. Питання можна вирішувати шляхом удосконалювання технологій утилізації барди, забезпеченням скорочення виходу рідкої барди й впровадження схем її переробки в сухі й концентровані кормові продукти.

Таким чином, за виконанням аналізом інноваційних методів та способів утилізації спиртової барди необхідно відзначити загальні положення технології:

1) всі спиртові заводи повинні мати відділення з утилізації барди, продуктом виробництва якого є сухий кормовий продукт або сировиною культурального середовища;

2) при цьому необхідно враховувати що зернова, картопляна або мелясна барда відрізняється за своїм складом, концентрацією й номенклатурою сухих речовин, і, отже, за кормовою цінністю; потужності обладнання відділення з утилізації барди зв'язані з розрахунками – у середньому на 1 дал спирту із зерна або картоплі одержують 0,14 м<sup>3</sup> барди, а в 1 т такої барди утримується 18,6 кг сирого протеїну, що при обробці, наприклад, перетворюється в протеїн дріжджів, і з урахуванням азоту, що вводять у корми, вміст перетравлюваного тваринами протеїну збільшується у два рази.

Окрім виробництва сухого концентрату барди в деяких випадках вигідно одержувати згущену барду, яка може транспортуватися на значні відстані. При цьому згущена мелясна барда використовується як високоякісне добриво. Для згущення барду упарюють на випарних станціях до концентрації 65–70 % залежно від вмісту сухих речовин у вихідному продукті. Реалізація цього процесу дуже ефективна при використанні пластинчастих випарних апаратів різної потужності.

Комплексні харчові добавки з високою доданою вартістю можуть знизити фінансовий ризик, надаючи промисловості вихід за межі примхливого енергетичного ринку. Побічні продукти технології етилового спирту надають можливість виробляти унікальні комплексні кормові продукти, які сприяють зростанню галузі.

Представлені матеріали мають статус інтелектуальної власності для навчання студентів, це складові комплексних інноваційних проектів [17–21].

#### Список літератури

1. Кухаренко, А.А. Безотходная биотехнология этилового спирта / А.А. Кухаренко, А.Ю. Винаров. М.: Энергоатомиздат, 2001. – 272 с.

- Рябов, Г.К. Система безотходной переработки послеспиртовой барды. Инновации: Исследования и разработки. 2003. – №6.
- Галкина Г.В. Новая технология переработки послеспиртовой барды / Г.В. Галкина, В.И. Илларионова, Г.С. Волкова, Е.В. Горбатова, Е.В. Куксова // Ликероводочное производство и виноделие. 2004. – №6. – С. 14–16.
- Технология спирта / В.Л. Яровенко и др. М.: Колос, «Колос-Пресс», 2002. – 464 с.
- Лозанская, Т.И. Производство кормовых дрожжей из послеспиртовой зерновой барды по безотходной технологии / Т.И. Лозанская, Н.М. Худякова, Л.А. Лихтерберг // Ликероводочное производство и виноделие. 2002. – № 7. – С. 1–3.
- 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.
- 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. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
- Бухкало С.И. Спосіб концентрування спиртової барди. Патент на корисну модель 40625, Україна. 2009.
- Климовский Д.Н., Смирнов В.А., Стабников В.Н. Технология спирта. М., 1967, с. 406–410.
- Авторское свидетельство СССР № 959747, кл. А 23 L 3/18. Способ концентрирования мелясной барды, 1982.
- Маланчук В.Я. Способ получения органоминеральных смесей из жидких отходов спиртового производства. 2005. Пат. РФ 2337136.
- Шутова В.В., Ивинкина Т.И., Фадеева И.В., Ревин В.В. Использование послеспиртовой барды для культивирования молочнокислых и пропионовокислых бактерий. Биотехнология. 2010. Т. 3, № 6, с. 68–73.
- 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 «ХП». С. 217.
- Промышленная микробиология / Под ред. Н. С. Егорова. – М.: Высшая школа, 1989. – 680 с.
- Воробьева Л. И. Пропионовокислые бактерии. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 288 с.
- 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 р.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». С. 320.
- Сирку М.А., Бухкало С.И., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнута М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових проектів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції

- (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 342.
19. 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, 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. 343.
  11. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 959747, kl. A 23 L 3/18. Sposob koncentrirovaniya mel'jasnoj bardy, 1982.
  12. Malanchuk V.Ja. Sposob poluchenija organomineral'nyh smesej iz zhidkih othodov spirtovogo proizvodstva. 2005. Pat. RF 2337136.
  13. Shutova V.V., Ivkina T.I., Fadeeva I.V., Revin V.V. Ispol'zovanie poslespirtovoj bardy dlja kul'tivirovaniya molochnokislyh i propionovokislyh bakterij. Biotehnologija. 2010. T. 3, № 6, pp. 68–73.
  14. Bukhhalo 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 Є.І. – Harkiv: NTU «KhPI», p. 217.
  15. Promyshlennaja mikrobiologija / Pod red. N. S. Egorova. – M.: Vysshaja shkola, 1989. – 680 s.
  16. Vorob'eva L. I. Propionovokislye bakterii. – M.: Izd-vo MGU, 1995. – 288 p.
  17. 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 Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 320.
  18. Sirku M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo viznachennja vlastivostej sirovini u mezah 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 Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI», p. 342.
  19. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Vznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezah 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 Є.І. – Kharkiv: NTU «HPI», p. 343.
  1. Kuharenko, A.A. Bezothodnaja biotehnologija jetilovogo spirta / A.A. Kuharenko, A.Ju. Vinarov. M.: Jenergoatomizdat, 2001. – 272 p.
  2. Rjabov, G.K. Sistema bezothodnoj pererabotki poslespirtovoj bardy. Innovacii: Issledovanija i razrabotki. 2003. – №6.
  3. Galkina G.V. Novaja tehnologija pererabotki poslespirtovoj bardy / G.V. Galkina, V.I. Illarionova, G.S. Volkova, E.V. Gorbatova, E.V. Kuksova // Likerovodocnoe proizvodstvo i vinodelie. 2004. – №6, pp. 14–16.
  4. Tehnologija spirta / V.L. Jarovenko i dr. M.: Kolos, «Kolos-Press», 2002. – 464 p.
  5. Lozanskaja, T.I. Proizvodstvo kormovyh drozhzhej iz poslespirtovoj zernovoj bardy po bezothodnoj tehnologii / T.I. Lozanskaja, N.M. Hudjakova, L.A. Lihterberg // Likerovodocnoe proizvodstvo i vinodelie. 2002. – № 7, pp. 1–3.
  6. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. – 832 p.
  7. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
  8. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
  9. Bukhhalo S.I. Sposib koncentruvannja spirtovoi bardi. Patent na korisnu model' 40625, Ukraïna. 2009.
  10. Klimovskij D.N., Smirnov V.A., Stabnikov V.N. Tehnologija spirta. M., 1967, pp. 406–410.

Надійшла (received) 19.05.2019

#### 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.

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

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

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

**GALYNA ZOTYEVA, YAROSLAV VYRSTA****DISTANCE LEARNING PECULIARITIES AT COLLEGES IN UKRAINE**

The problem of distance learning implementation at colleges in Ukraine is considered. The relevance of the article is in the need of distance learning and use of the opportunities offered by that means of teaching. Distance learning main aspects, which create the necessary background for scientific achievements are systematized and analyzed in the article. Conceptual ideas of distance education in colleges and further perspectives for the development information and communication technologies in the distance education are investigated. The basis of the diagnosis and monitoring of the quality of education are curricula, programs, the content of which is set out by academic disciplines. The system of management of students in the conditions of distance learning implements the laws underlying the organization of the educational process.

**Keywords:** distance education; on-line learning; information and communication technologies ICT

**Г. О. ЗОТЬЕВА, Я. Я. ВИРСТА****ОСОБЛИВОСТІ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В КОЛЕДЖАХ В УКРАЇНІ**

Розглянуто проблему впровадження дистанційного навчання в коледжах в Україні. Актуальність статті полягає в необхідності дистанційного навчання та використанні можливостей, які надає цей спосіб навчання. У статті систематизовано та проаналізовано основні аспекти дистанційного навчання, які створюють необхідну основу для наукових досягнень. Досліджуються концептуальні ідеї дистанційної освіти в коледжах та подальші перспективи розвитку інформаційно-комунікаційних технологій у дистанційній освіті. Основою діагностики та моніторингу якості освіти є навчальні програми, програми, зміст яких визначається навчальними дисциплінами. Система управління студентами в умовах дистанційного навчання реалізує закони, що лежать в основі організації навчального процесу.

