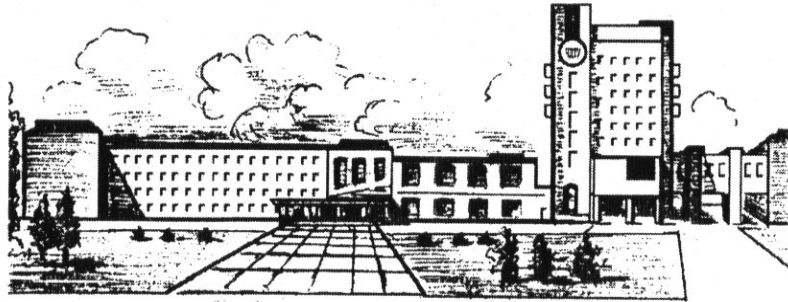


ISSN 2411-5363 (print)  
ISSN 2519-4569 (online)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 1(23)***

Чернігів 2021

Друкується за рішенням вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 3 від 29.03.2021 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 р. № 975, відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

**Технічні науки та технології** : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : Т38 НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – № 1(23). – 266 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у науковому напрямі «Технічні науки» за спеціальностями: прикладна механіка, матеріалознавство, машинобудування, інформаційно-комп'ютерні технології, електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, хімічні та харчові технології, будівництво та геодезія. Статті прорецензовані провідними вченими у відповідних галузях знань.

Журнал «Технічні науки та технології» буде корисним для науковців, науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 62:67.05

**Головний редактор:**

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка».

**Заступник головного редактора:**

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

**Члени редакційної колегії:**

Прикладна механіка, матеріалознавство та машинобудування

Бойко С. В., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Дмитрієв Д. О., доктор технічних наук, професор, Херсонський національний технічний університет;

Єрошенко А. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Кальченко В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Кальченко В. І., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Марков О. Є., доктор технічних наук, професор, Донбаська державна машинобудівна академія;

Новомлинець О. О., доктор технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут виробувань і сертифікації озброєння та військової техніки.

Повстяний О. Ю., доктор технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет;

Федориненко Д. Ю., доктор технічних наук, професор, Tohoku University, Японія;

Ющенко С. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Інформаційно-комп'ютерні технології

Азаров О. Д., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет;

Дорош М. С., доктор технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Єременко В. С., доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»;

Зайцев С. В., доктор технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Криворучко О. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний торговельно-економічний університет;

Мелешко Є. В., доктор технічних наук, доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет;

Павленко П. М., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет;

Семенов С. Г., доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Цюцюра С. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури.

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

Гусев О. О., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Приступа А. Л., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Степенко С. А., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Хімічні та харчові технології

Буяльська Н. П., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Самохвалова О. В., кандидат технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі;

Сиза О. І., доктор технічних наук, професор, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка;

Трус І. М., кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»;

Цибуля С. Д., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Челябієва В. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Будівництво та геодезія

Білик С. І., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Крячок С. Д., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Михайловський Д. В., доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Паляниця Б. Б., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Львівська політехніка»;

Савенко В. І., кандидат технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Шульц Р. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Юрченко В. В., доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури.



ISSN 2411-5363 (print)  
ISSN 2519-4569 (online)

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
CHERNIHIV POLYTECHNIC NATIONAL UNIVERSITY**



# ***TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES***

***SCIENTIFIC JOURNAL***

***ISSUE № 1(23)***

Chernihiv 2021

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv Polytechnic National University (protocol № 3 dated 29.03.2021). Scientific journal "Technical sciences and technologies" is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 11, 2019 № 975, according to which magazine is assigned a category «B».

**Technical sciences and technologies : scientific journal / Chernihiv Polytechnic National University. – Chernihiv : Chernihiv Polytechnic National University, 2021. – № 1(23). – 266 p.**

This issue of the journal "Technical sciences and technologies" contains articles devoted to theoretical and experimental research in the scientific direction "Technical Sciences" by specialties: applied mechanics, materials science and machine building, information and computer technologies, electric power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering, chemical and food technologies, construction and geodesy. The articles are reviewed by leading scientists in relevant fields of knowledge.

Journal "Technical sciences and technologies" will be useful for the scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of higher technical educational establishment.

UDC 62:67.05

**Editor in chief:**

Kazymyr V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

**Deputy Editor in chief:**

Sapon S. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University.

**Members of the Editorial Board:**

Applied mechanics, materials science and machine building

Boyko S. V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Bolotov H. P., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Dmytriiev D. O., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kherson National Technical University;

Yeroshenko A. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Kalchenko V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Kalchenko V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Markov O. Ye., Doctor of Technical Sciences, Professor, Donbaska derzhavna mashynobudivna akademiia;

Novomlynets O. O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Pilipenko O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, leading scientific coworker, State Research Institute of Tests and Certification of Armament and Military Technique;

Povstianyi O. Yu., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Lutsk National Technical University;

Fedorynenko D. Yu. Doctor of Technical Sciences, Professor, Tohoku University, Japan;

Yushchenko S. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University».

Information and computer technologies

Azarov O. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University;

Dorosh M. S., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University»;

Yeremenko V. S., Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»;

Zaitsev S. V., Doctor of Technical Sciences, Chernihiv Polytechnic National University.

Kazymyr V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Kryvoruchko O. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Trade and Economics;

Meleshko Ye. V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Central Ukrainian National Technical University;

Pavlenko P. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University;

Semenov S. H., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»;

Tsiutsiura S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering

Husev O. O., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Denysov Yu. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Prystupa A. L., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Stepenko S. A., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

Chemical and food technologies

Buialska N. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Samokhvalova O. V., PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade;

Syza O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Taras Shevchenko National University «Chernihiv Collegium»;

Trus I. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»;

Tsybulia S. D., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Cheliabiiieva V. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

Construction and geodesy

Bilyk S. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Kriachok S. D., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Mykhailovskiy D. V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Palianysia B. B., PhD in Technical Sciences, PhD in Technical Sciences, Lviv Polytechnic National University;

Savenko V. I., PhD in Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Shults R. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Yurchenko V. V., Doctor of Technical Sciences, PhD in Technical Sciences, Kyiv National University of Construction and Architecture.





## ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Кальченко В., Сіра Н., Кужельний Я., Морочко В.</i> Дослідження теплонапруженості процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення.....	9
<i>Кальченко В., Цибуля С., Сахно Є., Єрошенко А.</i> Дослідження процесів балансування шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів з урахуванням невірноваженості різального інструменту.....	17
<i>Марков О., Панов В., Іванова Ю., Хащинський А., Житніков Р., Косілов М.</i> Удосконалення операції кування великогабаритних пустотілих поковок зі складним профілем .....	25
<i>Стельмах Н., Сапон С., Бельман О.</i> Автоматизований модуль сортування пластикових відходів.....	37
<i>Богданова Л., Аносов В.</i> Визначення технологічних ніш конструкцій різального інструменту з використанням мережі Кохонена.....	45

## РОЗДІЛ ІІ. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Толюпа С., Пархоменко І., Терейковська Л., Квасніков В.</i> Побудова систем виявлення кібератак за допомогою прихованої марківської моделі .....	53
<i>Карпович І., Гладка О., Бухало Ю.</i> Технології моделювання і оцінки ризиків інформаційної безпеки .....	62
<i>Волокита А., Русінов В., Мугусєв К.</i> Дослідження відмовостійкості для топології де Бруйна на основі коефіцієнта посередництва.....	69
<i>Літвінова Н., Альперт М., Погульський А.</i> Підвищення ефективності обміну даними сутностей у реляційному представленні та їх обробки .....	81
<i>Меліхов І., Базилевич В.</i> Захист алгоритмів і даних на стороні клієнта .....	87
<i>Хорошко В., Шелест М., Ткач Ю.</i> Виявлення та оцінювання кібератак в інформаційних мережах із випадковим моментом появи.....	96
<i>Сопов О., Цитовцева А.</i> Особливості масштабування контейнерного навантаження на базі системи Kubernetes .....	103
<i>Карпачев І., Казимир В.</i> Виявлення шкідливих додатків ОС Андроїд по сигнатурі функціонального ланцюжка .....	109
<i>Похиленко О., Катін П.</i> Патерн «стан» для вбудованих систем з можливістю динамічного створення станів.....	118

## РОЗДІЛ ІІІ. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Белінська К.</i> Дослідження кінетики набухання екструдатів, реологічних властивостей концентратів для дитячого харчування .....	128
<i>Замай Ж., Гуменюк О., Волкова Р., Хребтань О., Цибуля С.</i> Фортифікація пшеничного хліба інноваційними інгредієнтами рослинного походження.....	135
<i>Воробйова В., Скіба М., Трус І., Кирій С., Сіренко С.</i> Дослідження компонентного складу та антиоксидантних властивостей екстракту продукту переробки томата. ....	145
<i>Данилюк І., Струтинська Л.</i> Технологія млинців із плодово-овочевої сировини .....	152
<i>Урум Н., Литвин М., Рященко О., Бабере О.</i> Методи переробки рідких небезпечних речовин на суднах змішаного плавання.....	162

**РОЗДІЛ IV. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ**

<i>Ляшок Я., Подкопаєв С., Повзун О., Калиниченко В., Деменко К.</i> Будівельний матеріал на основі відходів гірничорудного виробництва .....	175
<i>Бойко О., Полякова Н.</i> Формування наборів геопросторових даних для ГІС управління інженерними комунікаціями аеропорту .....	188
<i>Беспалько Р., Казімір І., Гуцул Т.</i> Проблемні моменти підготовки та становлення фахівців за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» .....	198
<i>Барбаши М.</i> Особливості конструювання поверхонь архітектурних форм із використанням комп'ютерної графіки .....	208
<i>Крячок С.</i> Нормативне забезпечення щодо рівності аеродромних покриттів в Україні .....	215
<i>Джуман Б., Непеляк Я.</i> Про представлення АКФ СТНА-поліномами для моделювання регіонального гравітаційного поля Землі .....	225
<i>Дакі О., Гімпель Р., Ткаченко В., Бажак О.</i> Математичні моделі динаміки морських об'єктів при хитавиці .....	232

**РОЗДІЛ V. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

<i>Лось А., Рудніченко С., Соболев В., Велігорський О.</i> Огляд основних параметрів системи електроспоживання сучасних безпілотних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки .....	239
<i>Глушко О., Степенко С.</i> Параметри, характеристики і фактори, що впливають на ефективність та надійність роботи фотоелектричних перетворювачів у складі електроенергетичних систем .....	249

<b>ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ</b> .....	265
---	-----

## CONTENT

## SECTION I. APPLIED MECHANICS, MATERIALS SCIENCE AND MACHINE BUILDING

<i>Kalchenko V., Sira N., Kuzhelnyi Ya., Morochko V.</i> Research of heat tension of grinding process of cylindrical surfaces by periphery of oriented circle in blunting mode.....	9
<i>Kalchenko V., Tsybulia S., Sakhno E., Yeroshenko A.</i> Investigation of balancing processes of grinding and high-speed milling machines considering unbalance of cutting tool.....	17
<i>Markov O., Panov V., Ivanova Yu., Khvashchynskyi A., Zhytnikov R., Kosilov M.</i> Improvement of the forging operation of large-sized empty forgings with a complex profile.....	25
<i>Stelmakh N., Sapon S., Belman O.</i> Automated plastic waste sorting module.....	37
<i>Bohdanova L., Anosov V.</i> Determination of technological niches of the cutting tool construction using the kohonen network.....	45

## SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Toliupa S., Parkhomenko I., Terekivska L., Kvasnikov V.</i> Construction of cyber attack detection systems with the hidden markov model.....	53
<i>Karpovych I., Hladka O., Bukhalo Yu.</i> Technologies of modeling and assessment of the information security risks.....	62
<i>Volokyta A., Rusinov V., Muhuiev K.</i> Fault tolerance exploration for de bruijn topology based on betweenness coefficient.....	69
<i>Litvinova N., Alpert M., Pohulskyi A.</i> Improving the efficiency of data exchange of entities in relational representation and their processing.....	81
<i>Melikhov I., Bazylevych V.</i> Client-side algorithms and data protection.....	87
<i>Shelest M., Khoroshko V., Tkach Yu.</i> Detection and evaluation of cyberatacs in information networks with random moment of occurrence.....	96
<i>Sopov O., Tsytovtseva A.</i> Features of scaling container load in kubernetes system.....	103
<i>Karpachev I., Kazymyr V.</i> Android malware detection by functional chain signature....	109
<i>Katin P., Pokhlylenko O.</i> State pattern for embedded systems with the possibility of dynamic creation of states.....	118

## SECTION III. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Belinska K.</i> Study of kinetics of swelling of extrudates, rheological properties of concentrates for baby food.....	128
<i>Zamai Zh., Gumeniuk O., Volkova R., Khrebtan O., Tsybulia S.</i> Fortification of wheat bread with innovative ingredients of plant origin.....	135
<i>Vorobyova V., Skiba M., Trus I., Kyrii S., Sirenko S.</i> Research of component composition and antioxidant properties of tomato processed product extract.....	145
<i>Danyliuk I., Strutinska L.</i> Technology of pancakes from fruit and vegetable raw materials.....	152
<i>Urum N., Lytvyn M., Riashchenko O., Babere O.</i> Methods of processing liquid dangerous substances on mixed swimming vessels.....	162

## SECTION IV. CONSTRUCTION AND GEODESY

<i>Liashok Ya., Podkopaiev S., Povzun O., Kalynychenko V., Demenko K.</i> Construction material based on the mining production waste.....	175
---	-----

<b>Boiko O., Polyakova N.</b> Formation of sets of geospatial data for gis management of engineering communications of airport.....	188
<b>Bespalko R., Kazimir I., Hutsul T.</b> Problem moments of training and formation of specialists in specialty 193 «Geodesy and land management».....	198
<b>Barbash M.</b> Features of designing surfaces of architectural forms using computer graphics .....	208
<b>Kryachok S.</b> Regulatory provision on equality of airfield coverage in Ukraine.....	215
<b>Dzhuman B., Nepeliak Ya.</b> On the representation of ACF by STHA-polynomials for modeling the regional gravitational field of the earth.....	225
<b>Daki O., Gimpel R., Tkachenko V., Bazhak O.</b> Mathematical models of dynamics of marine objects during ship motions .....	232

**SECTION V. ELECTRIC POWER ENGINEERING,  
ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS**

<b>Los A., Rudnichenko S., Soboliev V., Velihorskyi O.</b> Overview of the main parameters of the electricity consumption system of modern uavs for vertical take-off and landing .....	239
<b>Hlushko O., Stepenko S.</b> Parameters, characteristics and factors impacting on efficiency and reliability of photovoltaic converters in electric power systems. ....	249

<b>BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES .....</b>	<b>265</b>
--	------------

# РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-9-16

Володимир Кальченко, Наталія Сіра, Ярослав Кужельний, Володимир Морочко

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОСТІ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ПЕРИФЕРІЄЮ ОРІЄНТОВАНОГО КРУГА В РЕЖИМІ ЗАТУПЛЕННЯ

*Остаточна якість поверхонь деталі та її геометричні розміри формуються операціями шліфування. Робота інструмента в режимі затуплення забезпечує необхідні геометричні форми деталі та шорсткість поверхні. З іншого боку, цей режим роботи круга супроводжується засалюванням та зменшенням різальної здатності інструмента. У роботі наведено дослідження теплонапруженості процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення. Згідно з розрахунками дотична складова сил шліфування від пластично деформуючих та різальних зерен не здійснює суттєвого впливу на підвищення температури на калібрувальній ділянці.*

**Ключові слова:** абразивний круг; орієнтований інструмент; режим затуплення; теплонапруженість; сили шліфування.

Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Необхідні параметри точності, якості робочих поверхонь та геометричні розміри циліндричних деталей формуються фінішними операціями обробки. До таких операцій належить процес шліфування. Дослідження параметрів шліфування орієнтованим інструментом у режимі затуплення є актуальним завданням, оскільки забезпечить підвищення ефективності та точності обробки.

**Постановка проблеми.** Для забезпечення необхідної шорсткості та геометричної форми поверхні деталі необхідно на фінішних операціях створювати умови обробки, при яких інструмент буде працювати в режимі затуплення. Окрім забезпечення необхідної геометричної форми круга, цей режим обробки супроводжується зносом абразивних зерен, засалюванням та зменшенням різальної здатності інструмента, тому необхідно дослідити теплонапруженість при цих умовах шліфування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Робота [1] присвячена питанням оптимізації та прогнозування зносу шліфувальних кругів при круглому шліфуванні. Проведено дослідження параметрів, які впливають на знос інструмента.

У роботах [2; 3] досліджено процес високоефективної абразивної обробки деталей.

Для забезпечення необхідних вимог до шорсткості та розмірів обробленої поверхні на операціях напівчистового і чистового шліфування заготовок під час роботи інструмента в режимі самозагострювання відбувається швидка зміна профілю та форми робочої поверхні круга, що не дає змоги отримати необхідні показники процесу шліфування. На таких операціях необхідно вибирати відповідні режими обробки і характеристики кругів, які можуть забезпечити роботу інструмента в режимі затуплення абразивних зерен [4].

У роботах [5; 6] розглянуто способи глибинного шліфування зі схрещеними осями інструмента та циліндричної деталі. Кут орієнтації круга в цих способах приймається за умови отримання найбільшої продуктивності процесу обробки.

У роботі [7] було проведено експериментальне дослідження чистового однопрохідного шліфування циліндричної поверхні вала орієнтованим інструментом. При такому способі обробки припуск рівномірно розподіляється вздовж периферії інструмента, що дає можливість зменшити глибину різання за один прохід та теплонапруженість процесу шліфування.

У роботі [8] розглянуто особливості процесу шліфування заготовок із пластичних матеріалів, досліджено процес налипання матеріалу деталі на абразивні зерна під час шліфування, наведено технологічні методи підвищення та стабілізації різальної здатності шліфувального круга за рахунок мінімізації засалювання його робочої поверхні.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність дослідження теплонапруженості процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення.

**Мета статті.** Дослідження теплонапруженості процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення

**Виклад основного матеріалу.** Згідно з [8] на абразивний круг під час шліфування здійснюється силовий, фізико-хімічний та тепловий вплив. Результатом такого впливу є знос робочої поверхні інструмента, засалювання та затуплення.

Під час зношення круга відбувається відривання певної кількості абразивного шару, що впливає на геометричні розміри інструмента. Затуплення круга призводить до зниження різальної здатності абразивного інструмента.

Відповідно до [9] на початковому етапі процесу шліфування на абразивних зернах утворюються площадки зносу, які з часом збільшуються. Крім зносу абразивних зерен, одночасно також відбувається зміна геометрії робочої поверхні інструмента.

Залежно від фізико-механічних властивостей зерен та зв'язки, матеріалу оброблюваної деталі, режиму шліфування тощо, існують такі види зносу:

- стирання вершин абразивних зерен з утворенням на них площадок із певною шорсткістю;
- мікроруйнування абразивних зерен із відколюванням від них невеликих частин;
- руйнування абразивних зерен із відколюванням від них великих частин, розміри яких подібні до розміру зерна;
- виривання абразивного зерна зі зв'язки;
- руйнування, яке пов'язане із хімічними реакціями в місці контакту абразивного зерна із матеріалом заготовки при дії високих температур;
- забивання (засалювання) пор абразивного інструменту продуктами зносу та стружкою.

При адгезійному зносі абразивних зерен, який пов'язаний із періодичним відриванням налиплого на них матеріалу заготовки та певної частини абразиву, утворюються на зернах невеликі кратери. Дифузійне зношування полягає в розчиненні зерен у матеріалі заготовки та (або) утворенні їх хімічних з'єднань [9].

Під час засалення відбувається потрапляння на робочу поверхню інструмента частинок абразиву, зв'язки та стружки (шламу). Зазвичай цей шлам проникає в пори шліфувального круга та між абразивними зернами. Також на зернах налипає певна кількість матеріалу заготовки.

Залежно від виду зносу існує режим самозаточування та затуплення абразивного інструмента.

Режим затуплення круга характеризується утворенням на абразивних зернах площадок зносу з налипанням на них частинок матеріалу заготовки. При цьому різальна здатність такого круга зменшується, збільшується теплонапруженість процесу обробки та вібрації, що призводять до погіршення точності та якості деталі. Проте цей режим забезпечує необхідну геометричну форму абразивного круга, шорсткість обробленої поверхні та зменшує похибку розмірів та форми деталі.

Режим затуплення круга зазвичай застосовують на операціях остаточного шліфування.

Під час процесу шліфування збільшення твердості абразивного круга призводить до переходу від режиму самозаточування до затуплення, що супроводжується засалюванням інструмента.

Відповідно до дослідження у роботі [9] при шліфуванні деталей із корозійностійких сталей інструментами, у яких абразивними матеріалами є електрокорунди та карбіди кремнію, визначено три періоди роботи кругів:

1) відколювання вершин зерен, руйнування зерен з утворенням осколків, виривання абразивних зерен, які неміцно розміщені у зв'язці в початковий період шліфування;

2) затуплення та налипання на вершини зерен певної кількості матеріалу заготовки, руйнування абразивних зерен та утворення осколків, виривання затуплених та засмальцьованих зерен, при частковому потраплянні шламу в пори круга;

3) продовження процесу засалювання круга, потрапляння шламу між абразивними зернами та втрата різальної здатності інструмента.

Втрата шліфувальним кругом різальної здатності внаслідок засалювання інтенсифікується зі збільшенням пластичності матеріалу заготовки.

У роботі [10] наведена комплексна оцінка продуктивності шліфування залежно від оброблюваності матеріалу заготовки та зносу зерен інструмента.

Насамперед засалювання інструмента відбувається саме за рахунок налипання частинок матеріалу заготовки на абразивний круг.

Абразивне зерно має більшу міцність, ніж матеріал оброблювальної заготовки, проте при збільшенні напрацювання інструмента та внаслідок температурного та силового впливу можливе утворення втомних тріщин в матеріалі зерна. Це призводить до періодичного відриву налиплого матеріалу разом із частинками абразивних зерен з утворенням на них невеликих кратерів.

Зменшити процес засалювання робочої поверхні інструмента під час шліфування можливо за рахунок підбору відповідного матеріалу абразивних зерен та зв'язки, які найменше схильні до адгезійної взаємодії з матеріалом заготовки, оптимальних характеристик шліфувального круга та відповідного рельєфу його робочої поверхні, режимів обробки заготовки.

Здебільшого середня відстань між абразивними зернами шліфувального круга менше за довжину дуги контакту інструмента із заготовкою. Відповідно, між зернами повинно бути достатньо простору для потрапляння різноманітних відходів шліфування.

При роботі круга в режимі затуплення величина сили тертя більша в порівнянні з роботою круга в режимі самозаточування, тому необхідно визначити складові сил шліфування, які виникатимуть у процесі роботи круга в режимі затуплення. Скористаємось такими залежностями [8]:

$$P_{yf} = P_{yzz} + P_{ydf} , \quad (1)$$

$$P_{zf} = P_{zrz} + P_{zdf} , \quad (2)$$

де  $P_{yzz}$ ,  $P_{zrz}$  та  $P_{ydf}$ ,  $P_{zdf}$  – складові сили від різальних зерен та пластично деформуючих зерен відповідно.

Кожна зі складових сил  $P_{yzz}$ ,  $P_{zrz}$  та  $P_{ydf}$ ,  $P_{zdf}$  має декілька складових. Наприклад:

$$P_{yzz} = P_{yzz1} + P_{yzz2} , \quad (3)$$

де  $P_{yzz1}$  – радіальна складова сила від різальних абразивних зерен;

$P_{yzz2}$  – сила тертя абразивних зерен об деталь.

$$P_{y_{rz1}} = \frac{2 \cdot K_y \cdot B_{pa}}{A_f \cdot (1 + \varepsilon_{nv})} \cdot \left( \frac{2 \cdot \left[ \left( A_f \cdot l_{kt} \cdot (1 + \varepsilon_{nv}) + a_{krz} + h_{zk} \right)^{\frac{7}{2}} - \left( a_{krz} + h_{zk} \right)^{\frac{7}{2}} \right]}{35} - \frac{2 \cdot h_{zsr} \cdot \left[ \left( A_f \cdot l_{kt} \cdot (1 + \varepsilon_{nv}) + a_{krz} + h_{zk} \right)^{\frac{5}{2}} - \left( a_{krz} + h_{zk} \right)^{\frac{5}{2}} \right]}{15} \right) - 2 \cdot K_y \cdot B_{pa} \cdot \left( \frac{a_{krz}^{\frac{5}{2}}}{5} - h_{zsr} \cdot \frac{a_{krz}^{\frac{3}{2}}}{3} \right) \cdot l_{kt}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon_{nv} = \frac{2 \cdot S_{nv}}{S_{pr}}$  – коефіцієнт навалів (відношення суми площ бокових навалів до площі риски у поперечному перерізі):

$S_{nv}$  – площа поперечного перерізу навала, м<sup>2</sup>;

$S_{pr}$  – площа поперечного перерізу риски, м<sup>2</sup>.