**Ключові слова:** дистанційна освіта; он-лайн навчання; інформаційно-комунікаційні технології ІКТ

**Г. А. ЗОТЬЕВА, Я. Я. ВИРСТА****ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В КОЛЛЕДЖАХ В УКРАИНЕ**

Рассмотрена проблема внедрения дистанционного обучения в колледжах в Украине. Актуальность статьи заключается в необходимости дистанционного обучения и использования возможностей, которые предоставляет этот способ обучения. В статье систематизированы и проанализированы основные аспекты дистанционного обучения, которые создают необходимую основу для научных достижений. Исследуются концептуальные идеи дистанционного образования в колледжах и дальнейшие перспективы развития информационно-коммуникационных технологий в дистанционном образовании. Основой диагностики и контроля качества образования являются учебные планы, программы, содержание которых устанавливается учебными дисциплинами. Система управления студентами в условиях дистанционного обучения реализует законы, лежащие в основе организации учебного процесса.

**Ключевые слова:** дистанционное образование; онлайн обучение; информационно-коммуникационные технологии ИКТ

**Introduction.** At the present stage, the processes of change in society are closely connected with the introduction of the innovative educational paradigm of higher education. It determines the need to modernize the higher education system, which is focused on the integration of Ukraine into the global academic community. The main goal of distance education development in Ukraine is to increase the general intellectual level of society, to ensure the high quality of education, as well as the formation of educational space. Modern information and communication technologies make it possible to change the role and purpose of education, significantly expand the range of educational services, and also develop and apply specific educational technologies characteristic of distance learning.

**Statement of the problem in general and its connection with important scientific or practical tasks.** The problem of introducing distance learning has attracted considerable attention due to socio-economic factors. It is important to ensure the well-being of students in a market reality, the amount of students who want to get an education without separation from the main place of practical activity is growing. The introduction of innovative technologies in the education system has increased the quantity of educational institutions providing training in various ways, forms and methods of teaching [1–10].

© Galyna Zotyeva, Yaroslav Vyrsta, 2019

That form of education enables to study at any educational institution, regardless of the place of residence and location of the educational institution.

The organization of quality distance learning has a positive effect on the intellectual potential of the state. Modern trends in the development of education necessitate the study of the experience at the leading countries of the world in the organization of distance learning. The analysis of a significant number of sources enabled determining the directions for implementing the strategy for the development of distance education: development of theoretical models for diagnosing and monitoring the quality of education; development of a system of criteria and tools for diagnosing and monitoring the quality of education; development of organizational and managerial models and technologies of education quality management. National character generalization of scientific knowledge, humanization, democratization and openness of education are main tendencies. Integration processes have reached such a level that economic processes in a particular region cause a chain reaction in the country's economy. In the field of higher education, the instrument of globalization and integration processes is the national character of scientific knowledge. The level of communication between scientific communities is such that new knowledge, new technologies and development based on this knowledge become the heritage of all mankind and influence the development of the state regardless of national, religious and other features.

Examples include financial crises associated with falling prices for oil and energy and the like. Even natural events occurring locally, cause reviews in the economy of the country. One of the forms of the principle of globalization of education is the student exchange process that has covered all countries of the world. Ukraine is conducting a campaign to attract foreign students. With the growth of cooperation between various regions of the world, states increasingly recognize the need to expand student mobility. However, despite the benefits of supporting student exchanges, private foundations and personal funds from students are the main source of funding for education in other countries. At the same time, all host countries point out that student exchanges are a favorable factor in the activities of higher education institutions. It adds to universities and colleges additional responsibility in connection with the provision of special services and curricula for foreign students. In almost all countries, it is recognized that foreign students are an important source of funding for higher education institutions. It enables universal computer literacy and the creation of a telecommunications environment. New information technologies in education are associated with the wide penetration of computer and satellite equipment into all spheres of human activity, which caused new problems and opened up new perspectives for the education system as a whole. At first, computers in the higher education system appeared as a research tool. However, the technological breakthrough associated with the creation

of personal computers in the early 80s, led to a qualitative revolution in relation to digital technology. As a result of the growth in the absolute number of personal computers in the world, the computer began to be used as a means of supporting the learning process. At the same time, the creation of global information networks and the openness of information have led to the fact that not only educational institutions, but also global information resources are becoming a source of new knowledge and educational information [11–15]. As a result, the education system faced the problem of enabling universal computer literacy and multimedia technologies for the achievement of new methods in education.

Level of computerization in education is an indicator of the quality of education and the stage of progress of the state, its ability and development in the XXI century. In the field of computerization of education, the process of penetration digital technologies into the system of higher education is the division of states into “information rich” and “information poor”. The implementation of computer technology education is impossible without creating a telecommunications environment that can transfer huge amounts of information with acceptable speeds for learning. Implementation computer technology in education at the first stage was accompanied by rather hectic expectations. In a sense, this process is reminiscent of the hopes that have been pinned on radio, film and television in education. It is known that they were not justified, and the development of pedagogy based on these technologies did not bring the desired results. But digital technologies will occupy a large niche in the educational process, not replacing the teacher's live communication with students, not crowding out, but only complementing it. At the same time, as before, new technologies of education, control, testing require the development of the foundations and methods of pedagogy in the field of multimedia technologies, which are currently not developed in detail and are in the development stage. Thus, the tendency of computerization of education, which is an element of the national security doctrine, has been outlined and actively implemented improving the methodological support of distance learning. Ukraine has systematically expanded the quantity of colleges with potentially interesting and methodically sound educational material for education. There are differences in the curricula for students studying in the system of distance learning, in the direction of simplifying and facilitating them.

Currently, there are no additional criteria for monitoring distance learning programs and courses other than general ones that are used to evaluate traditional training. The development of distance learning is hampered by the extremely time-consuming creation of application packages that support an interactive learning process within multimedia technologies. Economic development of the state, different levels of education, ensuring rights and freedom citizens, the level of wages, the formation of an open society, the international nature of science are integral to the concept of development of

our country. An essential element of the higher school of the 21st century is the study of English, the language of international scientific communication and digital computer technology. Of course, there are other trends in the distance education reform in higher education, such as humanization, democratization, protection of individual rights and freedoms, protection of women's rights, and the ecology of education, but these trends mainly affect the higher education system.

The term "distance learning" means an individualized process of acquiring knowledge, abilities, skills and ways of human cognitive activity, which occurs mainly due to the indirect interaction of participants from the educational process that are distant from each other in a specialized environment, operating on the basis of modern psychological, educational and information and communication technologies. Distance learning is a set of technologies that provide delivery to the trainees, the bulk of the material studied; interactive interaction between students and teachers in the learning process, providing students with the opportunity for independent work on mastering the material being studied, as well as in the learning process.

The goal of distance learning is the provision of educational services through the use of modern information and communication technologies in teaching at certain educational or educational qualification levels in accordance with state educational standards; according to the programs of preparation of citizens for entering educational institutions, training of foreigners and advanced training of workers.

The task of distance learning is to provide citizens with the opportunity to exercise the constitutional right to receive education and professional qualifications, advanced training regardless of gender, race, nationality, social and property status, type and nature of occupation, worldview convictions, membership in a party, attitude to religion, religion, health status, place of residence in accordance with their abilities. Prerequisites for the development of distance learning are: the rapid development of information technology; continuous reduction of the cost of services for the connection and use of the global Internet, its resources and services; a significant deepening of the processes of introducing information technologies in educational practice; widespread computer hardware among the public. A specialist of the 21st century is a person who is fluent in modern information technologies, constantly improving and improving his professional level. Acquiring new knowledge and skills that are meaningful, useful, and used in a person's professional activity in the conditions of the information society greatly expands the possibilities for self-realization and promotes career growth. If the school is located in another city, it is inconvenient and expensive to attend classes often. It should be noted that the "classic" extramural education often does not justify its purpose. The knowledge that a student receives is often superficial, and the classes themselves are unproductive. In addition, the learning process continues for quite some time.

**Conclusions and prospects for further research into the problem.** In Ukraine, the concept of distance learning refers to those didactic concepts, the place of which among the didactic categories is not strictly defined. It was facilitated by the absence until recently of a unified concept of distance learning. Currently, there are different views on distance learning as a new universal form of education that can change the traditional, to the technology of recruiting means and methods for the transmission of educational information. Throughout its existence, distance learning in the system of higher education in Sweden has received and receives significant government support, which contributes to its dynamic development and successful functioning. As a form of control in distance education, remotely organized exams, interviews, practical, course and design work, external studies, computer intelligent testing systems are used. It should be particularly noted that the solution to the problem of quality control of distance learning, its compliance with educational standards is of fundamental importance for the success of the entire distance learning system. The academic recognition of distance learning courses, the possibility of setting off for their passing through traditional educational institutions depends on the success of its solution. Therefore, to exercise control in distance learning, a unified system of state testing should be created.

The basis of the educational process in distance learning is a focused and controlled intensive independent work of the student, studying on an individual schedule, at a convenient pace. Students at colleges and universities select subjects from the list of course modules and form their curriculum. The use of the latest advances in information technology contributes to the integration of the student into the global post-industrial information society, providing for an increase in the share of highly skilled workers with an appropriate level of education. Distance learning is intended, first of all, to acquaint students with the theoretical foundations of future professional activities, providing unlimited opportunities to search for additional diverse information that is adequate to the needs of the student. The variability of training modules enables, when studying, to study specific aspects of their chosen problem. Modern information technologies and communication systems make it possible to radically change the role and purpose of education, significantly expand the range of educational services, and also develop and apply specific educational technologies characteristic of distance education. In this case, there is a need for a thorough study of the theoretical foundations and practical experience in the implementation of such educational technologies. E-learning is one of the progressive forms of education of the general population. It is one of the main ways of digitalization in education and the use of new technologies in education, serves to increase the efficiency of education. The organization of quality distance education has a positive effect on the intellectual potential of the state. The main thing in the organization of distance learning is the creation of electronic courses,

the development of didactic foundations of distance learning, and the training of coordinator teachers. Distance learning technology is a set of methods, forms and means of interaction with a person in the process of independent, but controlled development of a certain body of knowledge by him.

Educational technology is built on the foundation of a certain content and must comply with the requirements of its presentation. The content of the proposed knowledge is accumulated in special courses and modules designed for distance learning and based on existing country educational standards, as well as in data banks. The central element of the distance learning system is telecommunications and their translational basis. It is important to note that the information provided by the student is carried out in the form of printed materials (educational and methodical sets of literature and tasks) and electronic materials (computer, educational environments, databases, knowledge banks, electronic textbooks). At the same time, information carriers are books, flexible magnetic, laser or hard disks, audio or video tapes, teaching aids ("cases"), computers, televisions, telephones, special multimedia technologies act as learning tools. The didactic component should be provided by the development of teachers and psychologists, such as, for example, the technology of individualized education, an adaptive learning system, and training based on an individually-oriented curriculum.

Speaking about the strategy of updating education the set of conceptual ideas, scientific and methodological developments and organizational and managerial measures to create a system for diagnosing and monitoring quality as a system forming module of all innovation in the education system is important. The simultaneous solution of many problems associated with the implementation of this strategy is impossible. Based on the analysis of a significant number of sources, it is necessary to talk about ways to implement the strategy.

The basis of the diagnosis and monitoring of the quality of education are curricula, programs, the content of which is set out by academic disciplines. The system of management of students in the conditions of distance learning implements the laws underlying the organization of the educational process. It is noted, first of all, the specific nature of the patterns of learning, is a complex conditionality of objective and subjective factors, indicating the special importance of the principles of learning as provisions affecting the dialectic of the development of the learning process, the interaction of its main systems. After all, principles determine the practice of learning is ambiguous. On the one hand, being guided by them, it is possible to substantiate, in each specific case management actions are required on the student's activities. On the other hand, focusing on didactic principles, one can evaluate the quality of a particular concept of education. So, the purpose of creating various didactic situations is only to direct this process towards solving the learning tasks offered to students using certain external conditions.

In other words, the situation, the learning task, the methodological techniques are designed to "launch" the mechanism of thinking.

### References

1. Webb, G. Organisational Approaches to Staff Development to Support Teaching and Learning / G. Webb, D. Murphy // Teacher development: an international journal of teacher's professional development. 1997. – No. 4 (1), pp. 15–29.
2. Bukhhalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo to kalenduly Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. No.1/6(73), (2015), pp. 22–26. Harkiv: tehnologicheskij cent.
3. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Bukhhalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Theretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.
4. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, Vol. 70, (2018), pp.2047–2052.
5. Ageicheva A., Hunchenko Yu. Grammar Peculiarities of Scientific and Technical Translation in Construction Sphere. International Journal of Engineering&Technology, 7 (3.2) (2018), pp. 559–562.
6. Bukhhalo S.I., Ageicheva A. Complex projects development problems. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15-17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». С. 220.
7. Бухкало С.І. Деякі питання роботи вісника НТУ «ХП» серія Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. 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. 218.
8. Bukhhalo S.I., Ageicheva A. Complex projects competence development. 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. 193.
9. Бухкало С.І. Висновки з діяльності майстер-класу. 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. 219.
10. Бухкало С.І., Ольховська О.І., Іглін С.П., Зіпунніков М.М. Можливості розвитку комплексних екологічнобезпечних проектів утилізації-модифікації. 2018. – Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП». № 18 (1294). – С. 3–9.
11. 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. – Харків: НТУ «ХП». С. 320.

12. 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, 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.
13. 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, 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. 343.
14. 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.
15. 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.
- r.: у 4 ч. Ч. II / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 220.
7. Buhkalo S.I. Dejaki pitanja roboti visnika NTU «HPI» serija Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv. 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. – Harkiv: NTU «HPI». S. 218.
8. Buhkalo S.I., Ageicheva A. Complex projects competence development. 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. – Harkiv: NTU «HPI». S. 193.
9. Buhkalo S.I. Visnovki z dijnal'nosti majster-klasu. 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. – Kharkiv: NTU «KhPI». S. 219.
10. Buhkalo S.I., Ol'hov'ska O.I., Iglin S.P., Zipunnikov M.M. Mozhlivosti rozvitku kompleksnih ekologichnobepechnih proektiv utilizacii-modifikacii. 2018. – Visnik NTU «HPI». H.: NTU «KhPI». № 18 (1294), pp. 3–9.
11. 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 r.: Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 320.
12. Sirku M.A., Buhkalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitanja 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 E.I. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 342.
13. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Buhkalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Viznachennja eksperimetal'nih 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 «KhPI». P. 343.
14. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. – 352 p.
15. Buhkalo S.I. Viznachennja 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 E.I. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 217.

#### Bibliography (transliterated)

1. Webb, G. Organisational Approaches to Staff Development to Support Teaching and Learning / G. Webb, D. Murphy // Teacher development: an international journal of teacher's professional development. 1997. – No. 4 (1), pp. 15–29.
2. Buhkalo S.I., Bilous O.V., Demidov I.M. Rozrobka kompleksnogo antioksidantu iz ekstraktiv listja gorihu volos'kogo to kalenduly Vostochno-Evropskij zhurnal peredovih tehnologij. No.1/6(73), (2015), pp. 22–26. Harkiv: tehnologicheskij cent.
3. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Buhkalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Thoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.
4. Buhkalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, Vol. 70, (2018), pp.2047–2052.
5. Ageicheva A., Hunchenko Yu. Grammar Peculiarities of Scientific and Technical Translation in Construction Sphere. International Journal of Engineering&Technology, 7 (3.2) (2018), pp. 559–562.
6. Buhkalo S.I., Ageicheva A. 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. – Harkiv: NTU «KhPI». P. 217.

Received 17.06.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Zotyeva Galyna (Зотьєва Галина Олексіївна, Зотьєва Галина Алексеевна) – викладач спеціальних дисциплін Коледж нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, e-mail: [zotyeva@i.ua](mailto:zotyeva@i.ua) +380957178381; Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7312-5408>

Vyrsta Yaroslav (Вирста Ярослав Ярославович, Вирста Ярослав Ярославович) викладач спеціальних дисциплін Коледж нафти і газу Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, [vyrsta@i.ua](mailto:vyrsta@i.ua) +380957486889; Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0787-6414>

**S. I. BUKHKALO, A. O. AGEICHEVA, S. P. IGLIN, Yu. N. HLAVCHEVA,  
N. N. MIROSHNICHENKO, O. I. OLKHOVSKA, V. O. OLKHOVSKA,**

### **INNOVATIVE COMPLEX PROJECTS'2018/2019 REALIZATION IN THE EXAMPLES AND TASKS**

The materials presented of innovative development complex projects for the master class XVI International School-seminar "Modern pedagogical technologies in Education". The materials are devoted to the results of researches of properties of technical and technological innovations of modern systems'2018/2019 as object intellectual property and distance learning, and also to the methods, models and systems of their mathematical description in the power studies and baseness. In this, phase of work in NTU KhPI" – studies the possibility of complex properties of intellectual property objects in the competency development system increasing the economic efficiency of new alternative energy 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 energy and material resours, 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. Energy is a fundamental input for economic ecological safety systems. It is determined that technical means should provide a program of students' work on the content of the educational material (program of its learning process), a combination of training and education functions, strengthening the control and self-control of the process and its results of the process of learning knowledge, assistance in implementing the ideas of differential and problem learning.

**Keywords:** intellectual property; distance learning; integrated technologies; evidence-based methods; ecological safety.