Для розрахунку позначимо:

$$A_f = \frac{V_{spd} \cdot \sin \alpha_{\max}}{\pi \cdot D_{cr} \cdot n_{cr} \cdot \sqrt{z_w \cdot F \left( h_{zk} + \frac{a_{zr \max}}{2} \right)} \cdot l_{kt}},$$

$V_{spd}$  – швидкість повздовжньої подачі, м/хв;

$$\alpha_{\max} = \arccos \frac{D_{cr} - 2 \cdot t_f}{D_{cr}};$$

$t_f$  – глибина шліфування, м;

$D_{cr}$  – діаметр шліфувального круга, м;

$n_{cr}$  – частота обертання шліфувального круга, хв<sup>-1</sup>;

$z_w$  – число зерен, яке припадає на одиницю робочої поверхні шліфувального круга, 1/м<sup>2</sup>;

$a_{zr \max}$  – максимальна глибина врізання зерна в заготовку, м.

Для розрахунку позначимо:

$$B_{pa} = \tau_{mt}(T) \cdot n_{zcr1} \cdot c_{cr} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{zb}},$$

$\tau_{mt}(T)$  – напруження зсуву, величина якого залежить від температури нагрівання оброблюваної деталі, Н/мм<sup>2</sup> [11];

$n_{zcr1}$  – число зерен на поверхні шліфувального круга, в перерізі його площиною, яка паралельна вісі круга, 1/м;



$c_{cr}$  – стала, яка залежить від характеристики круга;

$\rho_{zb}$  – початковий радіус кола, описаного навколо граней вершини різальної кромки зерна, м.

$K_y$  – коефіцієнт відповідно до [12];

$l_{kt}$  – довжина контакту зерна із заготовкою, м;

$a_{krz}$  – критична глибина мікрорізання, м;

$h_{zk}$  – сумарна величина зкалювання зерен під час правки та розмірного зносу шліфувального круга, м;

$h_{zsr}$  – середній знос зерен, який здійснюється мікрорізанням, м.

$$P_{y_{rz2}} = \frac{\pi \cdot \rho_{zb} \cdot h_{zsr} \cdot n_{zcr1} \cdot c_{cr} \cdot \tau_{mt}(T)}{3 \cdot \mu_s} \cdot \left( h_{zk} \cdot l_{kt} + \frac{A_f \cdot l_{kt}^2 \cdot (1 + \varepsilon_{mv})}{2} \right), \quad (5)$$

де  $\mu_s$  – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Радіальна складова сили шліфування від зерен, які здійснюють пластичну деформацію:

$$P_{ydf} = P_{ydf1} + P_{ydf2}, \quad (6)$$

де  $P_{ydf1}$  – радіальна складова сили шліфування від пластично деформуючих зерен, яка пов'язана із відтисненням матеріалу заготовки, Н;

$P_{ydf2}$  – сила тертя відповідних зерен об заготовку, Н.

$$P_{ydf1} = 2 \cdot \frac{c \cdot \sigma_m \cdot n_{zcr} \cdot c_{cr} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{zb}}}{2} \cdot (\sin \gamma + \mu_0 \cdot \cos \gamma) \cdot \left[ \frac{\sqrt{h_{zdsr}}}{4} \cdot (a_{krz}^2 + 2 \cdot a_{krz} \cdot h_{zdsr}) + \frac{1}{5} \cdot \left( (a_{krz} + h_{zdsr})^{\frac{5}{2}} - h_{zdsr}^{\frac{5}{2}} \right) - \frac{h_{zdsr}^{\frac{3}{2}}}{2} \cdot a_{krz} - \frac{h_{zdsr}}{3} \cdot \left( (a_{krz} + h_{zdsr})^{\frac{3}{2}} - h_{zdsr}^{\frac{3}{2}} \right) \right] \quad (7)$$

де  $c$  – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

$\sigma_m$  – межа текучості матеріалу заготовки, Па;

$n_{zcr}$  – число зерен на поверхні круга, яка обмежена розмірами контактної зони;

$\gamma$  – половина кута при вершині абразивного зерна, °;

$\mu_0$  – коефіцієнт тертя абразивного зерна об заготовку;

$h_{zdsr}$  – середній знос зерен, які здійснюють пластичне деформування, м.

$$P_{ydf2} = \frac{\pi \cdot \rho_{zb} \cdot h_{zdsr} \cdot Hr_{mt} \cdot n_{zcr} \cdot c_{cr} \cdot a_{krz}}{3}, \quad (8)$$

де  $Hr_{mt}$  – твердість налиплого матеріалу, Па.

Загальна потужність тепловиділення при роботі різального та деформуючого абразивного зерна:

$$W_k = W_{df} + W_{1tr} + W_{2tr}, \quad (9)$$

де  $W_{df}$ ,  $W_{1tr}$  та  $W_{2tr}$  – потужність тепловиділення джерел, які виникають у результаті перетворення в теплоту відповідно роботи деформування ( $W_{df}$ ), роботи сили тертя стружки об зерно ( $W_{1tr}$ ) та роботи сили тертя зерна об заготовку ( $W_{2tr}$ ), Вт.

Потужності джерел визначаються за такими залежностями:

$$W_{1tr} = P_{stz} \cdot V_{st}, \quad (10)$$

$$W_{2tr} = P_{zst} \cdot V_{cr}, \quad (11)$$

$$W_{df} = (P_{zf} - P_{zst}) \cdot V_{cr} - P_{stz} \cdot V_{st}, \quad (12)$$

де  $P_{zf}$  – дотична складова сили різання одиничним абразивним зерном, Н;

$P_{stz}$  та  $P_{zst}$  – сили тертя відповідно між стружкою та абразивним зерном та між абразивним зерном та заготовкою, Н;

$V_{st}$  – швидкість переміщення стружки, м/с;

$V_{cr}$  – робоча швидкість шліфувального круга, м/с.

Використовуючи залежності (4), (5), (7) та (8) було проведено розрахунок сил шліфування та їхніх складових при обробці циліндричної деталі зі сталі 40X, орієнтованим абразивним кругом з електрокорунду білого із зернистістю 40, висотою 25 мм та зовнішнім діаметром 200 мм. Швидкість повздовжньої подачі – 0,1 мм/об, а швидкість шліфувального круга – 35 м/с. Глибина різання – 0,3 мм, кут повороту інструмента – 1°.

Аналіз отриманих результатів показав, що складові сили шліфування від пластично деформуючих зерен мають значення:  $P_{ydf1} = 0,41$  Н,  $P_{ydf2} = 1,2$  Н,  $P_{zdf1} = 0,32$  Н,  $P_{zdf2} = 0,45$  Н, в порівнянні з різальними:  $P_{yrs1} = 22,4$  Н,  $P_{yrs2} = 7,8$  Н,  $P_{zrs1} = 21,3$  Н,  $P_{zrs2} = 3,8$  Н. Дотична складова сили шліфування від різальних та деформуючих зерен становить:  $P_{zf} = 26,14$  Н, що практично не впливає на підвищення температури в зоні різання.

**Висновки.** Проведено дослідження теплонапруженості процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга при його роботі в режимі затуплення. Отримана величина дотичної складової сил шліфування від пластично деформуючих та різальних зерен суттєво не впливає на підвищення температури на калібрувальній ділянці та не здійснює негативний вплив на стан поверхневого шару деталі. Тому роботу круга в режимі затуплення доцільно застосовувати на фінішних операціях.

#### Список використаних джерел

1. Neela Ravindra Rajhans, Shubham Sanjay Nagori, Omprakash Ramavatar Yadav. Optimizations and prediction of grinding wheel wear in cylindrical grinding. *VSRD International Journal of Mechanical, Civil, Automobile and Production Engineering*. 2015. Vol. V Issue VI. Pp. 1-6.
2. Yali Hou, Changhe Li, Yan Zhou. Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel. *Engineering*. 2010. 2(3). Pp. 184-189.
3. Chang He Li, Ling Yun Qi, Hua Yang Zhao. Application and Development of High-Efficiency Abrasive Finishing. *Advanced Materials Research*. 2011. Pp. 189-193.
4. Шахбазов Я. О., Широков В. В., Широков О. В., Паламар О. О. Технологічне забезпечення процесу шліфування. *Поліграфія і видавнича справа*. 2018. № 1(75). С. 75-81.
5. Кальченко В. И., Погиба Н. Н., Кальченко Д. В. Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом. *Сверхтвердые материалы: научно-теоретический журнал*. 2012. № 2. С. 58–73.
6. Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Boyko S. V., Sira N. M. Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta Mechanica et Automatica*. 2017. Vol. 11, No. 1. (39) P. 58–63.
7. Кальченко В. И., Кальченко В. В., Кужельний Я. В., Морочко В. В. Експериментальне дослідження чистового однопрохідного шліфування циліндричної поверхні вала орієнтованим інструментом. *Технічні науки та технології*. 2019. № 2 (16). С. 54–61.
8. Худобин Л. В., Унянин А. Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. Ульяновск : УЛГТУ. 2007. 298 с.

9. Мазур Н. П., Внуков Ю. Н., Грабченко А. И., Доброскок В. Л., Залого В. А., Новоселов Ю. К., Якубов Ф. Я. Основы теории резания материалов : учебник. 2-е изд., перераб. и дополн. Харьков : НТУ «ХПИ». 2013. 534 с.

10. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. Москва : Машиностроение, 1974. 280 с.

11. Сіра Н. М. Підвищення ефективності шліфування циліндричних, ступінчастих та криволінійних поверхонь обертання зі схрещеними осями круга та деталі : дис. ... канд. техн. наук / Чернігівський національний технологічний університет. Чернігів, 2017. 176 с.

12. Ефимов В. В. Модель процесса шлифования с применением СОЖ. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1992. 132 с.

### References

1. Neela Ravindra Rajhans, Shubham Sanjay Nagori, Omprakash Ramavatar Yadav. (2015) Optimizations and prediction of grinding wheel wear in cylindrical grinding. *VSRD International Journal of Mechanical, Civil, Automobile and Production Engineering*, V (VI), pp. 1-6.

2. Yali Hou, Changhe Li, Yan Zhou. (2010). Applications of High-Efficiency Abrasive Process with CBN Grinding Wheel. *Engineering*, 2(3), pp. 184-189.

3. Chang He Li, Ling Yun Qi, Hua Yang Zhao. (2011). Application and Development of High-Efficiency Abrasive Finishing. *Advanced Materials Research*, pp. 189-193.

4. Shahbazov, Y. O., Shirokov, V. V., Shirokov, O. V., Palamar, O. O. (2018). Tekhnologichne zabezpechennia protsesu shlifuvannia [Technological support of grinding process]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava – Printing and publishing*, 1(75), pp. 75-81.

5. Kalchenko, V.I., Pogiba, N.N. & Kalchenko, D.V. (2012). Opredelenie sostavliaiushchikh sily rezaniia pri glubinnom shlifovanii poverkhnosti vrashcheniia orientirovannym elborovym krugom [Determination of the components of the cutting force for deep grinding of surfaces of revolution by an oriented elbor wheel]. *Sverkhverdye materialy – Superhard materials*, 2 (196), pp. 58–73.

6. Kalchenko, V. V., Yeroshenko, A. M., & Boyko, S. V. (2017). Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta Mechanica et Automatica*, 11(1(39)), pp. 58–63.

7. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Kuzhelnyi, Ya. V., Morochko, V. V. (2019). Eksperymentalne doslidzhennia chystovoho odnoprokhidnoho shlifuvannia tsylindrychnoi poverkhni vala oriientovannym instrumentom [Experimental research finishing single pass grinding of the cylindrical surface of the shaft with an oriented tool]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 2(16), pp. 54–61.

8. Khudobin, L. V., Unyanin, A. N. (2007). *Minimizatsiia zasalivannia shlifovalnykh kruhov [Minimization of clogging of grinding wheels]*. UISTU.

9. Mazur, N. P., Vnukov, Ju. N., Grabchenko, A. I., Dobroskok, V. L., Zaloga, V. A., Novoselov, Ju. K., Jakubov, F. Ja. (2013). *Osnovy teorii rezaniia materialov [Fundamentals of the theory of cutting materials]*. NTU «KhPI».

10. Korchak, S. N. (1974). *Proizvoditelnost protcessa shlifovaniia stalnykh detalei [Productivity of the the grinding process of steel parts]*. Mashinostroenie.

11. Sira, N. M. (2017). *Pidvyshchennia efektyvnosti shlifuvannia tsylindrychnykh, stupinchastykh ta kryvoliniinykh poverkhon obertannia zi skhreshchenymy osiamy kruha ta detail [Improving the efficiency of grinding cylindrical, stepped and curved surfaces of rotation with crossed axes of a circle and a part]*. [PhD dissertation, Chernihiv National Technological University].

12. Efimov V. V. (1992). *Model protcessa shlifovaniia s primeneniem SOZh. [Model of the grinding process using coolant]*. Izd-vo Sarat. un-ta.

UDC 621.923.42

*Volodymyr Kalchenko, Nataliia Sira, Yaroslav Kuzhelnyi, Volodymyr Morochko*

### RESEARCH OF HEAT TENSION OF GRINDING PROCESS OF CYLINDRICAL SURFACES BY PERIPHERY OF ORIENTED CIRCLE IN BLUNTING MODE

*The final surface quality of the part and its geometric dimensions are formed by grinding operations. Research of the parameters of grinding with an oriented tool in the blunting mode is an urgent task, since it will provide an increase in processing productivity. The operation of the tool in the bluntness mode provides the necessary geometric shapes of the part and surface roughness. On the other hand, this operating mode of the wheel is accompanied by clogging and a decrease in the cutting ability of the tool. Therefore, it is necessary to research the heat tension of the grinding process under these processing conditions.*

*Methods of deep grinding with crossed axes of the tool and cylindrical part are considered. The results of an experimental research of finishing single-pass grinding of a cylindrical surface of a shaft with an oriented tool are presented. The features of the process of grinding work pieces made of plastic materials are considered. Lack of research on the heat tension of the process of grinding cylindrical surfaces by the periphery of an oriented circle in the bluntness mode.*

*To research the heat tension of the process of grinding cylindrical surfaces by the periphery of an oriented circle in the bluntness mode. To analyze the influence of the constituent forces of grinding on the processing process.*

*During the operation of the wheel in the bluntness mode, its cutting ability decreases and the heat tension of the grinding process and vibration increases. At the same time, the necessary geometric shape of the circle is created, which provides the specified roughness and dimensions of the part.*

*The heat tension of the process of grinding cylindrical surfaces by the periphery of an oriented circle during its operation in the blunting mode is researched. According to the calculations, the tangential component of the grinding forces from the plastically deforming and cutting grains does not have a significant effect on the temperature rise at the calibration section.*

**Keywords:** abrasive wheel; oriented tool; blunting mode; heat tension; grinding forces.

**References:** 12.

**Кальченко Володимир Віталійович** – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kalchenko Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in scientific and pedagogical work, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vvkalchenko74@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

**ResearcherID:** G-6752-2014

**Сіра Наталія Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sira Nataliia** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** nnserya@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6242-5210>

**ResearcherID:** K-2658-2017

**Кужельний Ярослав Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kuzhelnyi Yaroslav** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** k.y.v.immortal@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5269-8557>

**ResearcherID:** J-1127-2016

**Морочко Володимир Вікторович** – аспірант, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Morochko Volodymyr** – PhD student, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** itmia@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6160-2812>

УДК 621.92

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-17-24

*Віталій Кальченко, Сергій Цибуля, Євгеній Сахно, Андрій Єрошенко***ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ БАЛАНСУВАННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ  
ТА ШВИДКІСНИХ ФРЕЗЕРУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ****З УРАХУВАННЯМ НЕВРІВНОВАЖЕНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

У науковій роботі розглянуто процес балансування шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів з урахуванням неврівноваженості різального інструменту. Наведено схеми статичного балансування різального інструменту та атестації шліфувального круга за класом неврівноваженості. Розглянуто механізм створення бази даних за допомогою програмного забезпечення Microsoft Access, яке забезпечує інформаційну підтримку при зрівноважуванні шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів.

**Ключові слова:** шліфування; фрезерування; неврівноваженість; інструмент; база даних.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 7.

**Актуальність теми дослідження.** Відомо, що однією з причин, що вимагає проведення процесу балансування шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів, є вібрація, яка викликана неврівноваженістю технологічної системи. Однією з найбільш поширених реакцій на вібрації є зменшення швидкості обертання шпинделя, що знижує ефективність високошвидкісної механічної обробки. Цей факт є вирішальним для багатьох виробників верстатних комплексів, які рекомендують балансувати інструмент як до встановлення на шпиндель верстата, так і в процесі механічної обробки. На заготовці основний ефект виражається в зниженні якості обробки поверхні й точності заданих розмірів, що зменшує термін служби шпиндельного вузла, інструменту і, в кінцевому підсумку, усього металорізального верстата.

**Постановка проблеми.** Сучасні виробничі операції вимагають використання високошвидкісної обробки на швидкостях шпинделя понад  $10000 \text{ хв}^{-1}$ . Тому для зменшення рівня вібрацій і збільшення терміну експлуатації металорізального верстата необхідно передбачати балансування різального інструменту та його оправок. Для досягнення оптимального результату, балансування повинно бути виконано при кожній заміні інструменту, що потребує наявності науково обґрунтованих методик зрівноважування та відповідного технологічного устаткування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1; 2] на підставі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано можливість отримання поверхневого шару деталі при високошвидкісному шліфуванні та фрезеруванні із заданими величинами залишкових напружень, шорсткості, мікротвердості та структурно-фазового складу. Визначено область допустимих режимів високошвидкісного торцевого фрезерування і знайдено її оптимальні значення. Аналітично встановлено, що високошвидкісне фрезерування має значні технологічні можливості з погляду зменшення шорсткості поверхні при одночасному збільшенні продуктивності обробки. У роботі [3] розглянуто проблеми, які виникають у разі наявності дисбалансів при обробці високошвидкісним обертовим інструментом металевих та неметалевих деталей. Визначено, що проблема посилюється відсутністю загальноновизнаного погляду на нормативні вимоги, які треба застосовувати при визначенні залишкового дисбалансу для конкретної інструментальної системи, задіяної у технологічному процесі. У роботах [4; 5] проведені теоретичні дослідження та обчислювальні експерименти автоматичного балансування роторів, що працюють з ударними навантаженнями. Також розглянуто проблему повного балансування багаточашкового абразивного інструменту, розроблено графічну модель процесу балансування.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Висока швидкість обробки використовується в багатьох механообробних виробництвах. Однією з очевидних переваг цієї тенденції є досягнення більшої ефективності та продуктивності процесу різання

за рахунок більш високих швидкостей обертання шпинделя. Однак збільшення швидкості обертання шпинделів призводить до появи побічних ефектів у машині й заготовці через збільшення вібрації, оскільки відцентрові сили збільшуються і відбувається руйнування технологічної системи. При цьому основним фактором, який формує вібрації машини, є дисбаланс технологічної системи. Оскільки шпинделі високошвидкісних шліфувальних та фрезерувальних верстатів збалансовані відповідно до стандартів ISO, то основним джерелом дисбалансу є інструмент і оправки для його закріплення.

**Метою статті** є проведення досліджень процесів балансування шліфувальних та високошвидкісних фрезерувальних верстатів з урахуванням невірноваженості різального інструменту, а також формування інформаційної підтримки процесу проектування шпиндельного вузла з корегуючими масами за допомогою програмного забезпечення Microsoft Access.

**Виклад основного матеріалу.** На сьогодні дедалі більше виробників використовують високошвидкісну обробку у процесі технологічних операцій, що робить балансування інструменту та його оправок пріоритетним завданням. Головний ефект високошвидкісної обробки на шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатах полягає в скороченні машинного часу за рахунок інтенсифікації режимів різання, а також у підвищенні точності та якості процесу різання. Основою високопродуктивної високошвидкісної обробки може стати правильний вибір параметрів режимів різання (верстат, система ЧПУ, різальний інструмент, допоміжний інструмент із системою його закріплення, система програмування, кваліфікація оператора верстата та інші фактори), і нехтування хоча б одним із цих може призвести до технологічного браку виробу.

Сучасний шліфувальні та фрезерувальні верстати для високошвидкісної механічної обробки мають швидкість обертання шпинделя  $12\ 000\text{--}25\ 000\ \text{хв}^{-1}$ , а деякі фірми пропонують верстати зі швидкістю обертання до  $40\ 000\ \text{хв}^{-1}$ . При цьому швидкості подачі в цьому випадку становить  $40\text{--}60\ \text{м/хв}$ , а швидкість переміщень робочих органів до  $90\ \text{м/хв}$ , і в цьому випадку верстати відпрацьовують малі переміщення (від  $5$  до  $20\ \mu\text{м}$ ) і мають підвищену жорсткість і температурну компенсацію [1; 2]. Тому у зв'язку зі зниженням сил різання в процесі високошвидкісної обробки на шліфувальних та фрезерувальних верстатах на перший план виходять такі чинники, як величина биття різального інструменту та вібрації. Так, наприклад, подвоєння швидкості різання збільшує відцентрові сили внаслідок дисбалансу інструменту більшу ніж у  $4$  рази, і ці сили стають порівнянними із силами різання. Таким чином, високошвидкісна обробка вимагає особливої уваги до балансування, що у свою чергу потребує відповідної науково обґрунтованої методики зрівноважування роторних систем [1; 2].

Відомо, що дисбаланс, викликаний нерівномірним розподілом маси навколо осі обертання тіла, є результатом дій постійних і змінних факторів. Постійні причини дисбалансу є результатом несиметрії механізмів. На деяких типах інструментальних оправок це може бути викликано похибками шпонкового паза або затискними гвинтами. А змінні причини включають до себе неоднорідність матеріалу (порожнечі і пористість в основному матеріалі, виробничі фактори, виробничі допуски). Дисбаланс в інструментальних оправках викликає зміщення головної осі інерції (центру мас) від осі обертання, і в цьому випадку статичне балансування обертових інструментів рекомендується проводити при співвідношенні що дорівнює  $L/D \leq 0,2$ , де  $L$  і  $D$  – відповідно довжина і діаметр різального інструменту.

Простий пристрій для статичного балансування включає дві призми 1 (рис. 1, а) з вуглецевої інструментальної сталі [3; 4], а опорні кромки призм виставляють чітко горизонтально на однаковій висоті. На призми встановлюються оправки 2 з балансувальним інструментом 3. При грубому балансуванні в початковому стані оправку встановлюють на призми. Під дією статичного моменту оправка повертається по призмам, і центр ваги інструменту переміщається в нижню точку траєкторії руху, і буде знаходитися поблизу точки

рівноваги. Далі за допомогою рисок на торцевій поверхні інструменту визначають положення зміщеного центра ваги. Потім оправку з інструментом повертають у будь-яку сторону на 90°, та її відпускають, і вона повертається по призмах. На зупиненому інструменті наносять по радіусу мітку, що вказує положення зміщеного центра ваги. Для «легкої» сторони інструменту в зручному місці прикріплюють корегуючі маси (КМ) такої величини, при якій на оправку з інструментом перестає діяти статичний момент. Величина зрівноваженого вантажу підбирається дослідним шляхом при багаторазовому повторенні досліджень. Точне балансування здійснюється з метою усунення прихованої невірноваженості оправки, яка через наявність сил опору не створює статичного моменту. При цьому сили опору виникають у разі похибок призматичних опор, недостатньої твердості і якості обробки робочих поверхонь, наявності дефектів та похибок базування опорних поверхонь.