**С. І. БУХКАЛО, А. О. АГЕЙЧЕВА, С. П. ІГЛІН, Ю. М. ГЛАВЧЕВА, Н. М. МІРОШНІЧЕНКО,  
О. І. ОЛЬХОВСЬКА, М. М. ЗІПУННІКОВ, В. О. ОЛЬХОВСЬКА**  
**ИННОВАЦИЙНІ КОМПЛЕКСНІ ПРОЕКТИ'2018/2019 У ПРИКЛАДАХ І ЗАДАЧАХ**

У матеріалах статті розглянуті можливості для визначення цілей подальшої розробки складових комплексних проектів'2018/2019 у вигляді прикладів об'єктів інтелектуальної власності. Розробки проведені з метою вибору сучасних високоєфективних науково-обґрунтованих технологій використання: 1) різновидів сировини; 2) полімерної тари та упаковки на різних стадіях експлуатації та утилізації. Представлені приклади і деякі особливості можливих рішень, які засновані на експериментальних даних розробки механізмів ідентифікації-класифікації процесів і їх наукового обґрунтування у вигляді об'єктів інтелектуальної власності. Проблема утилізації відходів розглядається у вигляді складних комплексних процесів, їх досліджень і аналізу енерго- і ресурсозберігаючих складових для відходів різного походження. Результати досліджень по утилізації полімерної тари та упаковки можуть бути використані для вибору методів повторної її переробки – модифікації або утилізації.

**Ключові слова:** інтелектуальна власність; дистанційна освіта; комплексні інноваційні проекти; науково обґрунтовані методи; екологічна безпека.

**С. И. БУХКАЛО, А. О. АГЕЙЧЕВА, С. П. ИГЛИН, Ю. Н. ГЛАВЧЕВА, Н. Н. МИРОШНИЧЕНКО, О. И.  
ОЛЬХОВСКАЯ, Н. Н. ЗИПУННИКОВ, В. О. ОЛЬХОВСКАЯ**  
**ИННОВАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОЕКТЫ'2018/2019 В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ**

В материалах статьи рассмотрены возможности для определения целей дальнейшей разработки составляющих комплексных проектов'2018/2019 в виде примеров объектов интеллектуальной собственности. Разработки проведенные с целью выбора современных высокоэффективных научно-обоснованных технологий использования: 1) разнородности сырья; 2) полимерной тары и упаковки на различных стадиях эксплуатации и утилизации. Представлены примеры и некоторые особенности возможных решений, которые основаны на экспериментальных данных разработки механизмов идентификации-классификации процессов и их научного обоснования в виде объектов интеллектуальной собственности. Проблема утилизации отходов рассматривается в виде сложных комплексных процессов, их исследований и анализа энерго- и ресурсосберегающих составляющих для отходов различного происхождения. Результаты исследований по утилизации полимерной тары и упаковки могут быть использованы для выбора методов повторной ее переработки – модификации или утилизации.

**Ключевые слова:** интеллектуальная собственность; дистанционное образование; комплексные инновационные проекты; научно обоснованные методы; экологическая безопасность.

**Introduction.** General issues of innovative development complex projects for the master class XVI International School-seminar "Modern pedagogical technologies in Education" January 30 - February 1, 2019 p. were presented and investigated jointly with the seminar audience in the presentations form with the general theme "Definition and formation of intellectual

property complex competency development objects» [1-4]. The presentation was consisted of the main parts:

1) Complex Properties of Intellectual Property Objects in the Competency Development System – prof. Bukhkalo Svitlana Ivanivna, National Technical University «KhPI», Kharkiv;

© Бухкало С.І., Агейчева А.О., Іглін С.П., Главчева Ю.М., Мірошніченко Н.М., Ольховська О.І., Зіпунніков М.М., Ольховська О.І., 2019



2) Intellectual property peculiarities in education competence system – docent Ageicheva Anna Oleksandrivna, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava.

The presented materials are combined with a common theme technology in education, education technology and educational technology.

Master class general problem issues [1] include the notion of "educational technology", which is broader than "pedagogical technology" (for pedagogical processes).

Education includes, apart from pedagogical, a variety of social, socio-political, managerial, cultural, psychological and pedagogical, economic and other related aspects. On the other hand, the concept of "educational technology" refers to all sections of pedagogy, taking into account technology in education and technology of education.

At implementation of our complex projects development in the educational process we have obtained practical results promoting the development of intellectual and organizational skills of students who form the skills of independent, organizational and collective activities is competence, communication skills, creativity and personality of the head who generally contribute to the intensive development of scientific and technical creativity of graduates, as well as raising the general cultural level of students.

These are also developments in the field of:

1) detection and development of students' profile creative abilities, taking into account motivation to research and development activities;

2) creating the necessary conditions for supporting talented students; development the criteria for the quality of training, corresponding to the tasks and requirements of students scientific research;

3) the development of various forms of educational technology and the organization of activities aimed at the development of young athletic skills;

4) building relations with a "clean sheet";

5) research scientific novelty;

6) horizons expansion;

7) different sources usage;

8) applications preparation for international funds and programs related to the implementation of scientific developments and university patents;

9) assisting in project applications preparation, business plans and other documents in the scientific and technical field;

10) projects, programs, funds, grants monitoring and studying the possibility of participating at the university;

11) participation in the creation of partners network of international organizations on the implementation of scientific innovation projects;

12) scientists and creative teams attraction for realization scientific and technical and innovative developments;

13) interaction with representatives of the authorities in the field of program and project activity;

14) participation of the university in scientific and technical exhibitions organization, sharing information related to carried out projects, innovative developments, technical and scientific achievements in the mass media [1–3].

The presented work is based on the foundations choice and the concept methods of complex innovative projects (Table 1) with the aim of continuous implementation of the competences system in the educational process by types:

1) the discipline scope, which is taught at one department (on the basis of a course project or research work);

2) several special disciplines scope, which are taught at one department (based on course papers and bachelors projects – figure 1);

3) several special disciplines scopes, which are taught at different departments (based on course papers and projects of bachelors and masters – figure 2).

If you're an excellent communicator who wants to work with projects and are ready to enter a highly competitive industry, it could be your perfect job.

The main factors in the organization of student training, for example, in complex innovative projects, are the updating of their components intellectual property objects.

For example to submit the problem of wastes utilization and recycling is present as complex research and analysis of energy- and resource saving processes for treatment of polymer wastes of various origin [1–5].

Table 1. Fundamentals of complex innovative projects

№	Stages of the functional scheme of the project
1	Understanding and analysis – innovative technologies
2	Analysis of the status of the scientific problem
3	Search for possible options – investment strategy
4	Study of accumulated results
5	Analysis of general and basic regularities
6	Determination of settlement dependencies
7	Realization of necessary calculations
8	Analysis of the results
9	Entering results into project components
10	Assessment of technical support capabilities
11	Development of innovative technology

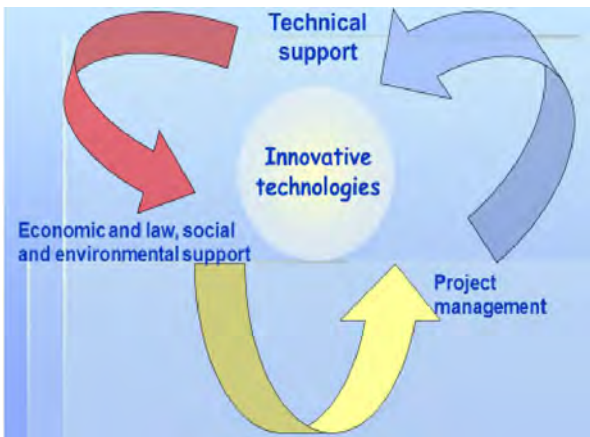


Figure 1. Design technology improvement areas

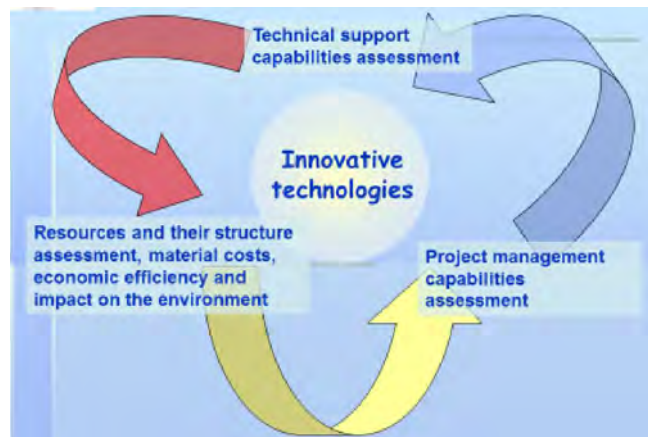


Figure 2. Techniques for improving design technology

It is necessary to determine the possibilities for further development of complex innovative projects:

- 1) updating of identification and analysis methods,
- 2) devices and equipment for research within the framework of complex innovative projects, which is the main factor determining,
- 3) the volume and type of intellectual property objects for the realization of the experimental results, taking into account the algorithms determined by us.

When implementing the latest development in the educational process, the practical results obtained – the promotion of the intellectual development and organizational students` capacity, forming the independent skills, organizational and collective activities – is the competence, communication skills, creativity and personality of the manager, which generally contribute to the intensive development of scientific- technical creativity of graduates. [6].