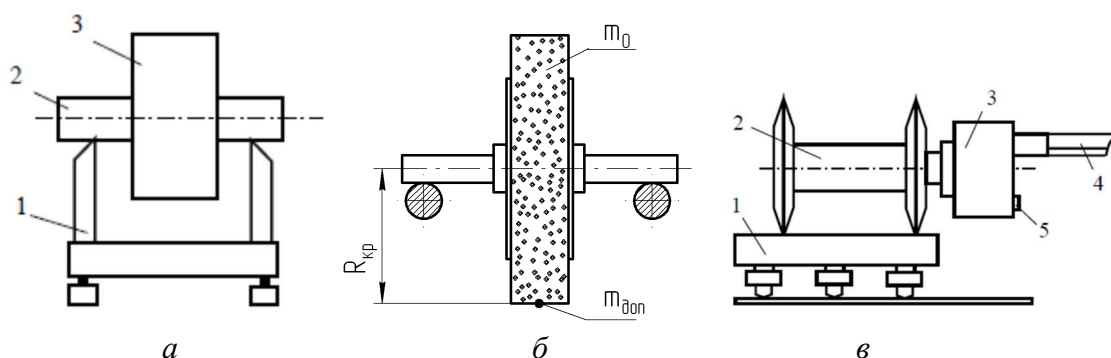


Рис. 1. Статичне балансування різального інструменту:  
 а – балансуєчий пристрій; б – атестація шліфувальних кругів за класом невірноваженості; в – балансування кінцевих фрез

Запропоновані методики можна також використовувати при врівноважуванні шліфувальних кругів металорізального верстата. При цьому для балансування шліфувальних кругів необхідно встановити ємність  $D_E$  КМ, вибір яких здійснюється на основі визначення очікуваних значень дисбалансів (невірноваженостей) шліфувальних кругів  $\vec{D}_{cm}$ . Тому при виборі  $D_E$  виконують спеціальні дослідження [6], де залежно від допустимих невірноважених мас  $m_{дон}$  встановлюється 4 класи невірноваженості шліфувальних кругів у стані поставки: 1, 2, 3 та 4. Дія [6] поширюється на шліфувальні круги на керамічних, бакелітових, вулканітових та спеціальних органічних зв'язках масою  $m_o$  від 0,2 до 300 кг та зовнішнім діаметром  $D = 100$  мм.

Стандарт не поширюється на круги для ручних машин. Методики врівноважування, регламентовані  $m_{дон}$  та допустимі похибки вимірів  $\sigma$  залежно від  $m_o$  більше 2 і до 100 кг, та класу невірноваженості, наведені в [6]. Оскільки до споживача надходять шліфувальні круги, які пройшли операцію перевірки невірноваженості, то в маркуванні круга вказано клас його невірноваженості, наприклад, 2 кл. Найбільш можливе значення дисбалансу круга у стані поставки визначається за такою формулою (рис. 1, б):

$$D_{сткр\max} = m_{дон} \cdot R_{кр}, \text{ [Г}\cdot\text{мм]}. \tag{1}$$

Відомості про масу  $m_o$ , необхідну для визначення  $m_{дон}$ , залежно від типорозміру круга та його характеристики, наведено в [6]. У разі потреби  $m_o$  можна також визначити за формулою:

$$m_o = \frac{\rho_{кр} \pi H (D^2 - d^2)}{4000}, \text{ [кг]} \tag{2}$$

де  $\rho_{кр}$  – середня щільність абразивного круга  $\rho = (2-3) \cdot 10^{-3}$  г/мм<sup>3</sup>;

$D, d, H$  – відповідно зовнішній, внутрішній діаметри та висота круга, мм.

При цьому ємність для статичного балансування  $D_E$  становить:

$$D_E = K_B D_{сткр\max}, \quad [Г \cdot мм], \quad (3)$$

де  $K_B$  – коефіцієнт, який враховує зростання дисбалансу при встановленні та експлуатації круга на верстаті [6], який для класів точності кола  $AA, A, B$  дорівнює 1,1; 1; 14; 1,2 відповідно.

Наприклад, для круга типу ПП 600×75×305 на керамічній зв'язці при класі точності круга  $AA$  для першого класу неврівноваженості  $m_o = 39$  кг;  $m_{дон} = 30$  г;  $R_{кр} = 300$  мм;  $K_B = 1,1$ . Величина  $D_E = 9900$  г·мм. На основі конструктивних даних, залежно від класу точності балансування, складено типові розміри шліфувальних кругів залежно від діаметра шпинделя (див. табл.). Там само наведено значення максимально можливого дисбалансу круга та ємності балансуєчих пристроїв  $D_E$ .

Таблиця. Визначення дисбалансу шліфувального круга

Потужність	Діаметр шпинделя	Типорозмір круга	$D_{сткр\max}$ , г мм			$D_E$ , г мм		
			2 кл	3 кл	4 кл	2 кл	3 кл	4 кл
кВт	мм	$D \times d \times H$ , мм	2 кл	3 кл	4 кл	2 кл	3 кл	4 кл
1,1	до 50	до 250×40×76	3135	4375	7500	3448	4812	8250
3	60	до 400×40×127	8000	13000	18000	8800	14300	19800
5,5	70	до 600×500×305	13500	22500	36000	14850	24750	33600
10	90	до 600×63×305	15000	24000	37500	16500	26400	41250
17	100	до 750×75×305	26250	41250	65625	28825	45375	72187
понад 17	понад 100	до 900×80×305	72000	45000	117000	792000	49500	128700

Балансування кінцевих фрез відбувається разом із патроном. Прилад для балансування кінцевих фрез включає плиту 1 (рис. 1, в) з регульованими опорами, втулку 2 з дисками, патрон 3 з фрезою 4 і балансувальними гвинтами 5. Для врівноваження патрон з фрезою кріплять у втулці. Втулку кладуть на стіл і злегка підштовхують її. Під час перекочування втулка зупиниться важкою частиною вниз. Закручуючи балансувальні гвинти з боку легкої частини, досягають врівноваження патрона з фрезою. Кінцеві фрези балансують при кожній установці їх у патрон або через кожні 5-6 переточувань фрези. Точність статичного балансування визначається залишковим моментом (залишковим дисбалансом), що дорівнює моменту тертя кочення:

$$M_{зал} = K \cdot m_g = D_{зал}, \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт тертя кочення;

$m_g$  – маса інструменту з оправкою;

$D_{зал}$  – залишковий дисбаланс.

Відомо, що основними споживачами оснащення для балансування є верстатобудівні заводи, які випускають круглошліфувальні, безцентрово-шліфувальні, плоско-шліфувальні, алмазно-розточувальні, прецизійні токарні та токарно-гвинторізні верстати. Однак галузь використання балансувальних систем може бути розширена за рахунок оснащення пристроями центрифуг, роторних змішувачів, сепараторів, дробильних машин, роторних автоматичних ліній та іншого технологічного обладнання. До основних параметрів зрівноважування шпиндельних вузлів відносяться: а) ємність, під якою розуміють максимальне (не залежить від напрямку) значення вектора дисбалансів коригувальних мас; б) остаточний дисбаланс, який обумовлено не чуттєвістю дії коригувальних мас; в) максимальною частотою обертання КМ у зрівноваженому стані.

Розглянемо механізм створення БД за допомогою програмного забезпечення Microsoft Access, яке буде забезпечувати інформаційну підтримку при зрівноважуванні шпинделів шліфувальних та швидкісних фрезерувальних верстатів. Послідовність створення бази даних така:



Була вивчена та систематизована гама токарних та шліфувальних верстатів вітчизняного та закордонного виробництва. На основі отриманих даних був прийнятий ряд діаметрів шпинделів та діапазон частот обертання, якій необхідний для подальшої розробки.

Відповідно до прийнятого ряду діаметрів шпинделів та мінімальних розмірів підшипників приймаємо кулькові підшипники легкої серії: 9000000 за ГОСТ 9942-80.

Обираємо параметри коригувальних мас, використовуючи програму «Баланс».

Відповідно до теоретичних та експериментальних досліджень розраховуємо розміри механізму фіксації коригувальних мас [7].

Проводиться розрахунок конструктивних параметрів вузла коригування для 19 типорозмірів коригувальних мас (залежно від конструктивних параметрів шпинделів та діаметрів  $d$  радіально-упорних підшипників).

Результати виконаних досліджень заносяться до відповідних вікон програми Microsoft Access (рис. 2, а, б).

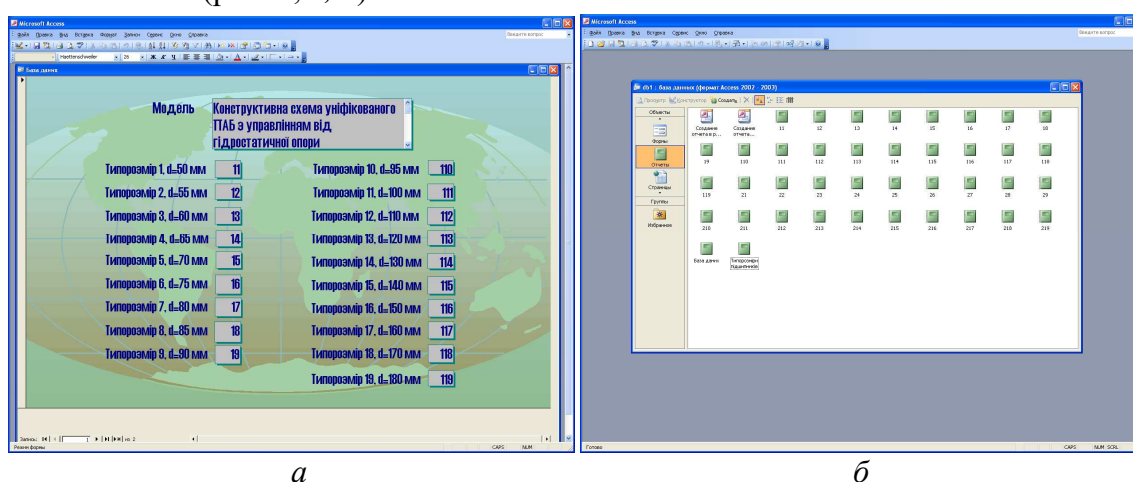


Рис. 2. Діалогове вікно бази даних:

а – ряд підшипників під коригувальні маси; б – ряд типорозмірів корегуючи мас

При цьому міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробила найчастіше використовувані керівні принципи для визначення допустимого дисбалансу. Нині для балансування використовуються два стандарти якості ISO. У стандарті якості ISO США, клас балансування G2.5 є найбільш поширеним. Однак останнім часом, німецька група промислових стандартів представила рекомендації, в яких рекомендується використовуватися ISO G6.3 [3]. У будь-якому випадку величину залишкового дисбалансу  $U$  можливо визначити за такою формулою:

$$U = \frac{9,5 \cdot W \cdot G}{n}, \text{ гр} \cdot \text{мм} \quad (5)$$

де  $W$  – вага інструменту (інструментальної головки), кг;

$G$  – клас точності балансування за ISO;

$n$  – робоча частота,  $\text{хв}^{-1}$ .

Нові вимоги до умов балансування системи «шпиндель верстата – затискний пристрій – інструмент» виникли через зростання швидкостей різання, що вимагають нові інструменти та матеріали [3]. Стандарт ISO 1940/1 призначений регламентувати якість балансування жорстких роторів є не зовсім придатним для інструментальних оправок, бо елементи системи мають зовсім інші базові характеристики, ніж стандарт DIN 69888. Тому проведений аналіз інформаційних джерел дозволяє надати певні рекомендації щодо точності і класу балансування [3]:

G16 – при обробці з великою кількістю стружки (наприклад, виготовлення з алюмінію суцільних авіаційних деталей великого розміру), обробка корпусних деталей із легких сплавів, чорнова обробка інструментів та штамів. Рекомендація є компромісною й дозволяє зберігати на постійному рівні динамічні навантаження на шпиндельні опори з обмеженням граничних значень припустимих коливань, а з врахуванням маси інструменту визначає припустимий залишковий ексцентриситет;

G6,3 – G8,0 – для частот обертання шпинделя 15000-24000 хв<sup>-1</sup>, і високих вимог до якості обробленої поверхні;

G2.5 та вище – для багатоцільових верстатів, які працюють у традиційному діапазоні швидкостей (за стандартом ISO 194-1: 2003);

G1 – G0.4 – для високошвидкісних верстатів.

При цьому як правило оправки різального інструменту збалансовані на заводі шляхом видалення матеріалу. Після того як різальний інструмент буде встановлений в оправку, зміниться величина дисбалансу, і залежно від швидкості та точності балансування, весь вузол у зборі направляється на повторне балансування.

**Висновки.** Проведені дослідження показали, що різними нормативними документами здійснено нормування величини залишкового дисбалансу. Це дає можливість теоретично оцінити значення неврівноваженості шліфувальних кругів і фрез у стані поставки та його зміну в процесі експлуатації. Однак при цьому в розрахунках при проведенні балансування шліфувальних та високошвидкісних фрезерувальних верстатів, як правило, роблять певні припущення, що ускладнює визначення остаточного дисбалансу і класу точності балансування. Експериментальні дослідження зміни залишкового дисбалансу малочисельні та носять специфічний характер. Також у роботі представлена інформаційна підтримка процесу проектування шпиндельного вузла з корегувальними масами. На підставі ряду діаметрів шпинделів і діаметрів радіально-упорних підшипників створена база даних для ряду типорозмірів корегуючих мас за допомогою програмного забезпечення Microsoft Access.

#### Список використаних джерел

1. Зінов'єв Г. С., Попов С. В., Неділько М. В. Оптимізація високошвидкісної обробки різанням загартованих сталей. *Збірник наукових праць ПолтНТУ (галузеве машинобудування, будівництво)*. 2012. Вип. 5 (35). С. 11-15.
2. Полянский В. И. Теоретическое определение шероховатости поверхности при высокоскоростном фрезеровании и шлифовании. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії*. 2018. № 30(1306). С. 58-62.
3. Верба І. І., Даниленко О. В. Балансування обертових інструментальних систем: багато питань і деякі відповіді. *Перспективні технології та прилади*. 2018. Вип. 12. С. 30-38.
4. Кравченко В. І. Автоматичне балансування роторів, робота яких супроводжується ударом. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2009. № 4(56). С. 26-29.
5. Озимок Ю. І., Рудницький Р. Б. Методика балансування багаточашкового абразивного інструменту. *Науковий вісник УДЛУ*. 2014. № 14.4. С. 104-108.
6. ГОСТ 3060-86. Круги шлифовальные. Допустимые неуравновешенные массы и методы их измерения. [Введен 1988-01-01]. Москва : Издательство стандартов, 1986. 10 с.
7. Струтинський В. Б., Сахно Є. Ю. Дослідження системи шпиндельного вузла з неврівноваженою заготовкою. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2006. № 1. С. 59-63.

#### References

1. Zinoviev, G. S., Popov, S. V., Nedilko, M. V. (2012). Optimizatsiia vysokoshvydkisnoi obrobky rizanniam zahartovanykh staley [Optimization of high-speed processing by cutting hardened steels]. *Zbirnyk naukovykh prats PoltNTU (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo) – Collection of scientific works of PoltNTU (branch mechanical engineering, construction)*, 5(35), pp. 11-15.

2. Polyansky, V. I. (2018). Teoretychskoe opredelenye sherokhovatosty poverkhnosty pry vysokoskorostnom frezerovanii y shlyfovaniy [Theoretical determination of surface roughness during high-speed milling and grinding]. *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Innovatsiini tekhnologii ta obladnannia obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhii- Bulletin of NTU «KhPI». Series: innovative technologies and equipment for material processing in Mechanical Engineering and Metallurgy*, 30(1306), pp. 58-62.

3. Verba, I. I., Danilenko, O.V. (2018). Balansuvannia obertovykh instrumentalnykh system: bahato pytan i deiaki vidpovidi [Balancing of rotating tool systems: many questions and some answers]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Advanced technologies and devices*, 12, pp. 30-38.

4. Kravchenko V. I. (2009) Avtomatychno balansuvannia rotoriv, robota yakykh suprovodzhuietsia udarom [Automatic balancing of rotors, the work of which is accompanied by a blow]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiiakh – Vibrations in engineering and technologies*, 4(56), pp. 26-29.

5. Ozimok, Yu. I., Rudnitsky, R. B. (2014). Metodyka balansuvannia bahatochashkovoho abrazyvnoho instrumentu [Method of balancing a multi-cup abrasive tool]. *Naukovyi visnyk UDLU – Scientific Bulletin of UDLU*, 14.4, pp. 104-108.

6. GOST 3060-86 (1986). GOST 3060-86. Krugi shlifovalnye. Dopustimy enuravnoveshennye massy i metody ikh izmereniia [GOST 3060-86. Grinding wheels. Unbalanced masses and methods of their measurement are permissible]. Publishing house of standards.

7. Strutinsky, V. B., Sakhno, E. Yu. (2006). Doslidzhennia systemy shpyndelnogo vuzla z nevrivnovazhenoiu zahotovkoiu [Investigation of the spindle assembly system with an unbalanced billet]. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka – Industrial hydraulics and pneumatics*, 1, pp. 59-63.

UDC 621.92

*Vitalii Kalchenko, Sergii Tsybulia, Evgeny Sakhno, Andrii Yeroshenko*

## **INVESTIGATION OF BALANCING PROCESSES OF GRINDING AND HIGH-SPEED MILLING MACHINES CONSIDERING UNBALANCE OF CUTTING TOOL**

*It is known that one of the reasons that causes the need for the process of balancing the spindles of grinding and high-speed milling machines is vibration, which is caused by the unbalance of the technological system. One of the most common reactions to vibrations is a decrease in the speed of rotation of the spindle, which reduces the efficiency of high-speed machining. This fact is crucial for many machine tool manufacturers, who recommend balancing the tool, both before installation on the machine spindle, and during machining. On the workpiece the main effect is expressed in decrease of surface quality and precision of required dimensions, which reduces the service life of the spindle unit, tool, and, in the end all cutting machine.*

*Modern manufacturing operations require the use of high-speed machining at spindle speeds of more than 10,000 revolutions per minute. Therefore, to reduce the level of vibrations and increase the service life of the metal-cutting machine, it is necessary to provide for balancing the cutting tool and its mandrels. To achieve optimal results, balancing should be performed at each tool change, which requires the availability of scientifically-based balancing techniques and appropriate technological equipment.*

*The work considered the latest publications on this topic, which are presented in the public domain, including the Internet. High processing speed is used in many machining industries. One of the obvious benefits of this trend is to achieve greater efficiency and productivity of the cutting process due to higher spindle speeds. However, increasing the speed of rotation of the spindles leads to side effects in the machine and the workpiece due to increased vibration, as the centrifugal forces increase, and the process system is destroyed. At the same time, the main factor that generates machine vibrations is the imbalance of the technological system, since the spindles of high-speed grinding and milling machines are balanced in accordance with ISO standards, the main source of imbalance is the tool and its mandrels.*

*The purpose of this scientific work is to conduct research on the balancing processes of high-speed grinding and milling machines, taking into account the unbalance of the cutting tool, as well as the formation of information support for the design process of a spindle assembly with corrective masses using Microsoft Access software.*

*Today, more and more manufacturers are using high-speed processing during technological operations, which makes balancing the tool and its mandrels a priority. The main effect of high-speed processing on grinding and high-speed milling machines is to reduce machine time due to the intensification of cutting modes, as well as to increase the accuracy and quality of the cutting process. The basis of high-performance high-speed processing can be the correct choice of parameters of cutting modes (machine, NPC system, cutting tool, auxiliary tool with its fixing system, programming system, qualification of the machine operator and other factors), and neglect of at least one of these factors can lead to a technological defect of the product.*

*The conducted studies have shown that various regulatory documents normalize the value of the residual imbalance, which makes it possible to theoretically assess the value of unbalance of grinding wheels and milling cutters in the state of delivery, and its change during operation. However, in the calculations for balancing grinding and high-speed milling machines, as a rule, a number of assumptions are made, which makes it difficult to determine the residual imbalance and the accuracy class*

of balancing. Experimental studies of changes in the residual imbalance are few and specific. The paper also provides information support for the design process of a spindle assembly with corrective masses. On the basis of a number of diameters of spindles and diameters of angular contact bearings, a database has been created for a number of standard sizes of correcting masses using Microsoft Access software.

**Keywords:** grinding; milling; unbalance; tool; database.

**Fig.:** 2. **Table:** 1. **References:** 7.

**Кальченко Віталій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kalchenko Vitalii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kalchenkovi@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9850-7875>

**ResearcherID:** G-9477-2014

**Цибуля Сергій Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту механічної інженерії, технологій та транспорту, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Tsybulia Sergii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Mechanical Engineering, Technology and Transport, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** stcibula@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7843-6061>

**Researcher ID:** H-1391-2016

**Сахно Євгеній Юрійович** – доктор технічних наук, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sakhno Evgeniy** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** evsakhno@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9789-7242>

**ResearcherID:** M-3987-2016

**Єрошенко Андрій Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Yeroshenko Andrii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Wood technology, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** yeroshenkoam@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1629-9516>

**Researcher ID:** G-6757-2014

**Scopus Author ID:** 57193700687

УДК 621.736.2

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-25-36

Олег Марков, Володимир Панов, Юлія Іванова,  
Антон Хващинський, Роман Житніков, Максим Косілов

## УДОСКОНАЛЕННЯ ОПЕРАЦІЇ КУВАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ПУСТОТЛИХ ПОКОВОК ЗІ СКЛАДНИМ ПРОФІЛЕМ

Аналіз наукових публікацій дозволив виявити, що проблема підвищення коефіцієнта використання матеріалу при виготовленні східчастих обичайок на сьогодні не вирішена повністю. Відомі технологічні процеси кування великих обичайок полягають у закриванні уступів технологічним напуском на механічну обробку. Це приводить до зайвих витрат матеріалу, а також розрізування внутрішньої волокнистої структури. Моделювання дозволило встановити, що кування східчастим бойком призводить утворення конусності на обичайках. Макроструктурне дослідження дозволило визначити, що процес кування таких поковок східчастим бойком призводить до утворення волокнистої будови, яка повторює контур східчастої деталі.

**Ключові слова:** кування кілець; операція розкочування; великі поковки; східчаста обичайка; бойок; східчастий інструмент; конусність.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 29.

**Актуальність теми дослідження.** Пріоритетним напрямом розвитку машинобудування є розробка енергозберігаючих технологічних процесів виготовлення виробів відповідального призначення для енергетичних установок. Це пов'язане з розробкою та впровадженням нових наукомістких технологій, які сприяють підвищенню якості продукції внаслідок використання нових способів деформування. На сьогодні на підприємствах енергетичного машинобудування не вистачає досліджень і науково обґрунтованих рішень із розробки сучасних технологічних процесів кування поковок, які призначені для виготовлення деталей відповідального призначення. Основним завданням розвитку машинобудування є розробка принципово нових ресурсозберігаючих технологій, які забезпечують підвищення продуктивності, економію матеріальних і енергетичних ресурсів. Вирішення цих завдань сприяє впровадженню в промисловість прогресивних технологічних процесів кування обичайок [1]. Критеріями оптимальності в цьому випадку служать висока якість і прийнятна собівартість деталей відповідального призначення. Розвиток наукових основ для підвищення якості й зниження витрат при виготовленні масивних поковок відповідального призначення, вимагає проведення спеціальних досліджень, спрямованих на розробку нових і вдосконалення наявних технологічних процесів кування й ковальського інструмента. Це вимагає застосування інтегрованого підходу, який враховує складний ланцюг усієї технологічної послідовності виготовлення обичайок від виробництва злитків, подальшого їх кування і механообробки.

**Постановка проблеми.** Актуальною науково-практичною проблемою в процесах кування масивних поковок є виготовлення заготовок зі східчастим профілем, який повторює геометрію деталі. Це дасть можливість не перерізувати внутрішню волокнисту будову заготовки й підвищити коефіцієнт використання металу. Для вирішення цієї проблеми необхідно провести дослідження нового способу розкочування східчастих поковок на основі моделювання на свинцевих і сталевих заготовках.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оптимізація технологічних процесів виготовлення масивних заготовок полягає у виключенні або в заміні неефективних, енергоємних операцій такими, які не приводять до збільшення витрат і водночас гарантують одержання заданої якості [2]. Однією з таких операцій є операція осадження. Виключити операцію осадження можна застосовуючи нові злитки [3; 4]. Як зазначено в роботі [5], з метою підвищення якості поковок відповідального призначення, для розробки нових перспективних енергоустановок підвищеної потужності була розроблена технологія виробництва великогабаритних обичайок. У роботі [6] проведено оцінювання технічних переваг виробництва великогабаритних поковок відповідального призначення. Однак у роботах [2–6] не розкриті технологічні режими й рекомендації для кування обичайок.

У роботі [7] з метою економії металу при виготовленні пустотілих деталей удосконалена технологія відливання пустотілих злитків. Проведене моделювання процесу заливання та кристалізації пустотілого злитка вказало на зниження сегрегації і меншу глибину усадочної раковини в порівнянні звичайними злитками. Однак у роботі [7] не досліджується ліквідація в отриманих злитках і відсутні дані щодо механічних властивостей отриманих обичайок.

Дослідження [8] дозволило розробити нову технологію лиття 200-тонного пустотілого злитка для виготовлення обичайок. Отримана поковка мала високі показники механічних властивостей. Однак у роботі [8] не зазначена послідовність технологічних операцій кування і яким чином це вплинуло на отримані механічні властивості поковки.

Використання пустотілого злитка як напівфабрикату для виробництва пустотілих поковок є не тільки економічно ефективним, але дає поліпшення якості поковок. Механічні властивості поковок стають більш однорідними в усіх напрямках, а розміри макроліквідацій значно нижче, ніж у випадку використання звичайного злитка [9]. Однак у роботі [9] не зазначені результати металографічних досліджень для отриманих поковок.

У роботі [10] зазначено, що під час виготовлення кільця за традиційною технологією кування зі звичайного злитка були розглянуті різні емпіричні співвідношення геометричних розмірів кілець. Ці рекомендації були запропоновані для належного контролю форми в процесі кування кілець на оправці. Для одержання тонкостінного кільця ці рекомендації підвищують коефіцієнт використання матеріалу в порівнянні зі способом традиційного розкочування кілець. У роботі не досліджений вплив способу деформування на показники якості, а також відсутня інформація про умови проведення експерименту й розміри отриманих поковок.

Для виготовлення корпусу реактора були отримані куванням дві обичайки. Одна із зовнішнім, а інша – із внутрішнім фланцем. Особливістю способу є те, що обичайки із фланцем кувалися із застосуванням східчастого верхнього бойка [11–13]. Однак у згаданих роботах [11–13] відсутні рекомендації щодо співвідношення розмірів заготовки, яка була використана для розкочування й параметри робочої поверхні інструмента.

Спосіб виготовлення великогабаритної поковки обичайки реакторного блоку [14] передбачав кування кільця та фланця з подальшим їхнім зварюванням. Це призвело до збільшення кількості зварних швів, які в умовах радіації приводять до передчасної їхньої корозії. Було б доцільно розглянути в роботі спосіб виготовлення суцільнокованої поковки із фланцем.

У роботах [15–17], досліджений процес формування конічної обичайки із циліндричними ділянками. Процес кування складається із традиційних операцій, але на останніх переходах, використовуючи спеціальне оснащення, кується циліндрична ділянка поковки. Однак у роботах [15–17] відсутні дані про режими кування заданої поковки.

Виготовлення поковок із буртом супроводжується дефектами на торці уступу або на внутрішній поверхні з боку виступу [18]. Раціональним способом вирішення цієї проблеми є моделювання процесу розкочування методом скінченних елементів (МСЕ). У роботі [19] МСЕ досліджуються фактори, які впливають на виникнення дефектів під час виготовлення пустотілих заготовок. Але в роботі не зазначено, як хімічний склад матеріалу впливає на якість виробів. Наявність дефектів у поверхневих шарах заготовки може служити причиною подальшого утвору тріщин під час кування.

Автори роботи [20] оптимізували процес кування масивних поковок на основі МСЕ, який полягає в дослідженні впливу форми інструмента на формозміну заготовки в процесі кування. Подібна концепція, ефективність якої продемонстрована лише на конкретному прикладі, не поєднує можливості віртуального аналізу, практичних спостережень і може застосовуватися тільки для оцінки конкретного процесу кування.

У роботах [21–24] досліджувалося закриття внутрішніх несучільностей при протягуванні й осадженні гарячих злитків. Установлені технологічні параметри – подача й обтискання при деформуванні. У роботі [25] за допомогою МСЕ виконано порівняння способів протягування плоским і комбінованими бойками. Встановлено, що у випадку використання комбінованих бойків деформації на 15 % більше зосереджують у центральній зоні поковки. Але в роботах [21–24] відсутні дані про розвиток внутрішніх дефектів при прошиванні й розкочуванні.

У дослідженні [26] перевірялася можливість розкочування великогабаритних обичайок. Були встановлені напруження, які виникають у деформуючому інструменті й поковці. У роботі [27] проведено комп'ютерне моделювання, тест на свинці в масштабі 1:30, тест на прототипі в масштабі 1:5 і тест на макеті в масштабі 1:1 для вдосконалення процесу кування обичайок. Але в зазначених роботах [26; 27] представлені результати кування поковок із простою геометрією, а кування складнопрофільних обичайок не розглядалося.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз наукових публікацій [14–27] дозволив виявити, що завдання підвищення коефіцієнта використання матеріалу при механічній обробці й поліпшення механічних характеристик матеріалу при виготовленні східчастих обичайок на сьогодні не вирішено повністю. На поверхні обичайок призначається значний технологічний напуск на механічну обробку. Це призводить до зайвих витрат матеріалу, а також розрізування внутрішньої волокнистої структури. Тому необхідно вдосконалювати спосіб кування масивних східчастих обичайок.

**Метою статті є** підвищення якості й коефіцієнта використання матеріалу за рахунок моделювання і удосконалення технологічного процесу кування обичайок із фланцем.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити методіку моделювання процесу розкочування обичайок із фланцем;
- провести експериментальне моделювання процесу розкочування обичайки із фланцем на свинцевих заготовках і за результатами моделювання встановити залежності зміни форми поковки від різних співвідношень геометричних розмірів заготовки й технологічних режимів кування;
- провести металографічні дослідження отриманих деталей новим способом на сталевих моделях для оцінки впливу нового способу деформування на якість поковок.

**Виклад основного матеріалу.** Матеріалом для моделювання розкочування в лабораторних умовах був обраний свинець [28], оскільки цей метал має низьку температуру рекристалізації ( $\approx 20$  °C). Моделювання на свинцевих заготовках не суперечить положенням теорії подібності [29]. Для зміни механічних характеристик модельного матеріалу у свинець додавалася сурма (до 5 %). Оснащення та схема кування для проведення експериментального моделювання представлена на рис. 1. У процесі кування варіювалася величина обтискання зразка. Для дослідження виготовлялися пустотілі моделі у масштабі 1:50. Отвір у заготовці мав конусність (1:100). Ця конусність виходить на попередній операції протягування на конічній оправці. Для спрощення розрахунків і позначень при дослідженні було ухвалене рішення ввести параметр середнього діаметра отвору ( $d_{cp}$ ). Розкочування проводилося на гідравлічному пресі зусиллям 0,1 МН, швидкість деформування 5 мм/с. Для макроструктурних досліджень було виконано розкочування моделей зі сталі.

Сталеві пустотілі заготовки перед деформацією нагрівалися в печі до температури 1050 °C з витримкою 25 хв. Одиначне обтискання за одне коло обертання (прохід по колу) заготовки становило 0,5 мм.

Розрахунки процесу розкочування поковок зі змінною по довжині товщиною стінки представляє складне дослідницьке завдання, що викликане впливом значної кількості факторів на цей процес. Тому для одержання інформації, яка описує зміну розмірів



заготовки в процесі деформування, було проведене планування експерименту. Як план був обраний повнофакторний план (ПФЕ) за типом  $3^2$ . У результаті планування були визначені: центр плану й рівні варіювання. Центр плану для відносного діаметра виступу становив 2,4, при рівні варіювання – 0,1. Для ступеня деформації центр плану становив 0,2, а крок 0,1. При цих параметрах є можливість максимально охопити розмірний діапазон заготовок, які можуть виготовлятися з уступами. Швидкість деформування і коефіцієнт тертя під час експерименту не мінялися. Отже, виділено два головних фактори, що чинять вплив на процес розкочування обичайок із фланцем – відносний діаметр виступу заготовки й ступінь деформації (див. табл.) і параметри їх варіювання.

Таблиця. Основні фактори й рівні їх варіювання для плану ПФЕ  $3^2$

Фактори й інтервали їх варіювання	$x_1$	$x_2$
	$D_в/d_{cp}$	$\varepsilon$
Інтервал варіювання $\Delta x_i$	0,1	0,1
Нижній рівень $x_i = -l$	2,5	0,1
Середній рівень $x_i = 0$	2,4	0,2
Верхній рівень $x_i = +l$	2,3	0,3

Для розмірів заготовок зі співвідношенням  $D_y/d_{cp}=1,85$  ( $D_y$  – зовнішній діаметр уступу) досліджувалися дві схеми кування. Перша – спочатку розкочуванням деформується фланець (рис. 1, а), друга – одночасно обтискається фланець і уступ (рис. 1, б). Після обтискання заготовок найменшу конусність отримано для обичайки, яка була продеформована з діаметром виступу  $D_в/d_{cp}$  рівним 2,5 ( $D_в$  – зовнішній діаметр виступу), а найбільшу з  $D_в/d_{cp} = 2,3$  (рис. 2).

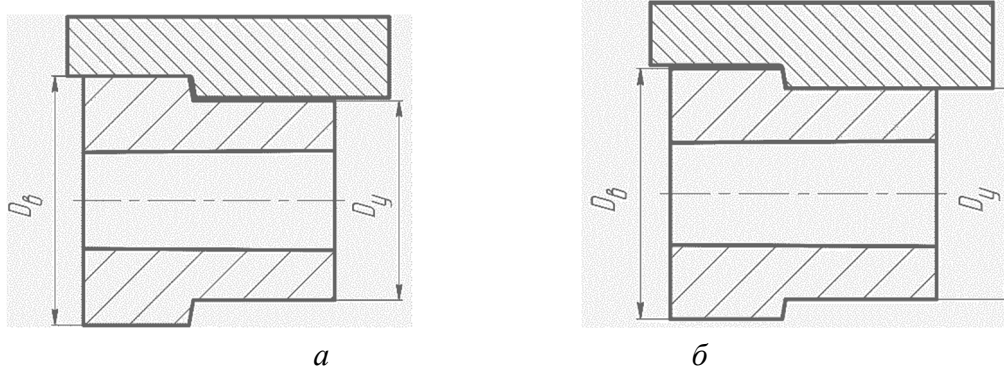


Рис. 1. Дві схеми кування обичайок із фланцем:

а – деформація починається з виступу;

б – деформація починається з виступу й уступу



Рис. 2. Обичайки після кування ( $D_y/d_{cp}=1,85$ ):

а –  $D_в/d_{cp} = 2,5$ ; б –  $D_в/d_{cp} = 2,4$ ; в –  $D_в/d_{cp} = 2,3$



Для східчастого зразка з  $D_b/d_{cp}$ , рівним 2,5 ступінь обтискання виступу більше, ніж уступу (рис. 3, а). Це пояснюється різницею між висотою сходу на заготовці й бойку. У результаті цього уступ на початковому етапі не обтискається. При подальшому обтисненні обтискається виступ і уступ.

Для східчастого зразка з  $D_b/d_{cp}$ , рівним 2,4 деформація фланця більше уступу в початковий момент кування (рис. 3, б). Різниця діаметрів у фланці й уступі зменшується, коли починається деформуватися уступ. Для східчастого зразка з  $D_b/d_{cp}=2,3$  (рис. 3, в) фланець і уступ куються одночасно. При цьому діаметр із боку уступу збільшується швидше, ніж виступу.

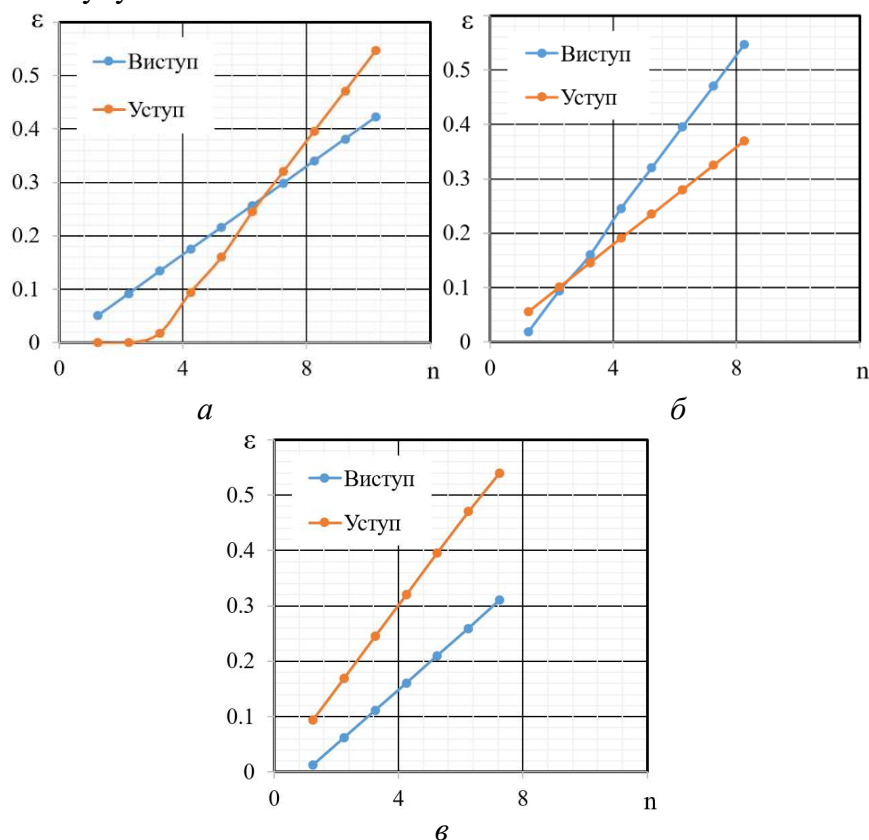


Рис. 3. Закономірності зміни ступеня обтискання фланця й уступу (ε) від числа проходів ( $D_y/d_{cp}=1,85$ ):  
 а –  $D_b/d_{cp}=2,5$ ; б –  $D_b/d_{cp}=2,4$ ; в –  $D_b/d_{cp}=2,3$

Для обичайки з  $D_b/d_{cp} = 2,3$  внутрішній діаметр  $d_{п.в}/L_{п}$  на початковому етапі кування збільшується інтенсивніше, ніж  $d_{п.в}/L_{п}$ , однак криві не перетинаються, що вказує на появу конусності. Інтенсивне зростання  $d_{п.в}/L_{п}$  у всіх випадках характеризується значним обтисканням уступу. Аналіз даних зміни величини конусності для поковок із  $D_y/d_{cp} = 1,85$  (рис. 4, а) дозволив виявити, що при збільшенні ступеня обтискання фланця конусність міняється по-різному. Для  $D_b/d_{cp} = 2,5$  конусність збільшується, що пояснюється деформацією фланця. Далі конусність не змінюється, що пояснюється рівномірним збільшенням внутрішнього діаметра уступу й фланця. Подальше зниження конусності пов'язане зі збільшенням внутрішнього діаметра уступу. Різниця між сумарними ступенями деформації уступу й фланця знижується, що зменшує конусність східчастої поковки.

При зростанні ступеня обтискання (ε) відношення внутрішніх діаметрів фланця й уступу зменшуються (рис. 4, б). Водночас збільшуються діаметри заготовок для випадків, коли  $D_b/d_{cp}$  стають рівними 2,5 і 2,4. Відношення діаметрів фланця і уступу для  $D_b/d_{cp} = 2,5$  наближається до одиниці і, як наслідок, зменшується конусність.

Крива 2 знижується нижче за одиницю, що вказує на зміну напрямку конусності в процесі деформації. Крива 3 не перевищує одиниці, що відповідає постійному утворенню конусності обичайки.

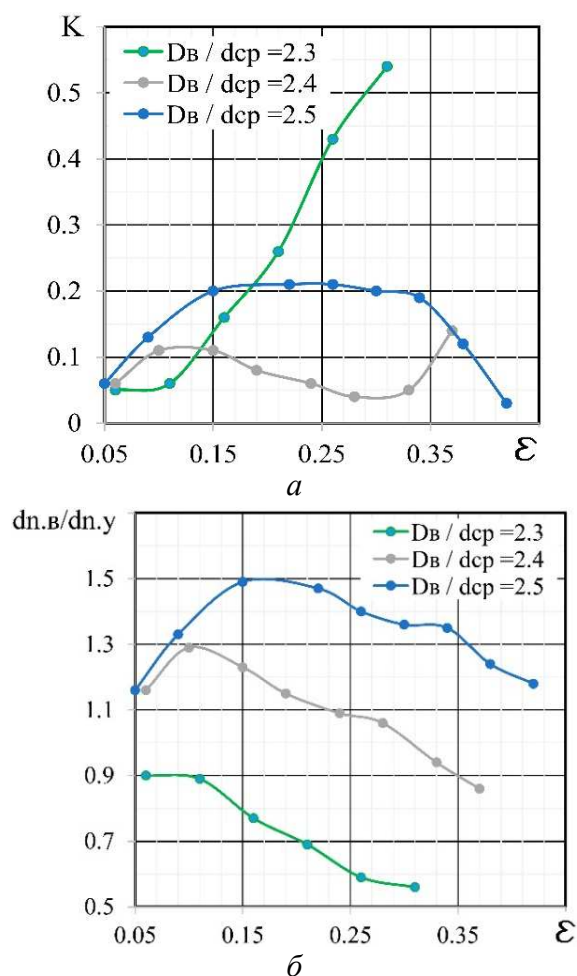


Рис. 4. Формозмінення поковки залежно від ступеня обтискання:  
а – зміна конусності; б – зміна внутрішніх діаметрів уступу й фланця

Первинну інформацію про зміну структури металу після деформування і виявлення переважного плинну металу можна одержати після аналізу макроструктури поковки. У цьому випадку необхідно встановити змінення структури металу в місці уступу. Макроструктурний аналіз обичайки (рис. 5), отриманої за новою схемою кування підтвердив, що виріб має спрямовану текстуру, волокна якої повторюють профіль отриманої обичайки.

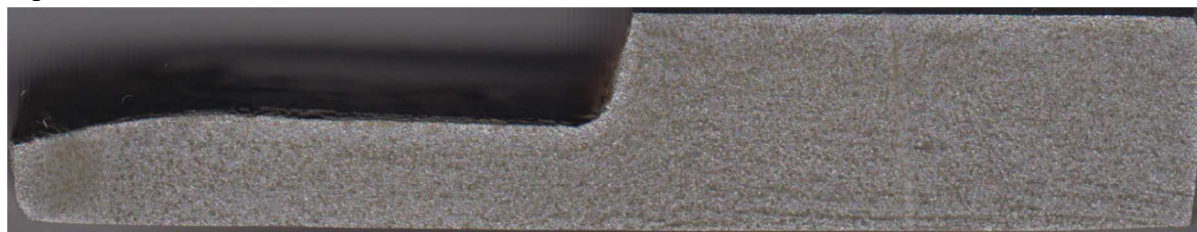


Рис. 5. Результати експерименту на сталевих моделях

Встановлено, що розроблений спосіб кування деформує метал в уступі інтенсивніше, ніж у виступі (рис. 5). Розташування волокна відповідає контурам обичайки. Це знизить кількість волокон, які будуть перерізуватися при механічній обробці.

На основі результатів моделювання на сталевих зразках і свинці були виявлені закономірності зміни форми обичайки при куванні профільованим бойком. У результаті були виявлені раціональні режими обтискання при куванні східчастих обичайок і визначені переваги запропонованого способу перед традиційним способом кування:

– застосування заготовки з уступом і профільованого бойка дало можливість одержувати обичайки із фланцем. У результаті стало можливим знизити величину технологічного напуску, що дозволило знизити витрати металу на 6...10 %;

– кування профільованим бойком дало можливість одержувати виріб, який повторює форму й розміри деталі, у результаті зменшується час механічної обробки уступу;

– цей процес може бути використаний також для виробництва східчастих обичайок конусної форми, як показано в роботі [29].

До недоліків розробленого технологічного процесу кування можна віднести:

– різне обтискання виступу й уступу східчастої обичайки може привести до незначної анізотропії механічних властивостей у цих зонах;

– процес утворення конусності обичайки ускладнює процес обертання східчастої обичайки на дорні.

Технічне застосування встановлених результатів – розробка нового технологічного процесу кування обичайок із фланцями.

У попередніх роботах [14-27] досліджувалися технологічні процеси кування конусних обичайок. Представлена робота розкриває особливості виготовлення куванням конічних і циліндричних обичайок із фланцями.

Слід зазначити, що в роботі не досліджувалися процеси одержання розкочуванням конусних обичайок, які мають розширення з боку виступу. У зв'язку із цим подальше моделювання процесів кування східчастих обичайок необхідно спрямувати на визначення закономірностей, які дозволять встановити вплив форми й розмірів східчастої заготовки та профілю деформуючого східчастого бойка. Це дозволить побільшати діаметр обичайки з боку виступу в процесі деформування.

**Висновки.** 1. Розроблена методика моделювання процесу розкочування обичайок із фланцем на свинцевих і сталевих зразках, яка дозволила встановити формозміну східчастої заготовки в процесі розкочування профільованим бойком. Її особливістю є можливість дослідження формозміни східчастих заготовок і оцінити базові показники якості одержуваних поковок за новою технологією. Розроблена методика дозволила провести дослідження процесу розкочування великогабаритних поковок на зменшених моделях, що знизило витрати на проведення експериментів.

2. Експериментальне моделювання на свинцевих і сталевих зразках дозволило встановити, що для східчастих зразків із фланцем з  $D_b/d_{cp} = 2,4...2,5$  при куванні конусність збільшується. При одночасному обтисненні фланця й уступу відбувається утворення конусності. Збільшення обтискання приводить до зміни напрямку конусності. Це виникає в результаті інтенсивної деформації в уступі, що приводить до збільшення діаметра. Було встановлено, що основним параметром заготовок для керування плином металу при розкочуванні є величина уступу. Відносна висота уступу в діапазоні 0,45 забезпечує одержання обичайки з мінімальною конусністю.

3. Аналіз макроструктури східчастої обичайки виявив, що кування заготовки зі змінною товщиною стінки профільним бойком забезпечує розташування волокна за формою виробу, що дозволить виключити перерізання волокна при механічній обробці і забезпечить підвищення втомної міцності деталі.

#### Список використаних джерел

1. Markov O., Gerasimenko O., Khvashchynskyi A., Zhytnikov R., Puzyr R. Modeling the technological process of pipe forging without a mandrel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 3/1(99), Pp. 42-48. URL: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.167077>.