Table 2. General conclusions and recommendations of innovative complex projects

№	Stages of the functional scheme of the project
1	Access to the market of innovative offers and expansion of the sales market
2	Development of the concept of innovation and execution of research works
3	Search for optimal components of objects and justification of optimal process parameters
4	Assessment of technical support capabilities
5	Assessment of resources and their structure, material costs, economic efficiency and impact on the environment
6	Investigation of the features of the developed task processes
7	Investment strategy for innovative technologies
8	Project management
9	Economic-law, social and environmental support

Table 3. The effect of process parameters on secondary polymer properties in foaming

Characteristic	Function
$Y_1$	$Y_1 = 2987,50 + 237,50x_1 + 362,50x_2 + 337,50x_3 + 12,50x_1x_2 + 37,50x_1x_3 - 187,50x_2x_3 + 12,50x_1x_2x_3$
$Y_2$	$Y_2 = 44,91 + 6,58x_1 + 7,27x_2 + 9,45x_3 - 0,28x_1x_2 + 1,82x_1x_3 - 5,12x_2x_3 - 5,22x_1x_2x_3$
$Y_3$	$Y_3 = 0,17 + 0,0004x_1 + 0,0007x_2 + 0,0009x_3 + 0,0001x_1x_2 + 0,00013x_1x_3 - 0,0004x_2x_3 - 0,0009x_1x_2x_3$
$Y_4$	$Y_4 = 0,280 - 0,083x_1 - 0,120x_2 - 0,130x_3 - 0,002x_1x_2 - 0,007x_1x_3 + 0,050x_2x_3 + 0,073x_1x_2x_3$

The problem of wastes utilization and recycling is present as complex research and analysis of energy- and resource saving processes for treatment of polymer wastes of various origin [1–5].

Reserves of cooperation for the further identification and formation intellectual property objects of complex competency development are connected with the introduction into the educational process of partner

interuniversity relations which enable to obtain positive results: types growth, quality and quantity of intellectual innovative products in higher educational establishments; quality and quantity of innovations developed and implemented in practice in the field of new design and technological solutions.

Examples of innovative complex projects are developed based on directions and methods of design technology improvement, taking into account the conducted complex experiment and calculations in the course of performing laboratory and practical disciplines. The implementation of innovative complex projects was carried out within the range of disciplines in accordance with the curricula for students of different faculties and universities [1, 2].

As an example of synergetic approach to polymer utilization the chemical foaming method of the polyethylene waste is developed. The experiments to determine the influence of process parameters on the characteristics of polyethylene obtained after recycling process were performed. As the controlling parameters (factors) are taken:  $X_1$  is the relative amount of foaming chemicals, %;  $X_2$  is the temperature of foaming, °C;  $X_3$  is the time of treatment at foaming temperature, min. The characteristics of the obtained polymer are:  $Y_1$  is the number of created cells per 1  $sm^2$  of the obtained

polymer cross section;  $Y_2$  is the relative volume of gas phase in a process of secondary polymer production, %;  $Y_3$  is average diameter of cells;  $Y_4$  is the density of secondary polymer.

The experiments with two level factorial design are performed at following range of factors:  $X_{10} = 3\%$ ,  $\Delta X_1 = 1\%$ ;  $X_{20} = 170\text{ °C}$ ,  $\Delta X_2 = 10\text{ °C}$ ;  $X_{30} = 10\text{ min}$ ,  $\Delta X_3 = 5\text{ min}$ .

The resulting functions are presented in Table 3 and Figure 3, 4 for

$$Y_4 = 0,280 - 0,083x_1 - 0,120x_2 - 0,130x_3 - 0,002x_1x_2 - 0,007x_1x_3 + 0,050x_2x_3 + 0,073x_1x_2x_3$$

The investigation are focused in researching such problems as organization of waste collection, transportation and identification of wastes according to adapted polymers classification (Figure 5 and 6); selection of scientific based methods of wastes to be utilized or recycled; the development of appropriated process flow sheets and choice of modifications additives and equipment for polymers waste recycling as renewable energy sources.

The choice of appropriate plants with selected energy resources is very important for projects realization [6–11].

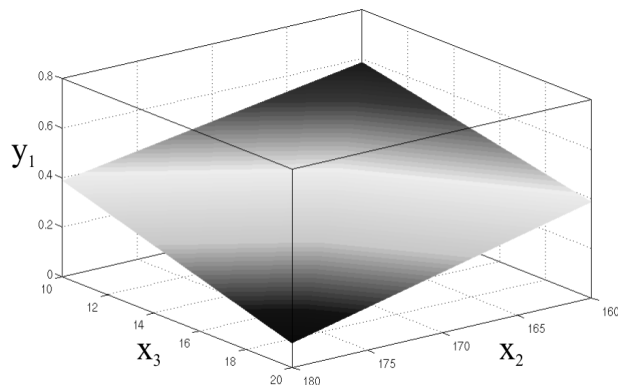


Figure 3:  $X_1=4$

$$Y_4 = 0,280 - 0,083x_1 - 0,120x_2 - 0,130x_3 - 0,002x_1x_2 - 0,007x_1x_3 + 0,050x_2x_3 + 0,073x_1x_2x_3$$

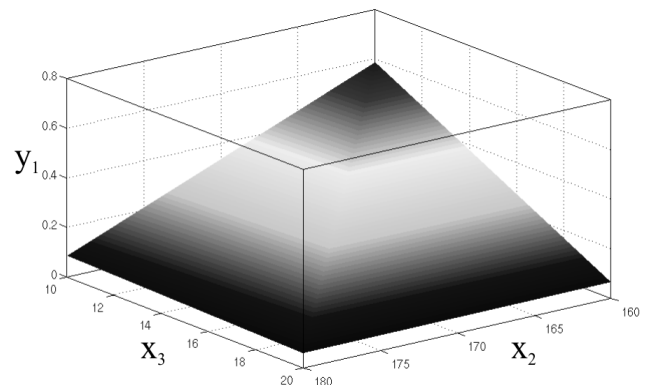


Figure 4:  $X_1=2$

$$Y_4 = 0,280 - 0,083x_1 - 0,120x_2 - 0,130x_3 - 0,002x_1x_2 - 0,007x_1x_3 + 0,050x_2x_3 + 0,073x_1x_2x_3$$

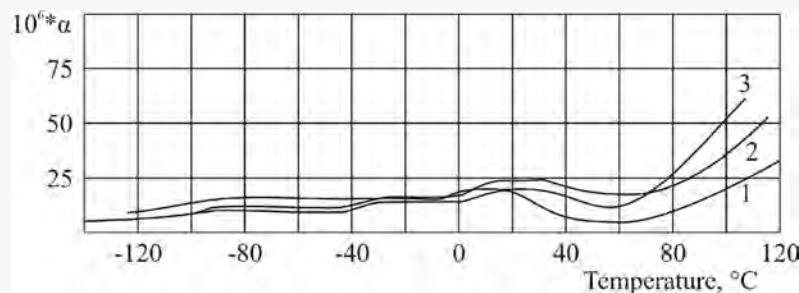


Figure 5. Functions  $\alpha_T = f(T)$  dependence and recycled polyethylene with different amounts of gel fraction, %:

1 – 17; 2 – 34; 3 – 42

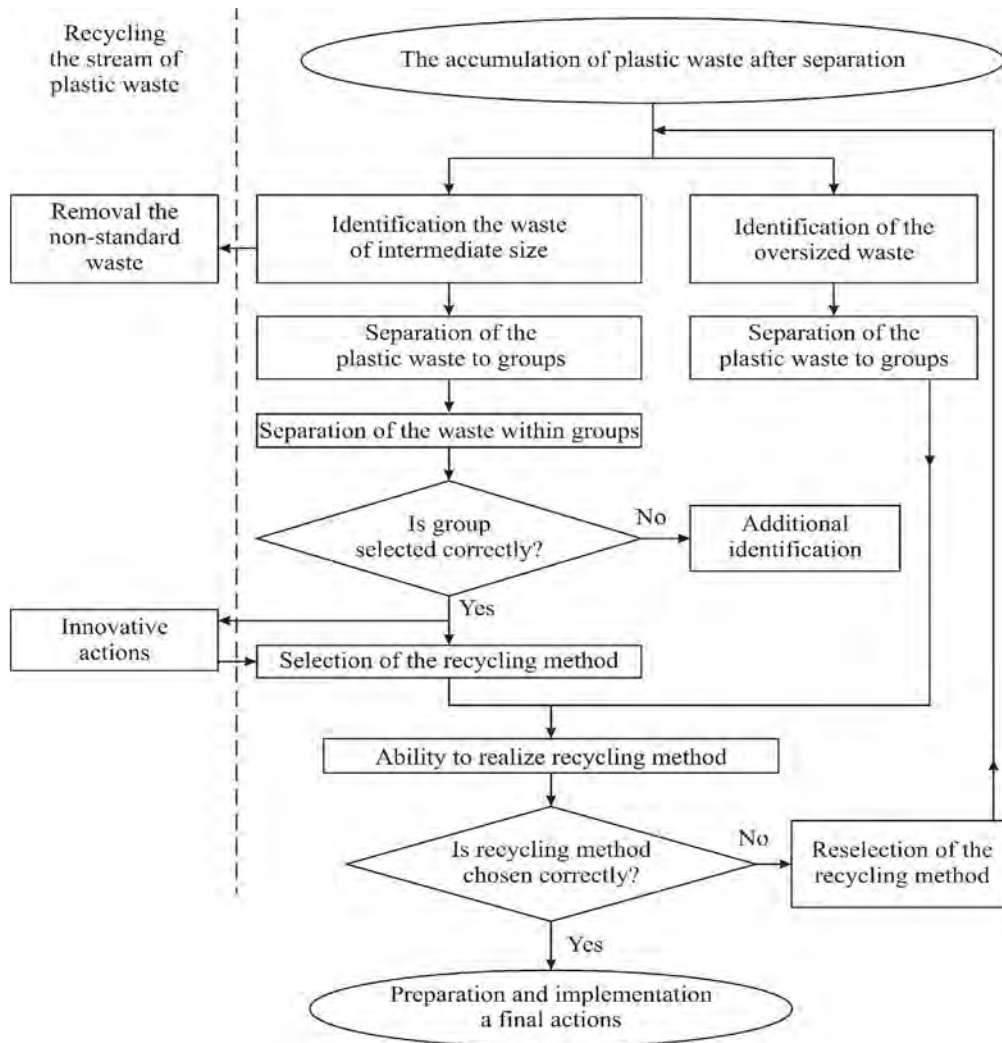


Figure 6. Study and analysis of identification

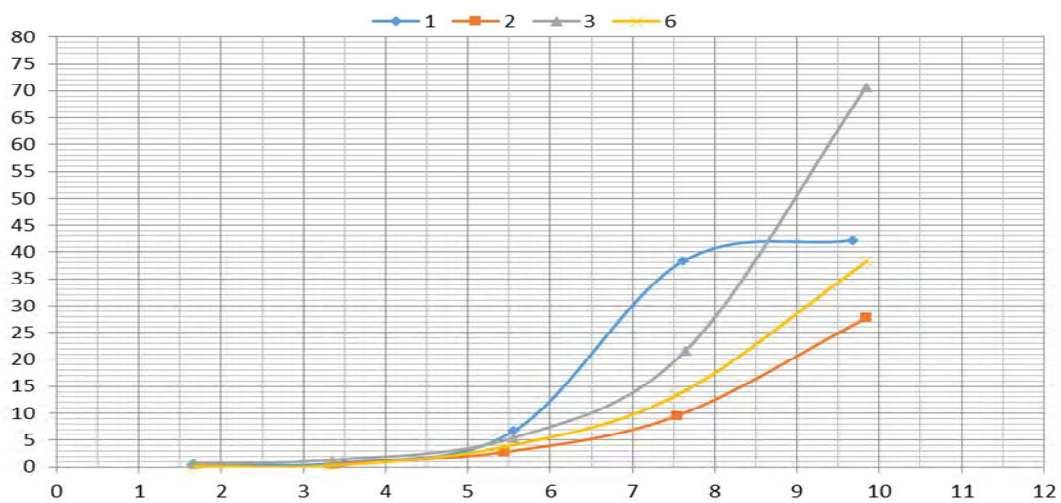


Figure 7. Study and analysis of identification



Figure 8. Editions samples for integrated technology

Dough refers to structured disperse systems, its rheological properties (Figure 7) depend on the structure nature, due to the chemical composition, dispersion of particles and other factors, and determine the technology features of production of various products. The structural and mechanical characteristics, in particular, the viscosity of the conditional resistance, arising in the product during its machining, and are the initial data in the equipment design, devices for transportation and the optimal conditions choice for the processing of masses: the dough is divided into classes rheological bodies, which requires the choice of the corresponding calculation equation for describing the flow in technological machines and apparatuses. The rheological properties of disperse systems are characterized by a number of constants: the elastic modulus; strength; plastic viscosity, effective, differential, etc.

Comprehensive determination of the raw materials properties by students of participants in innovation course projects can be presented, for example, by rheological research to ensure the competitiveness of raw materials and products in Ukraine and in the world in accordance with the requirements of international standards and Ukrainian standards [1, 2]. Thus, the requirements for innovative course projects have been developed: experimental researches and complex analysis of a high-quality flour of four producers previously investigated by us (Figure 8).

Over 9 years of complex design application in the series "Innovative researches in students' scientific works" of the Bulletin of NTU "KhPI" on innovative themes of projects published more than 50 articles as project leaders and compatible articles with students from different universities, courses and faculties [1-3], as well as more than 10 tutorials and textbooks with a stamp of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Figure 8).

Let us go forth and cooperate accurately, confidentially, completely, with integrity and professionalism. Projects build bridges between landscapes, people and history, reveals stories behind the scenery; and creates memorable and inspiring experiences.

#### Conclusions and recommendations.

The main result of the implemented innovation - the development of new educational technologies for the organization, execution and implementation of integrated inter-university innovation design to enhance the technical creativity of students. The pedagogical workshop contains the main methodological provisions of the project:

- 1) the variability of the task and the operation results of integrated innovation projects;
- 2) taking into account technological and other processes that depend on a large number of factors;
- 3) key competencies, features of the infrastructure,

type and status of all project components. A significant feature of the new educational technology is the presence of the main specific components of an optimally organized integrated innovation project as a new form of learning: a high degree of competence in the problem of faculty-organizers and, as a rule, there is sufficient practical and theoretical experience and interest in the issues solving unusual student problems during project development; professional methodological training of lecturers-organizers for the management of a comprehensive project, a rather high level of improvisation on the part of students, which necessitates the teacher's control over the process of obtaining the final result of the project; The main goals of the teacher's corrective actions are identification, allocation and elimination of the real reasons for the discrepancy of the results obtained in order to refer to the innovative result in the development of a comprehensive project in general.

Recommendations for further application are related to the availability in a higher educational institution:

- professional and creative decision of scientific, technical and organizational tasks;
- the possibility of expanding the educational provision and methodological literature and the application of technologies for the education integration and science;
- acquiring practical skills in real patent development;
- development of directions and technology of integrated game design;
- selection of modern complex objects for implementation of innovative technology;
- availability of testing and results dissemination in the form of articles, manuals, patent and licensed materials in magazines, exhibitions, international scientific and technical conferences on innovative methods of teaching and technical creativity of students;
- improvement of moral and material encouragement of students and teachers, etc.

The results are implemented in the technologies of modern high-efficiency methods for the processing of polymer solid wastes into products in the industry. Synergy for the formation of secondary polymer raw materials in the process of utilization-modification can be considered as the use of the features of chemical transformations in the polymer, taking into account that the main segmental movements, diffusion processes and chemical interactions occur in the amorphous phase of the polymer.

In complex systems development, project management is a key factor for innovation, for bringing together system capabilities to actually working systems and taking them to the customer. The critical question then is: How can successful project management in this field be conce

ptualized, practiced, and understood? In the extant literature, there is a plethora of suggested tools for advanced planning and scheduling, for system decomposition and modularization, and for reducing interdependencies and avoiding errors. There is also a growing criticism of these “planning approaches,” suggesting various contingency and flexibility approaches, to reflect and adapt to complexity and change. This critique, however, tends to lack grounded suggestions for effective managerial practices and does not distinguish between general flexibility needs and specific project structures required to make complex systems development at all possible [20].

We live in a world of constant changes. Decision making in public administration is influenced by many factors – demographic change, climate change, constraints of public finances, demand for better public services and bigger social benefits or technological transformation are just some of them. Many public administrations have come to the point where there is no easy solution to the problems, and moving on means structural reforms. We have to make decisions about whether a public administration has to continue to deliver services itself directly, should delegate them to the private sector or simply no longer take responsibility for them. The development of technology is much faster today than it was yesterday. People demand better public services that are digitalised, personal and user-friendly at the same time. It is a major challenge for public administration to keep up with the pace. In order to do that we need to be innovative and open to new ideas [21].

If you're an excellent communicator who wants to work with projects and are ready to enter a highly competitive industry, it could be your perfect job.

Projects builds bridges between landscapes, people and history, reveals stories behind the scenery; and creates memorable and inspiring experiences. Let us go forth and cooperate accurately, confidentially, completely, with integrity and professionalism. [17–21].

#### Список літератури

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Бухкало С.І., Ігліч 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.