2. Kukhar V., Balalayeva E., Hurkovska S., Sahirov Yu., Markov O., Prsyazhnyi A., Anishchenko O. The Selection of Options for Closed-Die Forging of Complex Parts Using Computer Simulation by the Criteria of Material Savings and Minimum Forging Force. *Intelligent Communication, Control and Devices, Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 989. Pp. 325–331. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8618-3\\_35](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8618-3_35).
3. Markov O. E., Gerasimenko O. V., Shapoval A. A., Abdulov O. R., Zhytnikov R. U. Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of high-quality forgings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 103, Pp. 3057–3065. doi: <http://doi.org/10.1007/s00170-019-03749-4>.
4. Markov O. E., Gerasimenko O. V., Kukhar V. V., Abdulov O. R., Ragulina, N. V. Computational and experimental modeling of new forging ingots with a directional solidification: the relative heights of 1.1. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2019. Vol. 41(8). P. 310. doi: <http://doi.org/10.1007/s40430-019-1810-z>.
5. Markov O., Gerasimenko O., Aliieva L., Shapoval A., Kosilov M. Development of a new process for expanding stepped tapered rings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2/1(98). Pp. 39-46. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160395>.
6. Markov O., Zlygoriev V., Gerasimenko O., Hrudkina N., Shevtsov S. Improving the quality of forgings based on upsetting the workpieces with concave facets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5/1(95). Pp.16-24. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142674>.
7. A study on the fabrication of a large hollow ingot by CAE /S. Oh, K. Lee, Chang-won [et al.]. *18th International forgemasters meeting*, 12-15 September 2011, Pittsburgh, 2011. Pp. 179–182.
8. Ohashi N., Enami T., Wanaka H., Aso K. Manufacturing process and properties of nuclear RPV shell ring forged from hollow ingot. *Nuclear engineering and design*. 1984. № 81. Pp. 193–205.
9. The development of hollow ingot casting technology at Vítkovice Heavy Machinery A. S. / P. Machovčák, A. Opler, Z. Carbol [et al.]. *Metal: 22nd International Conference on Metallurgy and Materials*, 15–17 May 2013, Brno, 2013.
10. Process optimization for high fracture toughness of maraging steel rings formed by mandrel forging / A. K. Jha, K. Sreekumar, T. Tharian [et al.]. *Journal of manufacturing processes*. 2010. № 12. Pp. 38–44.
11. Development of mono-bloc forging for CAP1400 Reactor pressure vessel / W. Bao-zhong, L. Kai-quan, L. Ying, Z. [et al.]. *19th International forgemasters meeting*, 29 September – 3 October 2014, Makuhari, 2014. Pp. 391–396.
12. Wang B. Development of mono-bloc nozzle shell for CAP1400 RPV. *Book of Abstracts: 20th International forgemasters meeting*, 11.09 – 14.09.2017, Graz, 2017. P. 52.
13. Tanaka Y. Reactor pressure vessel (RPV) components: processing and properties. *Irradiation Embrittlement of Reactor Pressure Vessels (RPVs) in Nuclear Power Plants*. Sawston: 1, 2015. (Woodhead Publishing). (Energy; 26). Pp. 26–43.
14. High intensity forging for nuclear applications: Manufacturing and properties of nozzle shell with integral flange for EPR reactor pressure vessel / T. Berger, E. Murai, I. Kurihara [et al.]. *Ironmaking & Steelmaking*. 2007. Volume 34, Issue 3. Pp. 205–210.
15. Research on key processing technology of nuclear power tapered cylinder forging / S. Nie, Z. Yu, D. Meng [et al.]. *Materials design, processing and applications*. 2013. Pp. 2387–2394.
16. Modeling flow stress constitutive behavior of SA508-3 steel for nuclear reactor pressure vessels / M. Sun, L. Hao, S. Li [et al.]. *Journal of nuclear materials*. 2011. Vol. 418, Issues 1–3. Pp. 269–280.
17. Suzuki K., Sato I., Kusuhashi M., Tsukada H. Current steel forgings and their properties for steam generator of nuclear power plant. *Nuclear engineering and design*. 2000. № 198. Pp. 15–23.
18. Cleaver C., Allwood J. Incremental profile ring rolling with axial and circumferential constraints. *CIRP Annals – Manufacturing technology*. 2017. № 66. Pp. 285–288.
19. Influence of mould design on the solidification of heavy forging ingots of low alloy steels by numerical simulation / A. Kermanpur, M. Eskandari, H. Purmohamad [et al.]. *Materials and design*. 2010. Vol. 31, Issue 3. Pp. 1096–1104.

20. Khoury I., Giraud-Moreau L., Lafon P., Labergère C. Towards an optimization of forging processes using geometric parameters. *Journal of materials processing technology*. 2006. № 177(1). Pp. 224–227.
21. Development of forging process design to close internal voids / H. Kakimoto, T. Arikawa, Y. Takahashi [et al.]. *Journal of materials processing technology*. 2010. Vol. 210, Issue 3. Pp. 415–422.
22. Suzuki K., Sato I., Tsukada H. Manufacturing and material properties of ultra large size forgings for advanced BWRPV. *Nuclear engineering and design*. 1994. Volume 151, Issues 2–3. Pp. 513–522.
23. Chen K., Yang Y., Shao G., Liu K. Strain function analysis method for void closure in the forging process of the large-sized steel ingot. *Computational materials science*. 2012. Vol. 51, Issue 1. Pp. 72–77.
24. Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging. *Journal of materials processing technology*. 2006. Vol. 177, Issues 1–3. Pp. 238–242.
25. Improvement in the reliability of shells for light water reactors by manufacture from hollow ingots / P. Bocquet, R. Blondcau, I. Poittrault [et al.]. *Nuclear engineering and design*. 1991. Vol. 130, Issue 3. Pp. 467–475.
26. Raz K., Vaclav K. Using of a hydraulic press in production and manufacturing of large rings. *Procedia engineering*. 2014. № 69. Pp. 1064–1069.
27. Manufacturing of ultra-large diameter 20 MnMoNi 55 steel forgings for reactor pressure vessels and their properties / S. Onodera, S. Kawaguchi, H. Tsukada [et al.]. *Nuclear engineering and design*. 1985. № 84. Pp. 261–272.
28. Markov O. E., Perig A. V., Zlygoriev V. N., Markova M. A., Kosilov M. S. Development of forging processes using intermediate workpiece profiling before drawing: research into strained state. *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng*. 2017. Vol. 39(4). Pp. 4649–4665. doi: <https://doi.org/10.1007/S40430-017-0812-Y>.
29. Markov O. E., Perig A. V., Zlygoriev V. N., Markova M. A., Grin A. G. A new process for forging shafts with convex dies. Research into the stressed state. *Int J Adv Manuf Technol*. 2017. Vol. 90. Pp. 801–818. doi: <http://doi.org/10.1007/s00170-016-9378-6>.

### References

1. Markov, O., Gerasimenko, O., Khvashchynskyi, A., Zhytnikov, R., Puzyr, R. (2019). Modeling the technological process of pipe forging without a mandrel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/1(99), pp. 42–48. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.167077>.
2. Kukhar, V., Balalayeva, E., Hurkovska, S., Sahirov, Yu., Markov, O., Prysiazhnyi, A., Anishchenko O. (2018). The Selection of Options for Closed-Die Forging of Complex Parts Using Computer Simulation by the Criteria of Material Savings and Minimum Forging Force. *Intelligent Communication, Control and Devices, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 989, pp. 325–331. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8618-3\\_35](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8618-3_35)
3. Markov, O. E., Gerasimenko, O. V., Shapoval, A. A., Abdulov, O. R., & Zhytnikov, R. U. (2019). Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of high-quality forgings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, pp. 3057–3065. doi: <http://doi.org/10.1007/s00170-019-03749-4>.
4. Markov, O. E., Gerasimenko, O. V., Kukhar, V. V., Abdulov, O. R., & Ragulina, N. V. (2019). Computational and experimental modeling of new forging ingots with a directional solidification: the relative heights of 1.1. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(8), p. 310. <http://doi.org/10.1007/s40430-019-1810-z>.
5. Markov, O., Gerasimenko, O., Aliieva, L., Shapoval, A., Kosilov, M. (2019). Development of a new process for expanding stepped tapered rings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/1(98), pp. 39–46. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160395>.
6. Markov, O., Zlygoriev, V., Gerasimenko, O., Hrudkina, N., Shevtsov, S. (2018). Improving the quality of forgings based on upsetting the workpieces with concave facets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/1(95), pp. 16–24. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142674>.
7. Oh, S., Lee, K., Chang-won [et al.] (12–15 September 2011). A study on the fabrication of a large hollow ingot by CAE. *18th International forgemasters meeting* (pp. 179–182).
8. Ohashi, N., Enami, T., Wanaka, H., Aso, K. (1984). Manufacturing process and properties of nuclear RPV shell ring forged from hollow ingot. *Nuclear engineering and design*, (81), pp. 193–205.

9. Machovčák, P., Opler, A., Carbol, Z. [et al.] (15–17 May 2013). The development of hollow ingot casting technology at Vítkovice Heavy Machinery A. S. *Metal: 22nd International Conference on Metallurgy and Materials*. Brno.
10. Jha, A. K., Sreekumar, K., Tharian, T. [et al.] (2010). Process optimization for high fracture toughness of maraging steel rings formed by mandrel forging. *Journal of manufacturing processes*, (12), pp. 38–44.
11. Wang Bao-zhong, Liu Kai-quan, Liu Ying, Zhang Wen-hui, Zhao De-li (2014). Development of mono-bloc forging for CAP1400 Reactor pressure vessel. *19th International forgemasters meeting* (pp. 391–396). Makuhari.
12. Wang B. (2017). Development of mono-bloc nozzle shell for CAP1400 RPV/B. Wang. *Book of Abstracts: 20th International forgemasters meeting* (p. 52). Graz.
13. Tanaka Y. (2015). Reactor pressure vessel (RPV) components: processing and properties. *Irradiation Embrittlement of Reactor Pressure Vessels (RPVs) in Nuclear Power Plants*. Sawston: 1, (Woodhead Publishing) (Energy; 26) (pp. 26–43).
14. Berger, T., Murai, E., Kurihara, I., Nakamura, T., Sasaki, T., Yoshida, T., & Koyama, Y. (2007). High intensity forging for nuclear applications: Manufacturing and properties of nozzle shell with integral flange for EPR reactor pressure vessel. *Ironmaking & Steelmaking*, 34(3), pp. 205–210.
15. Shao Min Nie, Zhao Qing Yu, Dong Ning Meng, Rong Sheng Qi, Xin Gang Liu, Miao Jin (2013). Research on key processing technology of nuclear power tapered cylinder forging. *Materials design, processing and applications* (pp. 2387–2394).
16. Mingyue Sun, Luhan Hao, Shijian Li, Dianzhong Li, Yiyi Li. (2011). Modeling flow stress constitutive behavior of SA508-3 steel for nuclear reactor pressure vessels. *Journal of nuclear materials*, 418(1–3), pp. 269–280.
17. Suzuki, K., Sato, I., Kusuhashi, M., Tsukada, H. (2000). Current steel forgings and their properties for steam generator of nuclear power plant. *Nuclear engineering and design*, (198), pp. 15–23.
18. Cleaver, C., Allwood, J. (2017). Incremental profile ring rolling with axial and circumferential constraints/C. Cleaver. *CIRP Annals – Manufacturing technology*, (66), pp. 285–288.
19. Kermanpur, A., Eskandari, M., Purmohamad, H., Soltanic, M. A., Shateri, R. (2010). Influence of mould design on the solidification of heavy forging ingots of low alloy steels by numerical simulation. *Materials and design*, 31(3), pp. 1096–1104.
20. Khoury, I., Giraud-Moreau, L., Lafon, P., Labergère, C. (2006). Towards an optimization of forging processes using geometric parameters. *Journal of materials processing technology*, 177(1), pp. 224–227.
21. Hideki Kakimoto, Takefumi Arikawa, Yoichi Takahashi, Tatsuya Tanaka, Yutaka Imaida. (2010). Development of forging process design to close internal voids. *Journal of materials processing technology*, 210(3), pp. 415–422.
22. Suzuki, K., Sato, I., Tsukada, H. (1994). Manufacturing and material properties of ultra large size forgings for advanced BWRPV. *Nuclear engineering and design*, 151(2–3), pp. 513–522.
23. Chen, K., Yang, Y., Shao, G., Liu, K. (2012). Strain function analysis method for void closure in the forging process of the large-sized steel ingot. *Computational materials science*, 51(151), pp. 72–77.
24. Banaszek, G., Stefanik, A. (2006). Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging. *Journal of materials processing technology*, 177(1–3), pp. 238–242.
25. Bocquet, P., Blondeau, R., Poitraul, I., Badeau, J.P., Dumont, R. (1991). Improvement in the reliability of shells for light water reactors by manufacture from hollow ingots. *Nuclear engineering and design*, 130(3), pp. 467–475.
26. Raz, K., Vaclav, K. (2014). Using of a hydraulic press in production and manufacturing of large rings. *Procedia engineering*, 69, pp. 1064–1069.
27. Onodera, S., Kawaguchi, S., Tsukada, H., Moritani, H., Suzuki, K., Sato, I. (1985). Manufacturing of ultra-large diameter 20 MnMoNi 55 steel forgings for reactor pressure vessels and their properties. *Nuclear engineering and design*, (84), pp. 261–272.
28. Markov, O. E., Perig, A. V., Zlygoriev, V. N., Markova, M. A., Kosilov, M. S. (2017). Development of forging processes using intermediate workpiece profiling before drawing: research into strained state. *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 39(4), pp. 4649–4665. <https://doi.org/10.1007/S40430-017-0812-Y>.

29. Markov, O. E., Perig, A. V., Zlygoriev, V. N., Markova, M. A., Grin, A. G. (2017). A new process for forging shafts with convex dies. Research into the stressed state. *Int J Adv Manuf Technol*, 90, pp. 801–818. <http://doi.org/10.1007/s00170-016-9378-6>.

UDC 621.321

*Oleg Markov, Volodymyr Panov, Yuliya Ivanova, Anton Khvashchynskiy,  
Roman Zhytnikov, Maksym Kosilov*

## IMPROVEMENT OF THE FORGING OPERATION OF LARGE-SIZED EMPTY FORGINGS WITH A COMPLEX PROFILE

*The priority direction in the development of mechanical engineering is the development of energy-saving technological processes for the manufacture of critical products for power plants. This is due to the development and implementation of new high-tech technologies that improve product quality due to the use of new methods of deformation. An actual scientific and practical problem in the forging processes of massive forgings is the production of blanks with a stepped profile that repeats the geometry of the part. This will make it possible not to cut the internal fibrous structure of the workpiece and increase the metal utilization rate.*

*The analysis of scientific publications has revealed that the problem of increasing the utilization rate of the material and improving the mechanical characteristics of the material in the manufacture of stepped shells has not been completely solved today. The well-known technical processes for forging large shells consist in closing the ledges with a technological overlap for machining. This leads to unnecessary waste of material, as well as cutting the inner fibrous structure. Therefore, this problem has not been resolved at this time.*

*The research objective is improving the quality and utilization of material by modeling and improving the technical process of forging shells with a flange.*

*Physical modeling on lead and steel samples made it possible to establish that forging with a step striker leads to the formation of taper on the shells. This is due to the fact that when forging the shoulder of the shell, the metal is deformed in the tangential direction due to the difference in wall thicknesses of the stepped hollow billet. An increase in the degree of reduction of the ledge leads to an increase in its diameter. Macrostructural studies of the cut stepped shell made it possible to determine that the process of forging such forgings with a stepped striker leads to the formation of a fibrous internal structure, which repeats the contour of the stepped part. This arrangement of the inner fiber excludes the possibility of cutting them during machining. According to the results of an experimental study on lead and steel models, it was found that forging of stepped shells becomes possible, that allows to expand the technical capabilities of the operation of rolling large-sized critical parts.*

*Analysis of the research results revealed that forging a workpiece with a variable wall thickness with a profile striker ensures the location of the fiber in the shape of the product, which will eliminate fiber cutting during machining and increase the fatigue strength of the part.*

**Keywords:** ring forging; rolling operation; large forgings; stepped shell; striker; stepped tool; taper.

**Fig.:** 5. **Table:** 1. **References:** 29.

**Марков Олег Євгенійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Markov Oleg** – Doctor in Technical science, Professor, Head of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** oleg.markov.ond@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9377-9866>

**SCOPUS Author ID:** 55648046800

**Панов Володимир Володимирович** – аспірант кафедри комп'ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Panov Volodymyr** – aspirant of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** v.panov@emss.dn.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2373-319X>

**Іванова Юлія Олегівна** – аспірант кафедри обробки металів тиском, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Ivanova Yuliya** – aspirant of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** yachmen.yuliya@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4145-9665>

**Хвацинський Антон Станіславович** – аспірант кафедри комп'ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Khvashchynskiy Anton** – aspirant of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** antonio.hvasherman@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2690-8354>

**Житніков Роман Юрійович** – аспірант кафедри комп’ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Zhytnikov Roman** – aspirant of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** romajitnikov2015@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0540-8465>

**Косілов Максим Сергійович** – аспірант кафедри комп’ютеризованого дизайну і моделювання процесів і машин, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна)

**Kosilov Maksym** – aspirant of Department of Computerized Design and Modeling of Processes and Machines, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** kosilovmaksims@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6412-3366>



УДК 621.865.8:658.56

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-37-44

Наталія Стельмах, Сергій Сапон, Олег Бельман

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬ СОРТУВАННЯ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ**

*Актуальним напрямом підвищення ефективності технологій сортування твердих побутових відходів є розробка автоматизованих систем оперативного розпізнавання типів матеріалів із подальшим їх відокремленням та утилізацією. У статті запропоновано метод сортування твердих побутових відходів на базі візуальної спектроскопії. Розроблено компоновку та функціональну схему системи контролю модуля сортування пластикових відходів. Використання запропонованих розробок дозволяє оптимізувати технологічний процес ідентифікації та відокремлення різних типів пластикових відходів.*

**Ключові слова:** автоматизація; утилізація; тверді побутові відходи; спектроскопія; модуль сортування пластмас.

*Рис.: 7. Табл.: 2. Бібл.: 7.*

**Актуальність теми дослідження.** Для України на сьогодні сортування відходів – справа проблемна, і має багато невирішених завдань від фінансових до відсутності ефективних технічних рішень. Люди не знають, як правильно розділяти сміття і для чого це робити. Тим часом правильна утилізація і сортування відходів здатні вирішити безліч екологічних і фінансових завдань. Країни Європи й Америки досить давно успішно практикують поділ сміття і як результат – відмінна екологічна ситуація, дешева вторинна сировина, збереження природних ресурсів.

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасних технологій сортування твердих побутових відходів набуває дедалі більшої актуальності, оскільки класичні методи утилізації вже не спроможні задовольнити потреби людства в цьому відношенні. Важливим аспектом є як сортування відходів з можливістю подальшого їх перероблення, так і сам процес утилізації без значної шкоди навколишньому середовищу.

Для забезпечення утилізації пластмасових одноразових предметів розроблено систему маркування, ідентифікаційних кодів. Більшість типів пластмас зазвичай добре піддається переробці й повторному використанню. Можливість повторного використання є найбільш корисною властивістю пластмас. Запропонований у роботі прототип модуля сортування пластикових відходів є спробою вирішити актуальну проблему сортування пластикових відходів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основними методами переробки твердих побутових відходів (ТПВ) на сьогодні є: збір і проміжне зберігання відходів, захоронення, спалювання, рециклінг (вторинне використання, утилізація) ТПВ.

Головною проблемою при вторинній переробці ТПВ є розділення відходів на фракції і на окремі компоненти [1]. У світі існує безліч різних технологій, що дозволяють розділяти вторинну сировину і відходи [2]. Найдорожчим і складним є отримання вторинної сировини на спеціальних підприємствах з уже сформованого загального потоку ТПВ. Однак існують і більш прості технології видалення тих чи інших компонент з потоку ТПВ, а саме, збагачення ТПВ з метою усунення небажаних елементів перед спалюванням і підвищення його енергетичної цінності [3]. На Заході встановлені закони, які зобов'язують споживачів здійснювати збір і сортування окремих видів відходів. Наприклад, у Франції повністю заборонено приймати несортовані ТПВ з метою їх подальшої переробки та захоронення [4]. У Нідерландах встановлено заборону на захоронення ТПВ органічних складових ТПВ з метою підвищення ефективності їх роздільного збору з подальшим компостуванням. У деяких країнах встановлені спеціальні показники, що характеризують рециклінг окремих компонентів ТПВ [3; 4].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На основі здійсненого аналізу досліджень та публікацій можна зробити висновок, що важливим елементом технологічного процесу сортування ТПВ є їх достовірна та швидка ідентифікація відповідно до типу пластику. Отже, постає задача виявлення можливості оперативного і водночас точного технологічного процесу сортування.

**Метою статті** є удосконалення методу сортування твердих побутових відходів на базі візуальної спектрометрії з розробкою компоновки та функціональної схеми системи контролю модуля сортування пластикових відходів.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо основні властивості спектроскопії в інфрачервоній (ІЧ) області спектра.

*Спектроскопія в середній ІЧ-області спектра (ССІЧ) (MIR, Mid-Infrared Reflectance)*, яка покриває діапазон частот з довжиною хвилі від  $4000$  до  $700\text{см}^{-5}$ , є добре розробленим і надійним методом ідентифікації пластмас. Середні інфрачервоні області для більшості звичайних полімерів відрізняються і безпосередньо відповідають спеціальним хімічним зв'язкам у полімері. Сучасні інфрачервоні спектрометри, засновані на переходах Фур'є, легкодоступні і прості в роботі. ССІЧ, однак, краще підходить для ідентифікації промислових відходів пластмас, а не для використаних пластикових пляшок. У цьому сенсі вона, швидше, доповнює, ніж конкурує зі спектроскопією в ближній ІЧ-області спектра (СБІЧ, обговорюється нижче), оскільки методи ідентифікації, засновані на СБІЧ, краще підходять для аналізу пластмасових пляшок [5].

Використовуючи засновані на ССІЧ технології для ідентифікації пластмас, що застосовуються в автомобільній промисловості, можна виконати ідентифікацію менш ніж за 10 с [1]. Технологія надійно працює, особливо для наповнених технічним вуглецем полімерів, які зазвичай використовуються для автомобільних компонентів (наприклад, бампери, решітки радіаторів, приладові панелі і т. д.). Однак для забарвлених полімерних деталей, технологія відображення СБІЧ, скоріше, дає спектр фарби, ніж полімерного субстрату. Переваги та недоліки систем сортування, заснованих на СБІЧ, узагальнені в таблиці 1.

*Таблиця 1. Переваги і незручності систем сортування, заснованих на СБІЧ*

<b>Переваги:</b>	<b>Недоліки:</b>
випробувана і надійна технологія	оскільки більшість систем сортування, заснованих на СБІЧ, використовують техніку відбиття, глибина проникнення променів незначна, тому шари фарби й бруд на поверхні можуть перешкодити вимірам
піки абсорбції обумовлені основними коливаннями і добре реєструються	для належної ідентифікації шорсткість поверхні пластмасових деталей повинна бути мінімальною
можуть бути легко проаналізовані пластмаси темного кольору	через значне загасання сигналу для під'єднання спектрометра не може застосовуватися звичайна скловолоконна оптика [2]

**Спектроскопія поглинання або відбиття в ближній області ІЧ-спектра (СБІЧ) (NIR, Near Infrared Reflectance)** – дуже швидкий метод, добре підходить для аналізу прозорих або кольорових полімерів. СБІЧ-спектри звичайних полімерів, що знаходяться в потоці використаних побутових і промислових відходів, досить помітні (рис. 1). За цієї причини вона є ідеальною для ідентифікації та сортування пластмасової тари. У СБІЧ безліч переваг в сортуванні відходів пластмас. Вона робить можливою швидку надійну ідентифікацію (впродовж мілісекунд) і досить надійна для роботи в промислових умовах, в забруднені і при вібрації, в типових умовах сортування [5]. Однак СБІЧ погано підходить для аналізу чорних пластмас, таких як автомобільні компоненти (рис. 2). Тому для чорного матеріалу не отримано жодної спектральної структури.

Абсорбція світла в ближньому ІЧ-спектрі ( $14\ 300\text{--}4000\ \text{см}^{-5}$ ) відбувається завдяки обертонам або складовим коливань молекули полімеру. Спектральна поглинальна здатність зазвичай має величини на порядок нижче в порівнянні з основними коливальними переходами в середніх інфрачервоних променях. Знижена спектральна поглинальна здатність у СБІЧ може стати перевагою, оскільки дозволяє зареєструвати спектр великих, довгих зразків, таких як пластмасові пляшки. Зв'язки С-Н, О-Н, N-H і С-О, виявлені в БІВ, можуть бути майже однозначно приписані конкретним полімерам, таким чином здійснюючи ідентифікацію більшості зазвичай використовуваних пластмас. Наприклад, СБІЧ -спектр ПЕВП показує пік близько  $1200\ \text{нм}$ , який відсутній у поліетилені (ПЕТ) і тільки в малих величинах присутній у ПВХ. З іншого боку, ПЕТ показує три характерні піки в діапазоні  $2100\text{--}2200\ \text{нм}$ .

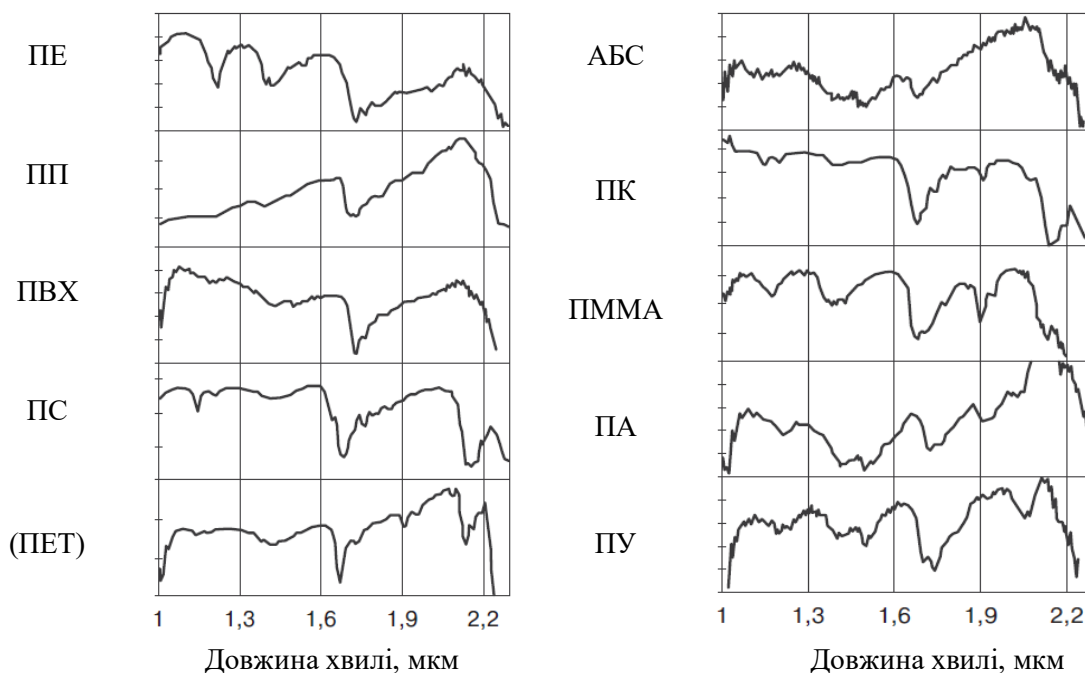


Рис. 1. СБІЧ-спектри звичайних полімерів:

PE – поліетилен; ПП – поліпропілен; АБС – акрилонітрил бутадієн стиролу;  
 ПК – поліакрил; ПММА – поліметилметакрилат; ПА – поліамід; ПУ – поліуретан;  
 ПС – полістирол; ПВХ – полівініл-хлорид; ПЕТ – поліетилентерефталат

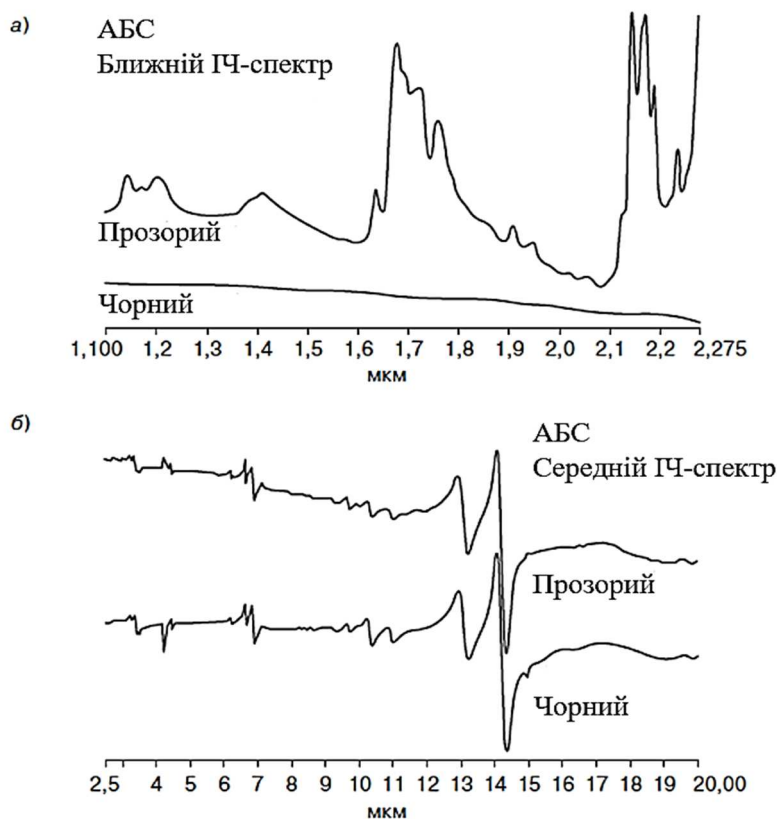


Рис. 2. Відбиті БІВ-спектри(а) світла АБС пластику різного кольору;  
 відбиті СІВ-спектри (б) світла АБС пластику

Інша перевага СБІЧ по порівнянні з ССІЧ полягає в тому, що у фотодетекторів БІВ (а саме, германію, арсеніду індію, або арсеніду індію-галію) короткий час відгуку і висока чутливість детектора. Крім того, для зручного і дистанційного розпізнавання може бути використана дешева оптика на основі кварцових волокон з низьким загасанням [6]. БІВ-спектрометри зазвичай не мають рухомих частин і тому на них не впливають вібрація або пил чи бруд, звичайні для регенерації пластмас. Більш того, інструменти БІВ вимагають мінімального обслуговування і забезпечують прекрасну відтворюваність при незначному зрушенні інструменту. На противагу цьому у СІВ-спектрометри є дзеркала й оптика, які можуть бути забруднені пилом чи брудом. Переваги та недоліки систем сортування, заснованих на БІВ, узагальнені в табл. 2.

Таблиця 2. Переваги та недоліки систем сортування, заснованих на БІВ

Переваги:	Недоліки:
можна використовувати звичайну волоконну оптику, що дозволяє дистанційно обстежити зразок	природа піків не завжди зрозуміла, оскільки вони обумовлені обертонами, а не є основними піками
доступні переносні і міцні апарати	технічний вуглець сильно абсорбує і накладає свої частоти на БІВ, ускладнюючи випробування темних пластмас
БІВ проникає в полімер глибше, ніж СІВ	
вимірювання можуть виконуватися у відбитому світлі без контакту зі зразком	
інструменти не мають рухомих частин і можуть працювати в умовах вібрації	

Промислова БІВ-система, відома як *SIROCUBE* (рис. 3), дозволяє швидко ідентифікувати вторинні пластмаси. Ця система надзвичайно швидка (0,3 мс на сканування) і може навіть розрізнити зелені і безбарвні шматочки ПЕТ. Інструмент *SIROCUBE* виробляє безконтактне вимірювання в спектральному діапазоні 1650-1830 нм. Пластмасові предмети (наприклад, пляшки) висвітлюють з допомогою галогенового джерела світла, і відображене світло збирається за допомогою оптико-волоконного датчика. Найменший об'єкт, виявляється з допомогою *SIROCUBE*, розміром 4×4 см. На жаль, подібно іншим системам ідентифікації, заснованим на БІВ, вона не може аналізувати чорні або дуже темні об'єкти (оскільки вони можуть поглинути все світло). Крім того, ці об'єкти повинні бути індивідуально піднесені під сканер. *SIROCUBE* використовує германієвий детектор і випускається з оптико-волоконними датчиками.



Рис. 3. Стаціонарний безконтактний спектрометр *SIROCUBE*

У результаті виконаного вище аналізу було розроблено функціональну схему (рис. 4) модуля сортування пластикових відходів [4]. Вона включає в себе мікроконтролер та датчики, які контролюють основні параметри роботи під час процесу сортування відходів. Датчик тиску, який встановлено в компресорі, автоматично надсилає значення в мікроконтролер, яке відображається на екрані контрольної панелі. Соленоїдні клапани, як основний інструмент сортування, теж з'єднані з мікроконтролером, який, у свою чергу, керує їхньою роботою. А також контролю піддається двигун конвеєра, призначений для зміни швидкості руху конвеєрної стрічки. Головним блоком модуля сортування пластикових відходів є спектрометр [5; 6].

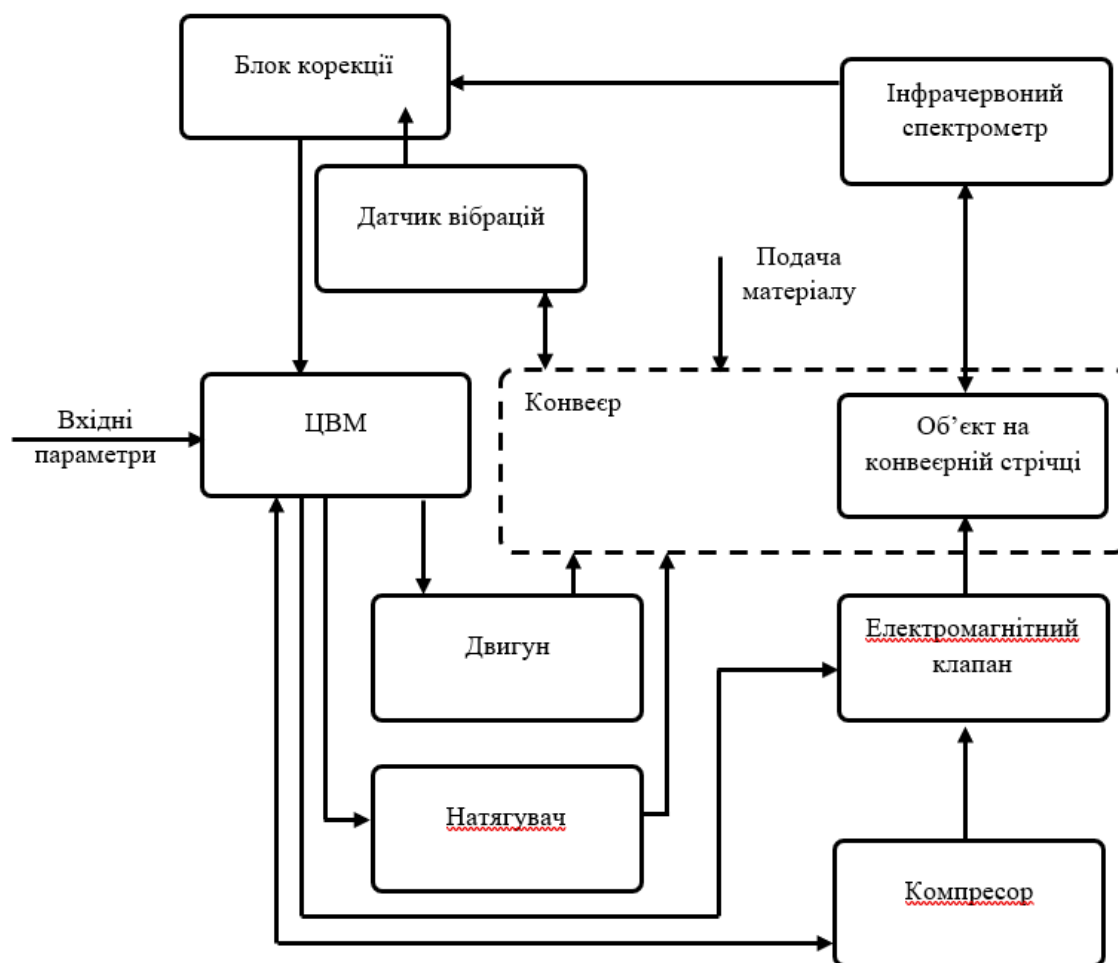


Рис. 4. Функціональна схема роботи модуля сортування пластмас

На основі функціональної схеми розроблено компоновку та загальний вигляд модуля сортування пластмас (рис. 5) [7].

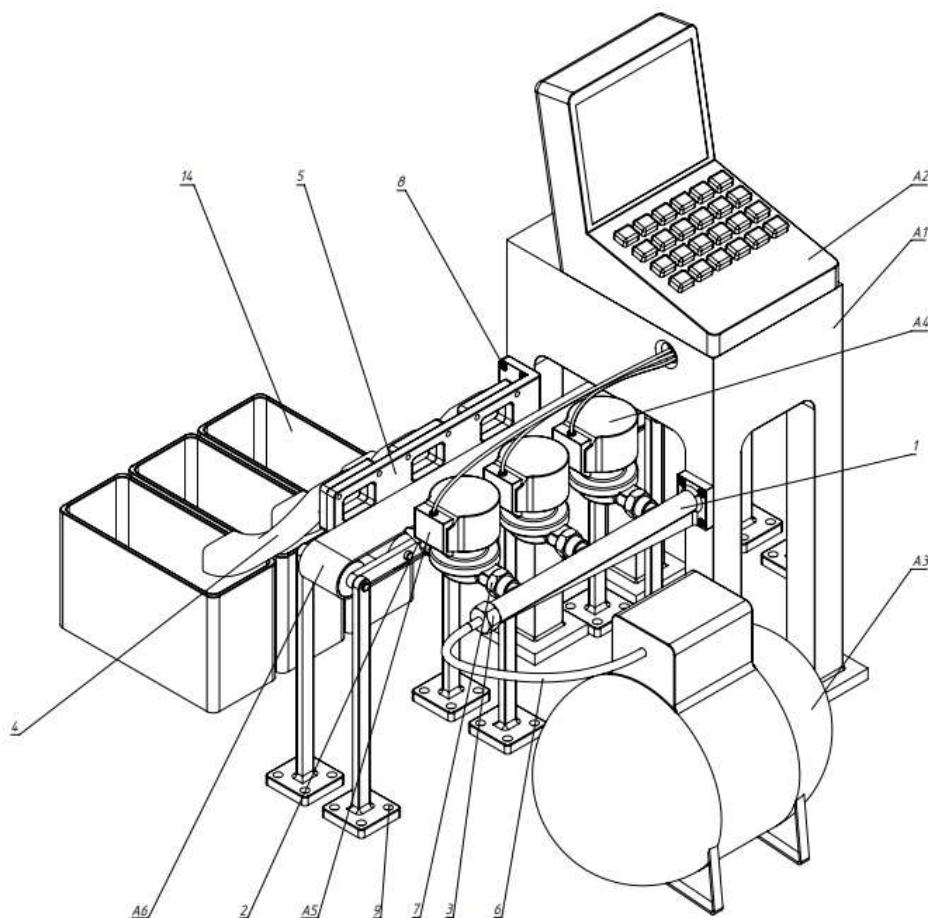


Рис. 5. Модуль сортування пластикових відходів:

A1 – блок спектрометр; A2 – контрольна панель; A3- компресор (рис. 6);  
A4 – соленоїдний клапан (рис. 7); A5 – комутатор; A6 – конвеєр; 1 – розподільча труба,  
2 – сопло; 3 – перехідник; 4 – направляюча труба; 5 – кронштейн; 6 – шланг високого тиску; 7 – швидкознімач; 8 – гвинт М6; 9 – гвинт М8; 14- контейнер

Компресор поз. А3 призначений для нагнітання тиску в певний об'єм. Він є одним із найважливіших пристроїв для повітряної сепарації відходів. При виборі комплектації компресора важливими були такі вимоги:

- живлення робочої частини компресора від електричної мережі;
- здатність підтримувати стабільний тиск 4 бар;
- компактні розміри.

Вказаним вимогам цілком задовольняє компресор Дніпро-М (рис. 6) українського виробництва.

Клапан А4 (рис. 7) є відповідальною частиною функціональної схеми роботи модуля сортування пластмас, яка забезпечує герметичність та регулювання подачі повітря. У зробленій функціональній схемі керування роботою клапаном здійснюється за допомогою мікроконтролера, тому було обрано модель соленоїдного клапана італійської фірми СЕМЕ. Принцип його роботи полягає в наступному: при подачі струму на котушку, штифт відкриває потік повітря, вимкнувши струм, мембрана повертає штифт у початкове положення, тим самим закриваючи прохід. Використавши котушку, як інструмент впливу на потік повітря, можна досягти досить високої швидкості відкриття та закриття клапана. Оскільки швидкість руху конвеєра поз. А6 досить висока, тому швидкодія та надійність роботи кожного елемента модуля сортування пластмас є досить важливою.





Рис. 6. Компресор Дніпро-М



Рис. 7. Соленоїдний клапан

Конструкція конвеєра А6 також відіграє важливе значення для функціонування модуля сортування пластмас. Від швидкості конвеєрної стрічки залежить час проходження частинками пластмас відстаней від точки сканування до передбачених місць “сходження”. Тому потрібно мати можливість регулювання частоти обертів двигуна конвеєру. Впливаючи на параметр швидкості, можна напряму змінити продуктивність усього модуля сортування.

**Висновки.** Пластмаси як матеріал стали невід’ємною частиною нашого світу насамперед завдяки своїм властивостям: легкість, стійкість до будь-яких погодних умов, універсальність, не окислюється на повітрі, простота виробництва деталей тощо, а також найголовніша властивість – придатність до повторного використання. Тому всі переваги цього матеріалу зникають, якщо не займатися його сортуванням та вторинною переробкою. Сучасні прилади, такі як, наприклад, спектрометр, принцип дії яких базується на властивостях відбитого спектра від досліджуваної поверхні, дозволяють розробляти компактні, але потужні автоматизовані лінії сортування пластиків за їх різновидами. Це дозволяє зробити пластик з проблеми сучасності, на основну перевагу в майбутньому. Тому запропоновані в роботі функціональна схема роботи модуля сортування пластмас, а також його конструкція в подальшому потребують доскональної конструкторської розробки. А це неминуче пов’язано з цілою низкою подальших наукових досліджень та дослідно-конструкторських розробок.

#### Список використаних джерел

1. Graham, J., Hendra, P.J., and Mucci, P. (1995). *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 24, pp. 55–67.
2. John Scheirs. (1998). *Polymer Recycling: Science, Technology and Applications*.
3. Yang, Y., Boom, R., Irion, B., van Heerden, D.-J., Kuiper, P., de Wit, H. (2012). Recycling of composite materials. *Chem. Eng. Process. Process Intensif*, 51, pp. 53–68.
4. Eisenreich, N., Rohe, Th. (1996) Identifying plastics, analytical methods facilitate grading used plastics. *Kunststoffe plast Europe*, 86(2), pp. 31–32.
5. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov. (1 October 2018). Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering. *Proc. SPIE 10808*, 1080828.
6. Alamgir, M., and Ahsan A., (2007). Municipal Solid Waste and Recovery Potential: Bangladesh Perspective. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 4(2), pp. 67–76.
7. Belman O. I., Stelmakh N. V. Automated waste sorting system based on visual spectrometry. *Новые направления развития приборостроения: материалы 13-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов*. Минск : БНТУ, 2020. С. 4.

## References

1. Graham, J., Hendra, P.J., and Mucci, P. (1995). *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 24, pp. 55–67.
2. John Scheirs. (1998). *Polymer Recycling: Science, Technology and Applications*.
3. Yang, Y., Boom, R., Irion, B., van Heerden, D.-J., Kuiper, P., de Wit, H. (2012). Recycling of composite materials. *Chem. Eng. Process. Process Intensif*, 51, pp. 53–68.
4. Eisenreich, N., Rohe, Th. (1996) Identifying plastics, analytical methods facilitate grading used plastics. *Kunststoffe plast Europe*, 86(2), pp. 31–32.
5. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov. (1 October 2018). Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering. *Proc. SPIE 10808*, 1080828.
6. Alamgir. M., and Ahsan A., (2007). Municipal Solid Waste and Recovery Potential: Bangladesh Perspective. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 4(2), pp. 67–76.
7. Belman, O. I., Stelmakh, N. V. (2020). Automated waste sorting system based on visual spectrometry. *New directions for the development of instrumentation. Materials of the 13th International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students* (p. 4). BNTU.

UDC 621.865.8:658.56

Nataliia Stelmakh, Serhii Sapon, Oleg Belman

## AUTOMATED PLASTIC WASTE SORTING MODULE

*Sorting of solid waste is now of paramount importance. Therefore, it is advisable today to spend more time developing new modern, efficient, environmentally friendly waste sorting systems in an automated mode.*

*The development of modern technologies for sorting solid waste is becoming increasingly important, as classical methods of disposal are no longer able to meet the needs of mankind in this regard. An important aspect is both the sorting of waste with the possibility of further processing and the disposal process itself without significant harm to the environment.*

*Currently, there is a significant number of methods and organizational procedures for sorting solid waste, each of which has its advantages and disadvantages.*

*An important element of solid waste sorting technologies should be the ability to quickly identify types of materials with their subsequent separation and disposal, which will significantly increase the productivity of this process.*

*The purpose of the article is to improve the method of sorting solid waste on the basis of visual spectrometry.*

*On the example of a specific type of solid waste, namely plastic, the capabilities of the proposed module for sorting plastics based on visual spectrometry are demonstrated. The paper also considers the main properties of spectroscopy in the field of infrared spectrum in order to develop a technology for identifying different types of plastics during their sorting for further processing or disposal.*

*The method of solid waste sorting on the basis of visual spectrometry was proposed in the work, which allowed to obtain the optimal technological process of identification and separation of different types of plastics. The prototype of the module for sorting of plastics is developed, the basic principles of its functioning are considered.*

**Keywords:** automation, utilization, solid household waste, spectrometry, plastic sorting module.

*Fig.: 7. Table: 2. References: 7.*

**Стельмах Наталія Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва приладів Національний Технічний Університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Stelmakh Nataliia** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Instrument Production Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** n.stelmakh@kpi.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1876-2794>

**Сапон Сергій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна)

**Sapon Serhii** – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of machine building technology and wood processing department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** s.sapon@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>

**Researcher ID:** G-7764-2014

**SCOPUS Author ID:** 56736964700

**Бельман Олег Ігорович** – магістр зі спеціальності автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології, Національний Технічний Університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Belman Oleg** – master in Automation and Computer-Integrated Technologies, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** o\_belman@ukr.net



УДК 621.9.025.6:004.89

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-45-52

Ліна Богданова, Валерій Аносов

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НИШ КОНСТРУКЦІЙ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖІ КОХОНЕНА

*Грунтуючись на властивості карт Кохонена трансформувати багатовимірний простір у простір із нижчою розмірністю, у роботі вперше запропоновано загальний підхід до вирішення задачі формування технологічних ніш для визначення зон найбільш ефективного використання відповідних типів конструкцій фрез. Це надає можливість релевантного вибору існуючих конструкцій, типорозмірів корпусів і пластин, а також обґрунтувати вимоги при створенні нових конструкцій. Отриману навчену карту Кохонена можна використовувати для автоматизації пошуку технологічних ніш різального інструменту.*

**Ключові слова:** кластеризація; карти Кохонена; різальний інструмент; механічна обробка; технологічна ніша.  
Рис.: 3. Табл.: 2. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний стан розвитку автоматизованого виробництва, використання верстатів із ЧПУ ставлять нові вимоги до різального інструменту, процесу його проектування, забезпечення ефективності його використання. Велика кількість різних наявних конструкцій інструмента дозволяє раціонально виконувати механічну обробку залежно від конкретних технологічних умов. Релевантний вибір конструкцій інструменту для кожної конкретної технологічної ситуації безпосередньо впливає на ефективність процесу механічної обробки.

**Постановка проблеми.** При вирішенні задач вибору вже існуючих і проектування нових різальних інструментів необхідною є обробка великих об'ємів багатовимірної інформації і забезпечення підтримки ухвалення рішень на кожному етапі проектування і експлуатації інструменту. Для обґрунтованого вибору серед існуючих конструкцій або проектування спеціального інструменту потрібно враховувати вплив технологічних параметрів, які визначають: розміри поверхні що оброблюється, вимоги до параметрів якості й точності обробленої поверхні, фізико-механічні властивості матеріалу заготовки, геометричні параметри різальної частини інструменту, властивості інструментального матеріалу, а також технологічні можливості обладнання, на якому буде виконуватись обробка.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує багато спеціальних методів для пошуку нових рішень або вибору вже існуючих [1; 2]. Процес генерування ідей, що стосуються створення моделей конструктивних рішень [3], відбувається на трьох рівнях конструкторської розробки [4]:

- структура системи інструменту;
- структура інструменту, що входить у систему;
- тип конструкції кожного з модулів, які складають інструмент.

У представленій роботі розглядається вирішення завдання вибору конструкцій торцевої фрези для кожної конкретної технологічної ситуації. Для проектування інструменту необхідні дані про заготовку, деталь, верстат. Інформативним також є розподіл кількості фрез у номенклатурному ряду діаметрів  $D_f$ .