5. Бухкало С.І., Іглін С.П. Деякі моделі дослідження структурно-хімічних змін при експлуатації полімерних виробів. Інтегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 3. С. 52–57.
6. Бухкало С.І. и др. Математическое моделирование как инструмент модификации отходов полимеров. Вісник НТУ «ХП». 2010, вип. 32, – с. 52–59.
7. Бухкало С.І. К вопросу энергосбережения процесса агломерирования полимерной упаковки. Інтегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ «ХП», 2005, № 2, – с. 29–33.
8. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП». 2014, № 16, – с. 3–11.
9. Бухкало С.І. Синергетичні процеси утилізації-модифікації полімерної частки ТПВ. Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2017, – № 41 (1263), – с. 17–27.
10. Бухкало С.І. Синергетичні моделі для екологічнобезпечних процесів ідентифікації-класифікації вторинних полімерів. Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2018, – № 18 (1294), – с. 36–44.
11. Бухкало С.І., Ольховська О.І., Іглін С.П., Зіпунніков М.М. Можливості розвитку компетентностей екологічнобезпечних проєктів утилізації-модифікації. Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2018, – № 18 (1294), – с. 3–9.
12. Bukhkalov S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
13. 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.
14. 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.
15. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
16. 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 «ХП». С. 217.
17. Пріщенко О.П., Черногор Т.Т., Бухкало С.І. Деякі особливості проведення кореляційного аналізу. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». С. 320.
18. Сирку М.А., Бухкало С.І., Іглін С.П., Мірошніченко Н.М., Шкредов І.С., Пахнутова М.І., Шевчук Т.Р. Питання комплексного визначення властивостей сировини у межах курсових 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 «ХП». С. 342.
19. 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, 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. 343.
20. Christian Berggren, Jack Järkvik, Jonas Söderlund. Lagomizing, organic integration, and systems emergency wards: Innovative practices in managing complex systems development projects. July 2008. Project Management Journal 39(S1), pp. 111–122. DOI: 10.1002/pmj.20065
21. Jaak Aab, Minister of Public Administration of the Republic of Estonia. Opening words. An Innovative Public Sector in 2017 New Solutions to Complex Challenges. European Institute of Public Administration/Institut européen d'administration publique Maastricht, the Netherlands/Pays-Bas [www.eipa.eu](http://www.eipa.eu) 2017, 102 p.

## References (transliterated)

1. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, O. Komarova. Distance learning main trends. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018. Ch. II / za red. prof. Sokola E.I. Kharkiv: NTU «KhPI», 205 p.
2. S. Bukhkalov, A. Ageicheva, I. Rozhenko. Distance learning investigation some aspects. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16–18 travnja 2018r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. Kharkiv: NTU «KhPI», 206 p.
3. Bukhkalov 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 2018 r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. H.:NTU «HPI». 201 p.
4. Bukhkalov S.I., Iglin S.P., Ol'hov'ska O.I. ta in. Osoblivosti upravlinnja rozrobkami ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXVI mizhn. n-pr. konf. MicroCAD-2018, 16-18 travnja 2018 r. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. H.:NTU «HPI». 208 p.
5. Bukhkalov S.I., Iglin S.P. Dejaki modeli doslidzhennja strukturno-himichnih zmin pri ekspluataciji polimernih virobiv. Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. H.: NTU «HPI», 2016. № 3, pp. 52–57.
6. Bukhkalov S.I. i dr. Matematicheskoe modelirovanie kak instrument modifikacii othodov polimerov. Visnik NTU «HPI». 2010, vip. 32, pp. 52–59.
7. Bukhkalov S.I. K vo-prosu jenergosberezhenija processa aglomerirovanija polimernoj upakovki. Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. H.: NTU «HPI», 2005, № 2, pp. 29–33.
8. Bukhkalov S.I. Udoskonaljuvannja metodiv ocinki znan' studentiv vishnih navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «HPI». H.: NTU «HPI». 2014, № 16, pp. 3–11.
9. Bukhkalov S.I. Sinergetichni procesi utilizacii-modifikacii polimernoj chastki TPV. Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2017, № 41 (1263), pp. 17–27.
10. Bukhkalov S.I. Sinergetichni modeli dlja ekologichnobepechnih procesiv identifikacii-klasifikacii vtorinnih polimeriv. Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2018, № 18 (1294), pp. 36–44.
11. Bukhkalov S.I., Ol'hov'ska O.I., Iglin S.P., Zipunnikov M.M. Možlivosti rozvitku kompetentnostej ekologichnobepechnih proektiv utilizacii-modifikacii. Visnik NTU «HPI». – H.: NTU «HPI». 2018, № 18 (1294), pp. 3–9.
12. Bukhkalov S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, pp. 2047–2052.

13. 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.
14. 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.
15. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
16. Bukhhalo S.I. Vznachennja zagal'noї 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 Є.І. – Harkiv: NTU «HPI», p. 217 p.
17. 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 Є.І. – Harkiv: NTU «HPI», p. 320.
18. Sirku M.A., Bukhhalo S.I., Iglin S.P., Miroshnichenko N.M., Shkredov I.S., Pahnutova M.I., Shevchuk T.R. Pitannja kompleksnogo vznachennja 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 Є.І. – Harkiv: NTU «HPI», p. 343.
19. Sitnik V.V., Jacenko B.S., Bukhhalo S.I., Cirku M.A., Kas'jan A.S., Osa O.V. Vznachennja eksperimental'nih vlastivostej sirovini u mezhah kursovih proektiv. Informacijni 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 Є.І. – Harkiv: NTU «HPI», p. 343.
20. Christian Berggren, Jack Järkvik, Jonas Söderlund. Lagomizing, organic integration, and systems emergency wards: Innovative practices in managing complex systems development projects. July 2008. Project Management Journal 39(S1), pp. 111–122. DOI: 10.1002/pmj.20065
21. Jaak Aab, Minister of Public Administration of the Republic of Estonia. Opening words. An Innovative Public Sector in 2017 New Solutions to Complex Challenges. European Institute of Public Administration/Institut européen d'administration publique Maastricht, the Netherlands/Pays-Bas [www.eipa.eu](http://www.eipa.eu) 2017, 102 p.

Надійшла (received) 19.05.2019

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Бухкало Світлана Іванівна (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](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Іглін Сергій Петрович (Iglin Sergii Petrovich)** – кандидат технічних наук, професор кафедри прикладної математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9144-7427>; e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Главчева Юлія Миколаївна (Glavcheva Yuliia)** – заступник директора науково-технічної бібліотеки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7991-5411>; e-mail: [glavcheva@khpi.edu.ua](mailto:glavcheva@khpi.edu.ua)

**Мірошніченко Наталія Миколаївна (Miroshnichenko Nataliia)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0561-4138>; e-mail: [d\\_tasha@ukr.net](mailto:d_tasha@ukr.net)

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

**Зіпунніков Микола Миколаєвич (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](mailto:zipunnikov_n@ukr.net)

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



## REGULATION

About reviewing articles in a professional edition Bulletin of the National Technical University "KhPI".

Series: Innovative research in students' scientific work

### GENERAL PROVISIONS

1. This Regulation regulates the procedure for reviewing articles submitted for consideration in the scientific journal of the Bulletin of the National Technical University "KhPI", a series of Innovative studies in student's research papers.
2. The review procedure covers all articles submitted for consideration by the editorial board, with the exception of general reports. The purpose of the review is the strict selection of author's manuscripts for publication in order to increase the scientific value of the articles published in the professional edition of the scientific journal of the Bulletin of the National Technical University "KhPI", a series of Innovative studies in students' scientific work, through the evaluation of materials by highly skilled experts.
3. In order to improve the quality of the review process, independent experts are invited to submit their findings in writing in an arbitrary form. Reviewers evaluate theoretical-methodological and experimental level of the article, its practical value and scientific significance; provide recommendations for the elimination of shortcomings.
4. The review procedure is aimed at the most objective assessment of the content of the scientific article, provides an analysis of the advantages and disadvantages of the materials provided and is anonymous for both the author and the reviewer (it is carried out by two reviewers independently of each other). As a reviewer is a member of the editorial board of a professional edition and a third-party highly skilled specialist who has deep knowledge of a certain scientific field and the necessary experience. Only those articles that meet the requirements of the publication, make value from a scientific point of view and contribute to solving actual problems and tasks are accepted for consideration.
5. Reviewers are reported that their manuscripts are the intellectual property of the authors. Reviewers are not allowed to make copies of the submitted article prior to its publication. The review is based on the principles of confidentiality, where information about the article (terms of receipt, content, subject matter, review features, comments to the author, final publication decisions, etc.) are not communicated to anyone other than authors and reviewers. The author may indicate the names of persons whose appointment reviewers are undesirable because of the possibility of a conflict of interest, explaining their position. The reviewer must also report a conflict of interest that may affect his opinion of the manuscript. If the reviewer has doubts about plagiarism, he must obligatorily apply to the editor-in-chief of the publication with the requirement of collective consideration of the author's article by the editorial board. All reviewers should be guided by ethical requirements in scientific publications