Широта номенклатури видів фрез з різною геометрією різальної частини залежить від галузі промисловості й конфігурації типових деталей, їхнього матеріалу, стану поверхонь заготовки, вимог до точності і якості оброблюваної поверхні [4].

На кожному рівні конструювання інструменту значимими для аналізу є різні групи чинників. Так, для проектування типорозмірного ряду інструменту, автори [4] пропонують розглядати сімейства розподілів глибин різання, подач тощо.

Вивчення комплексу технологічних завдань підприємств-споживачів, функцій інструменту, визначає потребу в кількості інструменту конкретних типорозмірів. Вказаний комплекс завдань – це  $n$ -мірний технологічний простір, що характеризується набором функціональних показників. Декілька сегментів цього простору або один із них, оптимальні для інструментів, що проектуються і планованих до випуску підприємством-виробником, складають технологічну нішу (ТН).

Для пошуку технологічних ніш автор [5] пропонує використати розподіли значущих параметрів. По розподілах зручно розраховувати місткість технологічної ніші в будь-якому діапазоні параметрів. Аналіз даних може проводитися різними засобами. Відомі багатовимірні класичні методи обробки даних: аналіз головних компонент, кластерний, факторний, дискримінантний, регресійний аналіз [6].

Окремо можна виділити використання методу кластеризації даних на основі карт ознак, що самоорганізуються (self organizing map - SOM). Вони відомі як карти Кохонена [7; 8]. Цей засіб являє собою не тільки ефективний алгоритм кластеризації, а й дозволяє візуально представляти її результати у зрозумілому вигляді. Алгоритм функціонування самонавчальних карт дозволяє провести кластеризацію багатовимірних векторів. Такими векторами, власне, і є різні види різального інструменту. Прикладом таких алгоритмів може служити алгоритм k-найближчих середніх [9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Адаптація та використання методів кластеризації даних при проектуванні й виборі інструменту дозволить точніше врахувати статистичні дані з експлуатації інструменту та зменшити загальні витрати часу.

**Метою статті** є автоматизація визначення зон найбільш ефективного використання конкретної конструкції інструменту, тобто виділення технологічних ніш для фрез із використанням методів кластеризації даних.

**Виклад основного матеріалу.** Формально задача кластеризації описується наступним чином [10]. Дана множина об'єктів  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ , кожен з яких характеризується вектором атрибутів (параметрів):  $x_j = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ . Потрібно побудувати множину кластерів  $C$  і відображення  $F$  множини  $I$  на множину  $C$ .

Завдання кластеризації полягає в побудові множини  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_g\}$ ,  $c_g$  – кластер, що містить «схожі» об'єкти з множини  $I$ .

Відповідно до мети формулюємо задачі дослідження:

- опис бізнес-процесу [11] «Виділення технологічних ніш експлуатації інструменту», обробка зібраних статистичних даних, що впливають на вибір типорозміру конструкції фрези;

- кластеризація за заданими вхідними даними;

- визначення кластерів (технологічних ніш) та їх аналіз;

- призначення для кожної технологічної ніші потрібної конструкції фрези.

Бізнес-процес «Виділення технологічних ніш експлуатації інструменту» доцільно представити у вигляді SADT-діаграми (рис. 1).

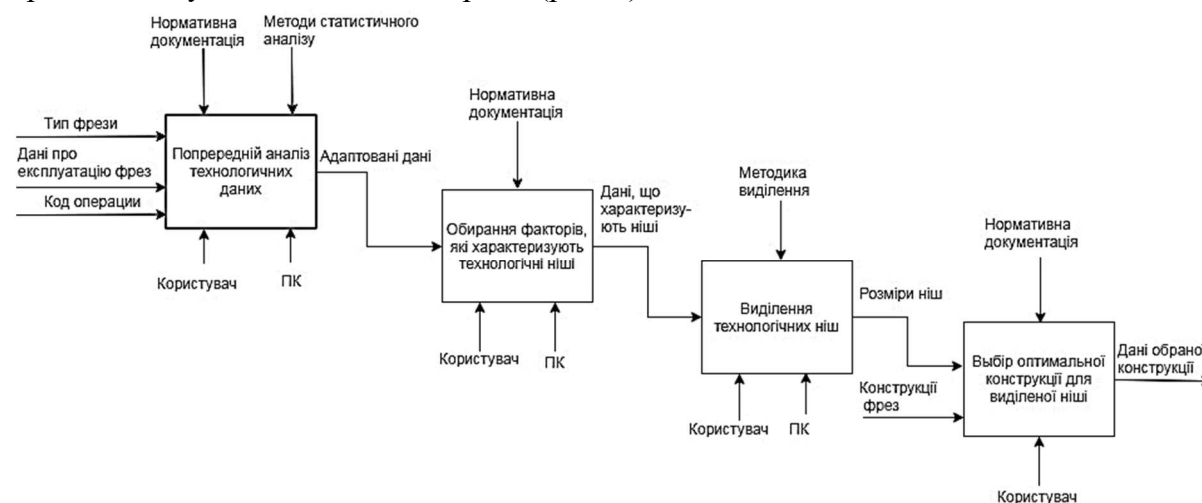


Рис. 1. SADT-діаграма бізнес-процесу «Виділення технологічних ніш експлуатації інструменту»

Вказаний бізнес-процес складається з чотирьох етапів.

1) Попередній аналіз технологічних даних, де користувач аналізує дані, зібрані в умовах виробництва.

2) Вибір факторів, що характеризують технологічну нішу. Для різних етапів розробки конструкції інструменту ніші характеризуються різними параметрами. Їх пошук здійснює фахівець.

3) Виділення технологічної ніші. Для аналізу вхідних даних будуються розподіли щільності по вагомим факторам [4; 5]. Формується вхідний вектор для мережі Кохонена, яка виконує процес кластеризації, тобто пошук технологічних ніш.

4) Прийняття рішення про визначення конкретного типу конструкції інструменту для вибраної технологічної ніші за участю фахівця-конструктора.

Як інструментальний засіб аналізу даних умов експлуатації фрез обрано аналітичну платформу Deductor Studio 5.0 версії Academic. Вона має можливості побудови самоорганізаційних карт Кохонена за алгоритмом: формування початкових векторів, навчання нейронної мережі, обчислення помилки віднесення до класу, візуалізація результатів кластеризації [12].

Параметри карти Кохонена, що самоорганізується: підібрані з урахуванням високої якості візуалізації та інтерпретації результатів. Розмірність карти – 20×20 шестикутних осередків, вузли якої представлені штучними нейронами. Якість навчання нейромережевої моделі – 100% розпізнаних прикладів на навчальній множині.

У табл. 1 наведено приклад результатів збору статистичних даних експлуатації торцевих збірних фрез. Аналогічний файл даних у форматі Excel використовувався для імпорту в аналітичну програму Deductor Studio.

Таблиця 1. Дані експлуатації фрез (фрагмент)

№	Марка сталі	Твердість, НВ	Ширина фрезерування В, мм	Загальний припуск Н, мм	Поверхня	Глибина різання t, мм	Подача S, мм/хв	Швидкість різання V, м/хв
1	45	195	300	5,3	Корка	5	400	188,5
2	45	195	300	5,3	Чиста	0,3	200	235,6
3	45	210	145	4	Чиста	3	300	251,3
4	45	200	100	10	Корка	4	500	247,4
5	У8	200	120	30	Корка	4	500	296,9
6	20	180	250	8,5	Брудна	8	150	150,8
7	20	185	250	8,5	Корка	0,5	420	477,5
8	30А	190	220	120	Корка	10	160	55,0
9	30А	190	215	80	Корка	10	240	78,5
10	20	200	150	11	Чиста	5	150	196,3
11	15Л	165	200	30	Корка	10	320	98,2
12	15Л	170	230	10	Чиста	10	400	98,2
13	15Л	165	230	1	Чиста	1	250	196,3
14	20	195	160	10	Чиста	5	150	117,8
15	15Л	175	220	20	Корка	10	320	94,2
16	15Л	180	225	15	Корка	10	320	94,2
17	15Л	175	220	20	Корка	10	320	94,2
18	30	195	160	50	Корка	8	180	150,8

Наявні вихідні дані були розбиті на два набори. Перший із них використовувався для навчання (навчальний), а другий – для тестування (тестовий).

Для ініціалізації карти (завдання початкових значень вузлів мережі) використовувалися значення з власних векторів, рівномірно розподілені в діапазоні значень вхідних даних. Навчання проводилося кілька разів із різними значеннями параметрів навчання. Варіювалися радіуси сусідства для обох етапів навчання і для кожного набору значень параметрів навчання використовувалося кілька варіантів випадкової початкової ініціалізації. Для навченої карти проводилася візуалізація, тобто процедура постановки у відповідність всіх векторів, що подаються на вхід відповідним їм вузлам нейронної мережі.

Нейронні мережі працюють лише з числовими даними, тому важливим етапом при підготовці даних є перетворення і кодування даних.

Загальна кількість даних аналізу – 150. Таким чином, був підготовлений набір даних придатних для подальшого аналізу із застосуванням карт Кохонена, що самоорганізуються.

У результаті роботи алгоритму отримана карта кластерів. Для того щоб відобразити відносну величину того чи іншого компонента вектора, відповідні ділянки карти фарбуються в певний колір. Усі дані були розділені на 26 кластерів (рис. 2).

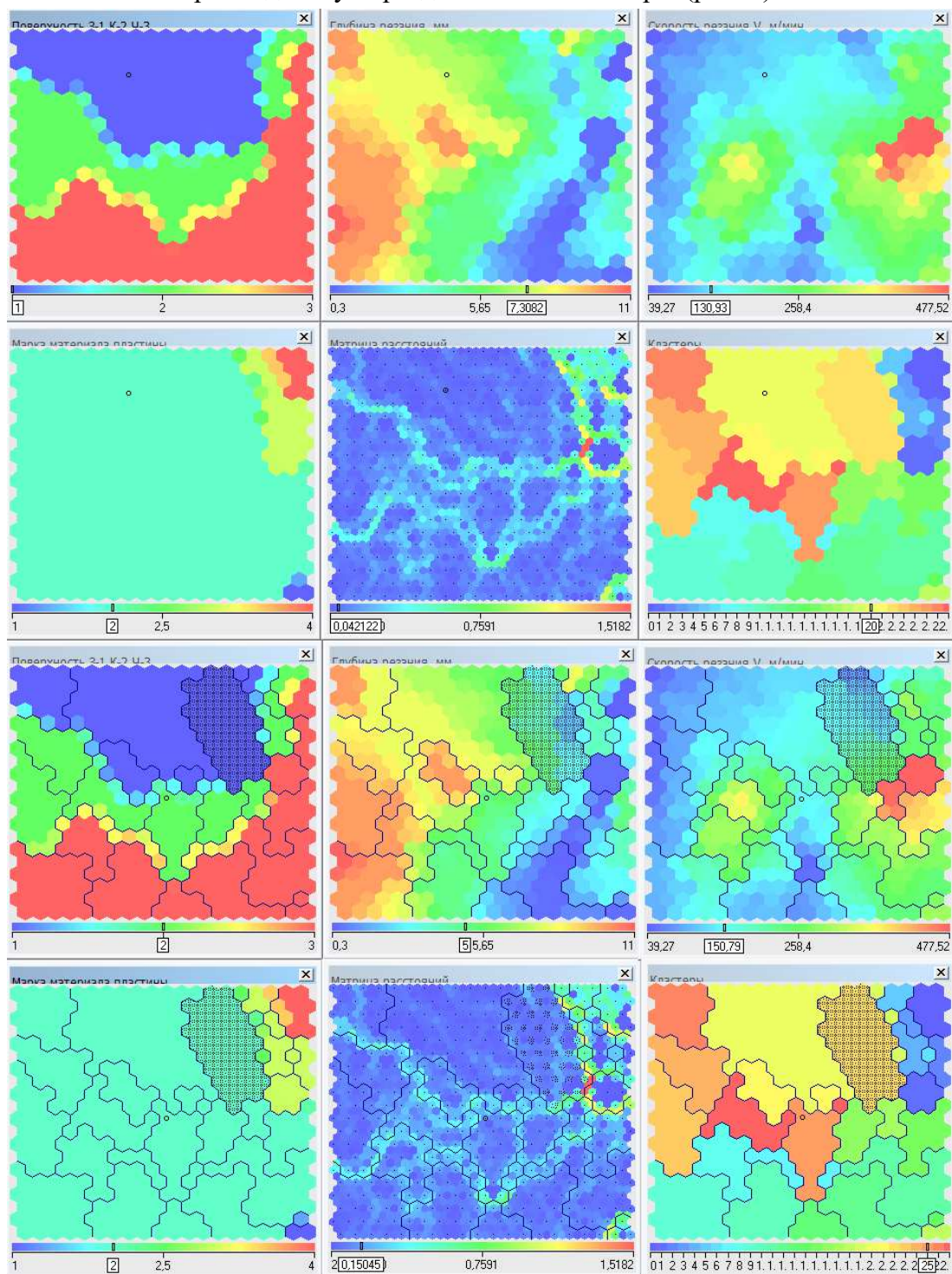


Рис. 2. Кластеризація параметрів експлуатації фрез для визначення технологічних ніш при обробці вуглецевих сталей

Формуємо вектор вхідних даних. Для різних етапів проектування конструкції фрези вектор вхідних даних для пошуку ніші складається з різних параметрів.

Для етапу конструювання торцевої фрези необхідно визначення типорозмірів: діаметра фрези, розміру і форми різальної пластини. У проведеному дослідженні вхідний вектор складається з таких показників:

- якість оброблюваної поверхні;
- глибина різання  $t$ , яка визначає довжину різального леза і навантаження на фрезу;
- швидкість різання;
- марка матеріалу різальної частини інструменту.

Для цього стовпцям, які не використовувались у поточному дослідженні, було присвоєно значення «Інформаційний», надалі у процесі аналізу вони не враховувалися. Стовпцям «Глибина різання» і «Швидкість різання» було надано речовий тип, а стовпцям «Поверхня» і «Марка матеріалу пластини» – цілий. Для визначення якості поверхні встановлено числові значення. Для забрудненої корки – 1, для корки – 2, для чистої поверхні – 3. Усі ці дані використовувалися як вхідні. Радіус навчання становив на початку навчання – 4, а в кінці – 0,1. При цьому спосіб початкової ініціалізації карти – з власних векторів, початковий навчальний і випадковими значеннями.

Загальна кількість записів була розділена на дві множини: навчальна і тестова. У навчальній множині містилося 85 записів (89,5 %), а в тестовій – 10 записів (10,5 %). За результатами аналізу даних програма розпізнала 60 % тестових записів.

Після пред'явлення достатнього числа вхідних векторів синаптичні ваги мережі Кохонена стають здатні визначити кластери. В нашому випадку на виході формуються кластери, тобто технологічні ніші, що дозволять визначитися з типом конструкції фрези і її типорозміром на основі розмірів різальної пластини.

Після попередньої обробки сформовані кластери представлено в табличній формі (табл. 2). Тут же надано рекомендації по вибору конструкцій, які сформував експерт, на основі результатів розподілу. Пропоновані варіанти конструкцій фрез представлено на рис. 3.

Таблиця 2. Розподіл на кластери умов експлуатації фрез

Група кластерів	Кластери	Характер поверхні	Глибина $t$ , мм	Швидкість $V$ , м/хв	Марка матеріалу	Конструкція фрези
1	0, 18	3	0,3 - 0,55	188 - 478	МК	Kennametal Hertel R232
2	1, 2	3	0,5 - 3	251 - 475	ВК6	W75SP15D
3	3, 4	2	3,5 - 4,0	247,8 - 296,6	ВК6	Касета 1
4	5	1, 2	5,9 - 8	150,6 - 225,7	ВК6	T-Line
5	6, 7	2, 3	3,02 - 5,5	122,7 - 248,5	T5K10	Касета 1
6	8 - 13	3	1,1 - 11	74,2 - 315,5	T5K10	Касета 2
7	14	3	1,33	281,5	T15K6	W75SP15D
8	15 - 17	2, 3	0,5 - 4,49	301,6 - 327,9	T5K10	Касета 1
9	23 - 25	2	4 - 10,2	45,2 - 200,9	T5K10	Касета 2
10	19 - 22,26	1	2,54 - 10	78,9 - 271,4	T5K10	Касета 1
11	27	1, 2	6,09 - 10	201,1 - 373,1	T5K10	Касета 2

На основі таблиці 2 і рисунку 2 можна відзначити наступне.

До першої групи кластерів входять прецеденти чистової механічної обробки з малою глибиною різання, великою швидкістю і використанням мінералокераміки, як матеріалу різальної частини. Тут є сенс використовувати фрези з круглими пластинами.

Групи кластерів 2 і 7 схожі за умовами обробки. Але відрізняються використовуваними матеріалами різальної частини. Оскільки вони відповідають в основному чистовій обробці матеріалу без корки з порівняно невеликою глибиною різання, доцільно використовувати фрези з можливістю регулювання в осьовому напрямку.



Групи кластерів 3, 5, 8, 10 відзначаються різними варіантами якості оброблюваної поверхні, значеннями глибини різання і матеріалом різальної частини. Але для обробки може бути ефективно використана фреза зі змінними касетами.

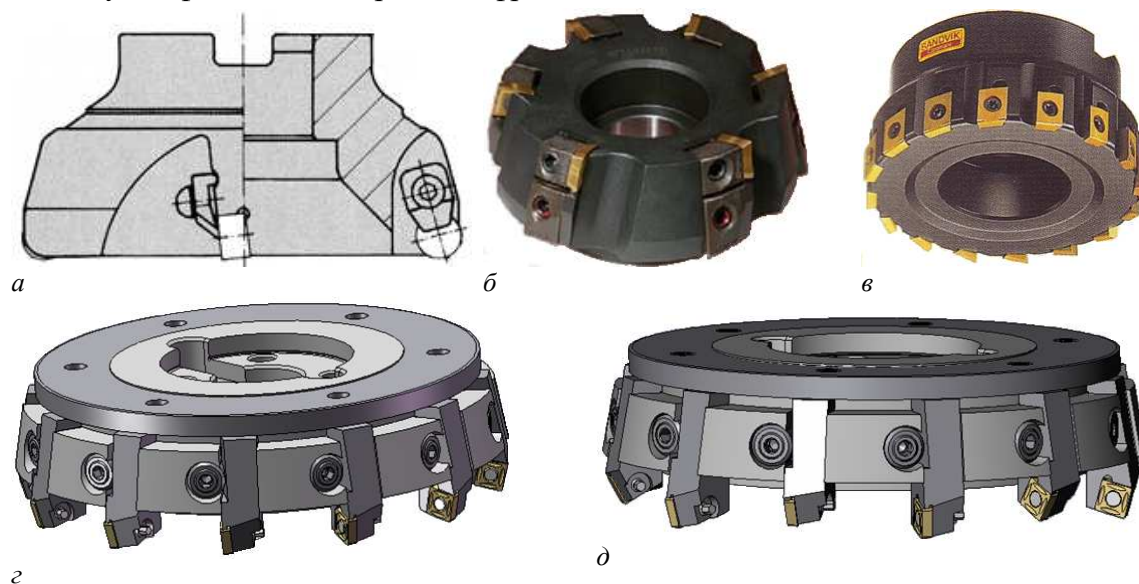


Рис. 3. Пропоновані варіанти конструкцій торцевих фрез для технологічних ніш при обробці вуглецевих сталей: а – фреза Kennametal Hertel R232 для чистової обробки; б – фреза Pramet W75SP15D з можливістю регулювання в осьовому напрямку; в – фреза з тангенційним розташуванням багатограних пластин SANDVIK Coromant T-Line; г – фреза касетна  $\varphi=75^0$  «Касета 1»; д – фреза з діленням зрізу по ширині і товщині «Касета 2»

Окремо розглядається ситуація у групі 4, яка складається з одного кластера. Обробку по забрудненій корці з порівняно високою глибиною різання раціонально буде проводити фрезою з тангенційно розташованими пластинами.

Групи кластерів 6, 9, 11 відповідають обробці з великими глибинами і різними характеристиками оброблюваної поверхні. Вирішити проблему вібростійкості при такій обробці доцільно за допомогою використання фрез з діленням зрізу по довжині і ширині. Такі конструкції дозволяють виконувати обробку з меншими енерговитратами.

**Висновки.** Кластери, що формує мережа Кохонена, можна інтерпретувати як технологічні ніші, оскільки вхідний вектор містить всі необхідні параметри для їх утворення.

Карти Кохонена мають властивість трансформувати багатовимірний простір в простір з нижчою розмірністю. З урахуванням цього у роботі вперше запропоновано загальний підхід до вирішення задачі формування технологічних ніш для визначення зон найбільш ефективного використання відповідних типів конструкції фрез. Це надає можливість релевантного вибору існуючих конструкцій, типорозмірів корпусів і пластин, а також обґрунтувати вимоги при створенні нових конструкцій.

Змістовний аналіз отриманих кластерів дозволяє виявити існуючі на кожному окремому підприємстві закономірності технологічних умов використання різального інструменту.

Отриману навчену карту Кохонена можна використовувати для автоматизації пошуку технологічних ніш в масивах даних експлуатації інструменту для різних підприємств, для котрих є в наявності ідентичний набір вхідних даних.

#### Список використаних джерел

1. Быков В. В., Быков В. П. Исследовательское проектирование в машиностроении. Москва : Машиностроение, 2011. 256 с.

2. Asunción, Álvarez, Tom Ritchey. Applications of General Morphological Analysis From Engineering Design to Policy Analysis. *Acta Morphologica Generalis AMG. Swedish Morphological Society*. 2015. Vol. 4, No. 1. 40 p. URL: <http://www.amg.swemorph.com/pdf/amg-4-1-2015.pdf>.
3. Автоматизоване проектування і виготовлення виробів із застосуванням CAD/CAM/CAE-систем : монографія / О. Ф. Тарасов та ін. Краматорськ : ЦТPI «Друкарський дім», 2017. 239 с.
4. Сборный твердосплавный инструмент / Г. Л. Хае и др. ; под общ ред. Г. Л. Хаета. Москва : Машиностроение, 1989. 256 с.
5. Мельников А. Ю., Аносов В. Л., Прекрасный Д. Е. Разработка информационной системы для маркетинговых исследований и анализа надежности. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Харьков, 2006. № ½. С. 122–127.
6. Большаков А. А., Каримов Р. Н. Методы обработки многомерных данных и временных рядов : учебное пособие для вузов. 2-е изд., стереотип. Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. 522 с.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. : пер. с англ. Москва : Издательский дом «Вильямс», 2016. 1104 с.
8. Абрамова Т. В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации / Абрамова Т. В. и др. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2014. 442 с.
9. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А. А. Слинкина. Москва : ДМК Пресс, 2015. 400 с.
10. Анализ данных и процессов / А. А. Барсегян и др. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2009. 512 с.
11. Вендров А. М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. Москва : Финансы и статистика, 2005. 176 с.
12. BaseGroup Labs. Data analysis technologies. URL: <http://basegroup.ru>.