### ORDER OF RECOGNITION OF TRANSLATION

1. By the decision of the Chief Editor, the publication of the appointment of reviewers may be entrusted to the responsible for the issue. By the decision of the Editor-in-Chief, certain articles of prominent scholars may be exempted from the standard review procedure. Articles are not reviewed, authors (co-authors) of which are members of the editorial board of the publication.
2. The review, allowed to articles, drawn up in accordance with the requirements for the registration of articles in the professional edition of the Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Innovative research in students' scientific work. In the case of comments at this stage, the article is returned to the author for revision.
3. Subject to all requirements for the design, the article is transmitted to the issuer responsible for the encoding and sends the article by e-mail to a member of the editorial board responsible for the topic of the article (internal reviewer) and to the external reviewer. Within 5 days from the receipt of the article, the reviewer may refuse to review, substantiating this and notifying the person responsible for the issue in writing.
4. Reviewers who have received the coded article choose one of the recommendation options. The term of preparation of recommendations is agreed with the responsible for the issue. Recommendations sent by the reviewer to the e-mail responsible for the issue.
5. In the event of a refusal to publish or need to be revised, the reviewer must provide a written, reasoned explanation of the reasons for his decision. In case of disagreement with the opinion of the reviewer, the author has the right to provide a written, reasoned response to the Editor-in-Chief of the publication, the decision of which the article may be sent to re-reviewing another reviewer or for consideration by the editorial board.
6. The final decision on the article is taken by the Editor-in-Chief, taking into account the received reviews.
7. Further work with the article accepted for publication is carried out in accordance with the technological process of preparation of the publication. Correction of the stylistic, syntactic and punctuation nature, which does not affect the content of the article, is made by the editor without the consent of the author.
8. If the article was rejected and revised by the author taking into account the comments, the revised version is sent for re-review. Articles submitted to authors for correction must be returned no later than 2 weeks after receipt. In case of a repeated negative review, the article is rejected and is not subject to further consideration.
9. The final decision on the publication of a professional edition is fixed by the minutes of the meeting of the Academic Council of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", which is marked on the second page of the publication.
10. The editor-in-chief, the members of the editorial board responsible for the issue, the staff of the editorial and publishing department do not enter into a discussion with the authors of rejected articles. Submissions, reviews, recommendations for each article are stored in the editorial and publishing department within 2 years from the date of submission. Responsibility for copyright infringement and non-compliance with existing standards rests with the author of the article. The author and reviewers are responsible for the authenticity of the data, the validity of the conclusions and recommendations, the scientific and practical level of the articles.
11. The review process and the procedure for taking into account the comments of the reviewers may vary.

## ЗМІСТ

### ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ Й НАУКОВІ РОЗРОБКИ

<i>Kondratjuk N. V., Stepanova T. M., Viyenko A. Yu., Yunjian Shen.</i> Study of organoleptic and technological properties of fish maffins with addition of pearly powder .....	3
<i>Nikulshin V. R., Denysova A. E., Melnik S. I., Bukhhalo S. I.</i> Exergy analysis in modern investigations (review) .....	8
<i>Чумак О. П., Березка Т. О., Мольченко С. М.</i> Щодо отримання лецитину з фосфатидів соняшникової олії .....	14
<i>Polyvanov Y. A.</i> Development of a fatty filler recipe for a new type of wafer products .....	20

### МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ

<i>Кравченко Х. Ю., Стадник І. Я., Мольченко С. М., Демидов І. М.</i> Аналітична модель деградації бактеріальної плівки на поверхні трубопроводу із нержавіючої сталі .....	25
<i>Сабодош Г. О., Гаврилко П. П.</i> Закономірності структуроутворення в технології десертів .....	31
<i>Prishchenko O. P., Chernogor T. T.</i> Using of methods of cross-correlation and regressive analysis for determination of functional dependence between sizes .....	36
<i>Німець Н. М., Брусенцева Т. В., Німець О. Д.</i> Підвищення екологічної безпеки видобування вуглеводнів шляхом вивчення сумісності супутніх іпластових вод при поверненні в надра .....	42

### ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ЗАДАЧІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІННОВАЦІЙ

<i>Касьяненко Л. М., Демидов І. М., Мольченко С. М.</i> Можливість одержання біомастильних матеріалів шляхом хімічної модифікації олій .....	51
<i>Лабейко М. А., Литвиненко О. А., Любченко Н. М., Гладкий Ф. Ф.</i> Дослідження ефективності ряду розчинників щодо можливості екстрагування хлорогенової кислоти зі соняшникового шроту .....	56
<i>Мироненко Л. С., Криштон Є. А., Григорова Л. І., Тимченко В. К.</i> Дослідження та аналіз технологічних властивостей насіння сафлору вітчизняних сортів .....	61
<i>Бухкало С. І., Ольховська О. І., Ольховська В. О., Зіпунніков М. М.</i> Дослідження та аналіз інноваційних заходів з технології комплексної утилізації післяспиртової барди .....	66

### ІННОВАЦІЙНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

<i>Zotyeva Galyna, Vyrsta Yaroslav.</i> Distance learning peculiarities at colleges in UKRAINE .....	75
<i>Bukhhalo S.I., Ageicheva A. O., Iglin S. P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N. N., O. I. Olkhovska, Zipunnikov M. M., Olkhovska V. O.,</i> Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks .....	80
<b>ІНФОРМАЦІЯ</b> .....	89
<b>ЗМІСТ</b> .....	90

# CONTENT

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC DEVELOPMENTS

<i>Kondratjuk N. V., Stepanova T. M., Viyenko A. Yu., Yunjian Shen.</i> Study of organoleptic and technological properties of fish maffins with addition of pearly powder .....	3
<i>Nikulshin V. R. , Denysova A. E. , Melnik S. I. , Bukhhalo S. I.</i> Exergy analysis in modern investigations (review) .....	8
<i>Chumak O. P., Berezka T. O., Molchenko S. M.</i> On the production of lecithin from sunflower oil phosphate .....	14
<i>Polyvanov Y. A.</i> Development of a fatty filler recipe for a new type of wafer products .....	20

## MODELING AS A TOOL OF INNOVATION

<i>Kravchenyuk Kh. Yu., Stadnyk I. Ya., Molchenko S. M., Demydov I. M.</i> Analytical model of the bacterial fiber degradation on the surface of the pipeline from stainless steel .....	25
<i>Sabadosh G. O., Gavrilko P. P.</i> Regularities of structure formation in dessert technology .....	31
<i>Prishchenko O. P., Chernogor T. T.</i> Using of methods of cross-correlation and regressive analysis for determination of functional dependence between sizes .....	36
<i>Nemets N. N., Brusentseva T. V., Nemets A. D.</i> Enhancing the ecological safety of the hydrocarbons production by learning the compatibility of associated plastic waters when returning to the subsoil .....	44

## ENERGY AND RESOURCE SAVING AS PROBLEMS AND TECHNOLOGIES OF INNOVATIONS

<i>Kasianenko L. M., Demidov I. M., Molchenko S. M.</i> Possibility of obtaining biolubricats materials by chemical modification of vegetable oils .....	51
<i>Labeiko M. A., Litvinenko E. A., Liubchenko N. M., Gladkiy F. F.</i> Investigation of effectiveness of a solution range on the possibility of chlorogenic acid extraction from sunflower meal.....	56
<i>Myronenko L. S., Krishtop E. A., Grigorova L. I., Timchenko V. K.</i> Research and analysis of technological properties of seeds to saflor domestic varieties.....	61
<i>Bukhhalo S. I., Olkhovska O. I., Olkhovska V. O., Zipunnikov M. M.</i> Research and analysis of innovative measures on complex recycling technology of distillers grains .....	66

## INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH DIFFERENT PURPOSES

<i>Zotyeva Galyna, Vyrsta Yaroslav.</i> Distance learning peculiarities at colleges in UKRAINE .....	75
<i>Bukhhalo S.I., Ageicheva A. O., Iglin S. P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N. N., O. I. Olkhovska, Zipunnikov M. M., Olkhovska V. O.,</i> Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks .....	80
<b>INFORMATION</b> .....	89
<b>CONTENT</b> .....	90

*НАУКОВЕ ВИДАННЯ*

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХП»  
СЕРІЯ: ІННОВАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У НАУКОВИХ РОБОТАХ  
СТУДЕНТІВ**

*Збірник наукових праць*

*№ 15'2019*

Головний редактор: канд. техн. наук, чл-кор. АН вищої освіти України, проф. С.І. Бухкало

Технічний редактор: доц. Н.М. Мірошніченко

Відповідальний за випуск канд. техн. наук, доц. Н.М. Мірошніченко

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП».  
Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів.  
Тел.: (057) 707-63-04; +380673010613, e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

Підп. до друку 13.06.19 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

---