### References

1. Bykov, V. V., Bykov, V. P. (2011). *Issledovatel'skoe projektirovanie v mashinostroyenii [Research design in mechanical engineering]*. Mashinostroyenie.
2. Álvarez, A., & Ritchey, T. (2015) Applications of General Morphological Analysis From Engineering Design to Policy Analysis. *Acta Morphologica Generalis AMG. Swedish Morphological Society*, 4(1). <http://www.amg.swemorph.com/pdf/amg-4-1-2015.pdf>.
3. Vasileva, L. V., Tarasov, O. F., Altukhov, O. V., Sagayda, P. I., Anosov, V. L. (2017). *Avtomatyzovane proektuvannia i vyhotovlennia vyrobiv iz zastosuvanniam CAD/CAM/CAE-system [Automated designing and manufacturing of products with the use of CAD/CAM/CAE-systems]*. Drukarskyi dim.
4. Khaet, G. L. (Ed.). (1989). *Sbornyy tverdosplavnyi instrument [Combined carbide tool]*. Mashinostroyenie.
5. Melnikov, A. Yu., Anosov, V. L., Prekrasnyy, D.E. (2006). *Razrabotka informatsionnoy sistemy dlya marketingovykh issledovaniy i analiza nadezhnosti [Development of an information system for marketing research and reliability analysis]*. *Vostochno-Evropeskii zhurnal peredovykh tekhnologii – East European Journal of Enterprise Technologies*, ½, pp. 122–127.
6. Bolshakov, A. A., Karimov, R. N. (2015). *Metody obrabotki mnogomernykh dannykh i vremennykh ryadov [Methods of processing multidimensional data and time series]* (2nd ed.). Goriachaia liniya-Telekom.
7. Haikin, S. (2016). *Neyronnyye seti: polnyy kurs [Neural networks: a Comprehensive Foundation]*. (2nd ed.) (Translated from English). Izdatelskii dom «Viliams».
8. Abramova, T. V., Vaganova, E. V., Gorbachev, S. V., Syryamkin, V. I., Syryamkin, M. V. (2014). *Neiro-nechetkie metody v intellektualnykh sistemakh obrabotki i analiza mnogomernoii informatsii [Neuro-fuzzy methods in intelligent systems for processing and analysis of multidimensional information]*. Izdatelstvo Tomskogo universiteta.
9. Flach, P. (2015). *Mashinnoe obuchenie. Nauka i iskusstvo postroyeniia algoritmov, kotorye izvlekaiut znaniia iz dannykh [Machine learning. The art and science of algorithms that make sense of data]*. (Translated from English by A. A. Slinkin). DMK Press.
10. Barseghyan, A. A., Kupriyanov, M. S., Kholod, I. I., Tess, M. D., Elizarov, S. I. (2009). *Analiz dannykh i protsessov [Analysis of data and processes]*. BHV-Petersburg.

11. Vendrov, A. M. (2005). CASE-technology. *Sovremennyye metody i sredstva proyektirovaniya informatsionnykh sistem [Modern methods and means of designing information systems]*. Finansy i statistika.

12. BaseGroup Labs. *Tekhnologii analiza dannykh [BaseGroup Labs. Data analysis technologies]*. <http://basegroup.ru>.

UDC 621.9.025.6: 004.89

Lina Bohdanova, Valerii Anosov

## DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL NICHES OF THE CUTTING TOOL CONSTRUCTION USING THE KOHONEN NETWORK

*The variety of existing tool designs makes it possible to rationally use certain types of structures depending on specific technological conditions. Relevant selection of tool designs for each specific situation determines the efficiency of the machining process.*

*When solving the problem of selecting existing and designing new cutting tools, it is necessary to process large amounts of multidimensional information and provide decision support at each stage of design and operation of the tool. For choice or design of the tool it is necessary to investigate the influence of technological parameters on the use of the particular construction.*

*Actual scientific researches and issues analysis is devoted to works on search of new and existing technical solutions, determination of areas for their effective use. Adaptation and use of data clustering methods in the design and selection of the tool will allow to implement them more reasonably and with less time.*

*The purpose of the article is to automate the determination of the zones of the most effective use of a specific tool design, i.e. the allocation of technological niches for cutters using data clustering methods.*

*A technique for automating the search for technological niches for cutting tool designs using data clustering is presented. Kohonen maps were used for this self-organizing. An example of the choice of face mill cutter designs that are most effective for specific technological conditions is given. Analysis of multidimensional data on machining use cases was performed using the analytical platform Deductor Studio.*

*In this work, for the first time, a general approach to solving the problem of forming technological niches to determine the areas of most efficient use of appropriate types of cutting structures, substantiation of sizes of housings and plates, as well as the creation of new constructions was presented. The obtained trained Kohonen map can be used to automate the search for technological niches.*

**Keywords:** clustering; Kohonen maps; cutting tool; machining; technological niche.

Fig.: 3. Table: 2. References: 12.

**Богданова Ліна Михайлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Bohdanova Lina** – PhD in Technical science, Associate Professor of the Computer Information Technologies Department, Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** libog3096@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5025-9358>

**SCOPUS Author ID:** 55258723700

**Аносов Валерій Леонідович** – старший викладач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Anosov Valerii** – Senior teacher of the Computer Information Technologies Department Donbass State Engineering Academy (72 Akademichna Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** valeryanosov68@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7362-4322>

**SCOPUS Author ID:** 5721977851



## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.056.5:004.7(083.94)

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-53-61

*Сергій Толюпа, Іван Пархоменко, Людмила Терейковська, Володимир Квасніков*

### ПОБУДОВА СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРАТАК ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИХОВАНОЇ МАРКІВСЬКОЇ МОДЕЛІ

*Одним із найбільш перспективних напрямків підвищення якості аналізу даних є використання їх у системах виявлення мережевих кібератак методом виявлення аномалій. У цьому методі робота аналізаторів даних базується на припущенні, що ознакою кібератаки служить деяке відхилення контрольованих параметрів комп'ютерної системи від параметрів, що характеризують нормальне функціонування мережі. У результаті проведених досліджень обґрунтована можливість формування шаблонів нормальної поведінки мережевих об'єктів комп'ютерних систем на основі однорідного ланцюга Маркова з послідовними переходами.*

**Ключові слова:** мережева кібератака; комп'ютерна система; інформаційна безпека; система виявлення мережних кібератак; ланцюг Маркова; марковський процес; марковська модель; характеристика безпеки.

*Рис.: 4. Бібл.: 11.*

**Актуальність теми дослідження.** Одним з найбільш перспективних напрямів підвищення якості аналізу даних є використання їх у системах виявлення мережевих кібератак (СВА) методом виявлення аномалій. У цьому методі робота аналізаторів даних базується на припущенні, що ознакою кібератаки служить деяке відхилення контрольованих параметрів комп'ютерної системи (КС) від параметрів, що характеризують нормальне функціонування мережі. При цьому значення контрольованих параметрів за звичайних умов експлуатації отримали назву шаблонів нормальної поведінки. Саме тому дуже важливим завданням є вибір або формування такого шаблону, який би адекватно відтворював функціональний портрет мережевого об'єкта КС і дозволив із заданою точністю визначити аномальну поведінку цього об'єкта.

**Постановка проблеми.** Різні типи кібератак, які можуть мати масовий характер дії на об'єкти інформаційних систем, спонукають до виникнення певних технічних рішень, що мають спеціалізоване спрямування. Для знаходження мережевої активності, яку можна ідентифікувати як мережеве вторгнення, застосовують певні методи [1-5], спеціальні моделі та технічні рішення для систем, які виявляють та запобігають вторгненням [6; 7; 8; 11]. І цей комплекс підходів і рішень може використовуватися і проти інших типів кіберзагроз, які з'являються і мають відмінні чи модифіковані характеристики. У разі появи модифікованих чи відмінних загроз, які генеруються певними атакуючими діями і мають невизначені характеристики, можуть бути не виявленими при використанні зазначених засобів, які можуть потребувати суттєвих часових затрат для адаптації під відповідні типи кіберзагроз. Для ефективного функціонування систем, які застосовуються для виявлення вторгнень (СВВ), необхідне неперервне їх удосконалення та модифікація під нові типи кіберзагроз.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні вирішення питань забезпечення безпеки в інформаційних системах (ІС) та управління станом їх захищеності описується в роботах вітчизняних та закордонних дослідників, а саме: В. Бурячка, С. Гнатюка, О. Корченко, О. Кузнецова, І. Субача, С. Євсєєва, В. Дудикевича, С. Казмирчук, І. Тейраковського, Т. Ртасека, G. Elmasry, P. Albers, O. Camp та інших.

Безперечно, актуальним напрямом у сфері інформаційної безпеки, який має інтенсивний розвиток, є напрям з виявлення кібератак та захисту від втручань у роботу інформаційних систем з боку неавторизованих сторін. Крім того, слід зазначити, що атаки на інформаційні системи відбуваються дедалі частіше, методи їх реалізації більш досконалі, а масштаби – більш глобальні.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Сучасні системи виявлення вторгнень і атак ще далекі від ергономічних і ефективних з погляду безпеки рішень. Підвищення ефективності ж слід вести не тільки в області виявлення зловмисних дій на інфраструктуру захищених об'єктів інформатизації, але і з погляду повсякденної експлуатації цих засобів, а також економії обчислювальних та інформаційних ресурсів власника цієї системи захисту. Використання одного з ефективних методів виявлення вторгнень та атак ґрунтується на сигнатурному підході. Сигнатурні методи дозволяють описати атаку набором правил або за допомогою формальної моделі, у ролі якої може застосовуватися символічний рядок, семантичне вираження спеціальною мовою тощо. Суть цього методу полягає у використанні спеціалізованої бази даних шаблонів (сигнатур) атак для пошуку дій, що підпадають під визначення «атака».

**Метою статті** є підвищення якості аналізу даних у системах виявлення мережових кібератак методом виявлення аномалій за допомогою прихованих марковських моделей.

**Виклад основного матеріалу.** Прихована марковська модель має модельовану систему, яка вважається марковським процесом із прихованими станами, тобто зі станами, які важко піддаються контролю. Прихована марковська модель є статичною марковською моделлю і вона може представлятися у вигляді динамічної баєсової мережі. При використанні ланцюгів Маркова (простішої марковської моделі) для спостерігача буде видимий стан. І в такому випадку єдиними параметрами є ймовірності переходу стану. Але якщо взяти приховану марковську модель, то в цьому випадку неможливо безпосередньо спостерігати стан. Хоча буде видно вихід, що залежить від стану. У цьому випадку вихід може бути у вигляді даних «токена». І залежно від вихідних токенів кожний стан буде мати розподіл ймовірностей. Отже, можна отримати певну інформацію про послідовність станів, знаючи послідовність токенів, яка генерується прихованою марковською моделлю. Саме до послідовності станів, через яку дана модель проходить, а не параметрів цієї моделі відноситься поняття «приховане». Це так навіть і в тому випадку, якщо ймовірності переходу (ці параметри) відомі.

Використовуючи цей підхід, на відміну від існуючих систем виявлення вторгнень, при роздільній обробці різних етапів атаки отримуємо можливість розпізнати загрозу не в стадії реалізації, а в процесі її формування. В такому випадку основою, що реалізує даний підхід і забезпечує розпізнання загроз може бути сигнатурний пошук, чи механізми виявлення аномалій. Крім того буде доречним і використання експертних систем та методів. Вже відомих локальних і мережних примітивів оцінки потоку подій, які відбуваються в інформаційному середовищі.

Під час побудови СВА доцільно врахувати загальну структуру побудови системи управління подіями та вразливостями безпеки, до яких входять як внутрішні, так і зовнішні загрози. У свою чергу, зважаючи на проведений аналіз, для побудови СВА від внутрішніх атак доцільно використовувати метод опорних векторів, а для побудови СВА від зовнішніх атак – метод динамічного програмування. Сутність цих кроків полягає в ідентифікації станів захищеності з урахуванням множини різномірних параметрів трафіка, що передається в ІС.

Структурно-логічну схему системи управління подіями, інцидентами, атаками інформаційної безпеки в ІС із застосуванням інтелектуальних технологій представлено на рис. 1.

При виявленні кібератак існують два загальні підходи:

- розпізнавання сигнатур (шаблонів);
- виявлення аномалій, які доповнюють один одного при виявленні кібератаки.

Розглядаючи сигнатурний метод для виявлення вторгнень та атак на інформаційну систему, можна зазначити що його ефективність залежить від якості спеціалізованої бази сигнатур (певних шаблонів) атак, які в свою чергу забезпечують пошук дій, що ідентифікуються як атаки. При сигнатурному підході атака описується певним набором правил чи використовується формальна модель у вигляді семантичного вираження на спеціальній мові.

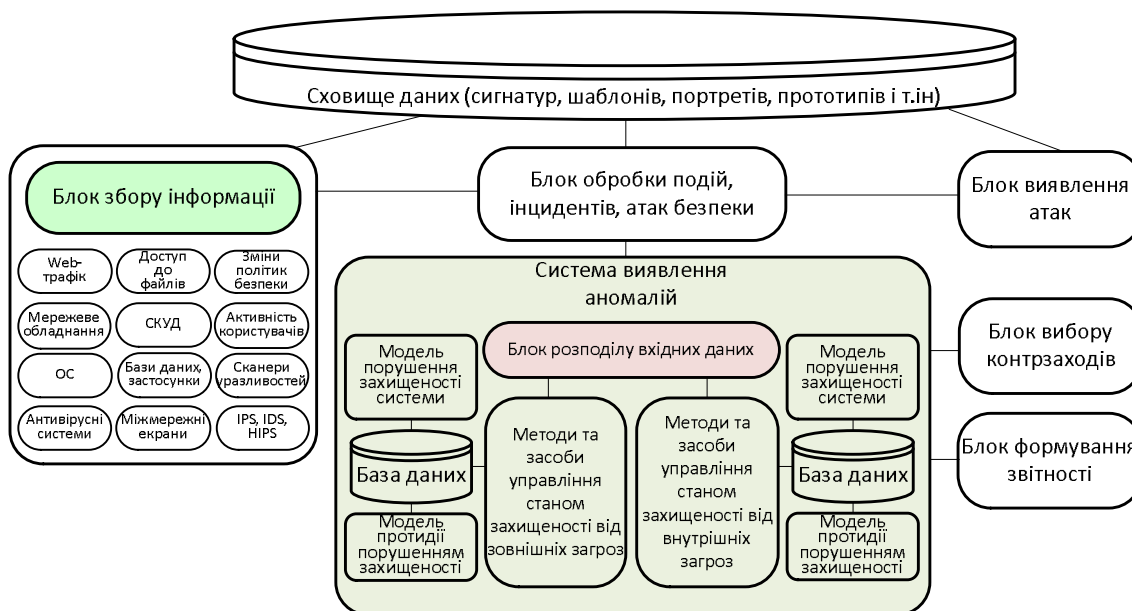


Рис. 1. Структурна схема системи управління інформаційною безпекою

Здебільшого цей метод ефективний у тому випадку, коли відомий фрагмент коду вірусу, тобто сигнатура вірусної чи хакерської атаки і цей код внесений у базу даних системи виявлення вторгнень. Отже, коли проти інформаційної системи вперше застосували певний тип хакерської атаки, чи ця система заражена якимсь новим видом вірусу, то, звісно, в базі немає відповідних шаблонів (сигнатур). І в цьому випадку система виявлення вторгнень на базі сигнатурного підходу не повідомляє про загрозу, бо не вважає атакуючі впливи небезпечними.

Отже, ефективність використання системи виявлення вторгнень на базі сигнатурного підходу залежить від таких факторів: оперативності та вчасності додання нових сигнатур, наповненість і повнота шаблонів атак та використання спеціальних інтелектуальних алгоритмів ідентифікації зловмисних дій на підставі виділення певних базових кроків, використовуючи порівняння із сигнатурами.

Що стосується модулів обробки даних, то в цьому випадку в системі обробки інформації кожна сигнатура, шаблон атаки є базовим компонентом для визначення фаз атаки та етапів реалізації. Отже, сигнатура ідентифікує певні загальні дії та її поняття відповідає деякому вирішальному правилу, а в конкретній атаці виділяються окремі етапи її проведення. Звичайно для простих атак інструменти аналізу дають більше можливостей для їх виявлення.

Етапи реалізації атаки можуть бути представлені графом переходів. Що стосується фаз атаки, то вони можуть бути такими: перевірка портів; визначення програмно-апаратних засобів; використання вразливостей у програмному забезпеченні (за допомогою експлойтів); проведення DoS чи DDoS атак для дезорганізації персоналу; використання несанкціонованого віддаленого доступу до комп'ютера (за допомогою бекдорів); виявлення троянів, які вже встановленні в системі; виявлення рхоху-серверів; знищення цифрових слідів у системі і т. ін. Деталізація фаз атак може бути різною.

Існують такі проблеми використання прихованих марковських моделей для виявлення аномалій:

- проблема оцінки ймовірності того, що послідовність, яка спостерігається, була згенерована моделлю;
- проблема побудови із даних аудиту моделі або набору моделей, які б правильно описували поведінку, яка спостерігається;
- проблема обчислення найбільш ймовірного набору прихованих станів, що призвели до отримання спостереженням у межах прихованої марковської моделі.

У разі виявлення мережових аномалій контроль трафіку формує дані, які можуть бути використані для навчання прихованої марковської моделі. Модель, побудована на основі аналізу поведінки цільової системи, є відповідним поданням для профілю трафіку.

У роботі [1] прихована марковська модель для нормальної поведінки формується з журналів і даних нормальної поведінки мережної системи. Поведінка системи, яка спостерігається, аналізується для оцінки ймовірності того, що побудована модель підтримує поведінку, яка спостерігається. Низька ймовірностей підтримки вказує на аномальну поведінку.

У роботі [2] описується застосування прихованої марківської моделі для виявлення аномалій з використанням профілю послідовностей системних викликів і shell-команд. При навчанні модель обчислює ймовірність вибірки послідовності, яка спостерігається. Граничні значення ймовірності формуються на основі мінімальної ймовірності серед усіх послідовностей у даних, які навчаються та використовуються для розмежування між нормальною та аномальною поведінкою. Головним обмеженням цього підходу є слабке узагальнення, що може призвести до блокування користувачів, неоднозначно визначених у цій системі.

У багатьох випадках працездатність ІС можливо оцінити за величиною одного або декількох параметрів, контрольованих на експлуатації. Здебільшого для кожного із зазначених параметрів можливо визначити специфічну область значень (область працездатності), вихід з якої відповідає рівню параметричної відмови ІС. При цьому працездатний стан ІС відповідає перебуванню всіх контрольованих параметрів в своїх областях працездатності [7]. Будемо вважати, що відомий повний перелік цих параметрів, крім цього, всі вони контролюються. Відзначимо, що в цей перелік параметрів доцільно поділити на дві групи. До першої групи слід віднести параметри, які безпосередньо характеризують працездатність ІС, наприклад, обсяг оперативної пам'яті, що використовується, або завантаження центрального процесора. До другої групи слід включити параметри, що дозволяють побічно оцінити працездатність КС, наприклад, обсяг черги запитів до комп'ютера сервера.

Як показує практичний досвід, більшість параметрів, що характеризують працездатність КС, специфічно змінюються при здійсненні мережової кібератаки. Причому атака на відмову в обслуговуванні може змінювати параметри обох груп, а атака з метою отримання несанкціонованого доступу переважно впливає на параметри другої групи. Таким чином, специфічна зміна параметрів другої групи сигналізує як про здійснення кібератак на відмову в обслуговуванні, так і про здійснення кібератак з метою отримання несанкціонованого доступу. Для визначення зазначеної специфіки доцільно провести моделювання зміни параметрів другої групи на певному інтервалі часу  $t \in [0, t_{\max}]$  як за нормальних умов експлуатації, так і при здійсненні атаки на КС. Основою моделювання може стати марковська модель апроксимації динаміки контрольованих параметрів. У разі застосування нестационарної марковської моделі розрахунок імовірнісних характеристик динаміки параметрів можна виконати шляхом вирішення системи рівнянь Колмогорова-Чепмена:

$$\begin{cases} P_1(t) = P_1(t-1) - P_1(t-1)\eta_{1,i} + P_1(t-1)\eta_{1,N} \\ P_i(t) = P_i(t-1) - P_i(t-1)\eta_{i,j} + P_i(t-1)\eta_{i,N} \\ P_N(t) = P_N(t-1) + P_i(t-1)\eta_{i,N} + P_{N-1}(t-1)\eta_{N-1,N} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність перебування параметра в  $i$ -му кванті в момент часу  $t \in [0, t_{\max}]$ ,  $\eta_{ij}$  – інтенсивність переходу з кванта  $i$  в квант  $j$ .

У цьому випадку під інтенсивністю переходу розуміється ймовірність переходу з одного кванта в інший квант за одиницю часу.

На наш погляд, побудова загальної моделі виду (1) недоцільно як з погляду труднощів, що виникають при отриманні та підготовці вихідних даних для моделювання (інтенсивностей переходу), так і з погляду, складності інтерпретації результатів моделювання. Розглянемо можливі шляхи спрощення моделі.

Відповідно до реальних можливостей отримання результатів контролю параметрів другої групи відповідно до [7; 10] як модель шаблону доцільно застосувати однорідну марковську модель із можливістю тільки послідовних переходів по станам. Розмічений граф такої моделі показаний на рис. 2.

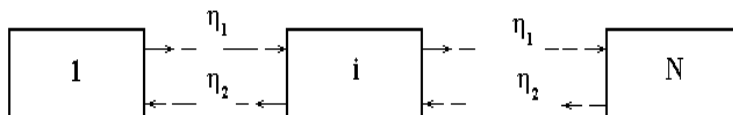


Рис. 2. Розмічений граф однорідної марковської моделі з послідовними переходами

На рис. 3 кількість квантів марковського процесу позначено як  $N$ , інтенсивність переходу з кванту  $i$  в квант  $i+1$  марківського процесу позначено як  $\eta_1$ , а інтенсивність переходу із кванту  $i+1$  в квант  $i$  позначено як  $\eta_2$ . Як видно із рис. 1, можливі тільки послідовні переходи по квантах марковського ланцюга, при цьому справедлива умова:

$$\begin{cases} \eta_{1,2} = \eta_{2,3} = \dots = \eta_{i,i+1} = \dots = \eta_{N-1,N} = \eta_1 \\ \eta_{2,1} = \eta_{3,2} = \dots = \eta_{i,i-1} = \dots = \eta_{N,N-1} = \eta_2 \end{cases} \quad (2)$$

Зазначені передумови дозволяють істотно спростити математичний апарат розрахунку перебування параметра в кванти марковського процесу:

$$\begin{cases} P_1(t) = P_1(t-1) - P_1(t-1)\eta_1 + P_2(t-1)\eta_2 \\ P_i(t) = P_i(t-1) - P_i(t-1)\eta_1 + P_{i-1}(t-1)\eta_2 \\ P_N(t) = P_N(t-1) - P_N(t-1)\eta_2 + P_{N-1}(t-1)\eta_1 \end{cases} \quad (3)$$

У теорії експлуатації технічно складних систем подібні моделі застосовуються при моделюванні зміни технічного стану відновлюваних агрегатів, для яких характерна двостороння область працездатності. У роботі [7] показана можливість спрощення цієї моделі за рахунок переходу до агрегатів, що не відновлюються з обмеженою зверху односторонньої областю працездатності. При цьому як марковська модель використовується однорідний марковський ланцюг, що поглинається з постійною інтенсивністю переходів, що дозволяє спростити систему рівнянь (3) таким чином:

$$\begin{cases} P_1(t) = P_1(t-1) - P_1(t-1)\eta \\ P_i(t) = P_i(t-1) - P_i(t-1)\eta + P_{i-1}(t-1)\eta \\ P_N(t) = P_N(t-1) + P_{N-1}(t-1)\eta \end{cases} \quad (4)$$

При вирішенні (4) застосовується умова нормування:

$$\sum_{i=1}^N P_i(t) = 1 \quad (5)$$

Умови нормування вказують на те, що в будь-який момент часу значення параметру може знаходитися тільки в одному із задалегідь відомих певних квантів.

Початкові умови моделювання припускають знаходження параметра, що досліджується, в нульовий момент часу в початковому стані.

$$P_1(0) = 1 \quad (6)$$

Результати [7; 10] дозволили визначити, що оптимальна кількість квантів марковського процесу  $N$  дорівнює 20. Така кількість квантів забезпечує достатню точність моделювання, при прийнятному використанні обчислювальних ресурсів. Величини квантів рівні між собою. Застосовується безрозмірна обмежена зверху одностороння область працездатності. У цьому випадку параметр, що визначає працездатність КС, може змінюватися в межах від 0 до 1. Також прийнято припущення, що часовий інтервал експлуатації, а отже, і часовий інтервал моделювання  $[0, 1]$ .

Розроблена математична модель дозволяє розрахувати ймовірність перебування параметра в певних квантах залежно від величини інтенсивностей переходу й поточного напрацювання (часу експлуатації) досліджуваної КС. Результати такого розрахунку дозволяють визначити математичне очікування параметра й показники надійності КС. На рис. 3 показані графік залежності математичного очікування досліджуваного параметра  $\tau$  від часу  $M^{\tau}=f(t)$ , а також графіки залежності ймовірності перебування досліджуваного параметра  $\tau$  в квантах марковського процесу від часу  $P^{\tau}=f(t)$  при інтенсивності переходу марковського процесу  $\eta=0,02$ .

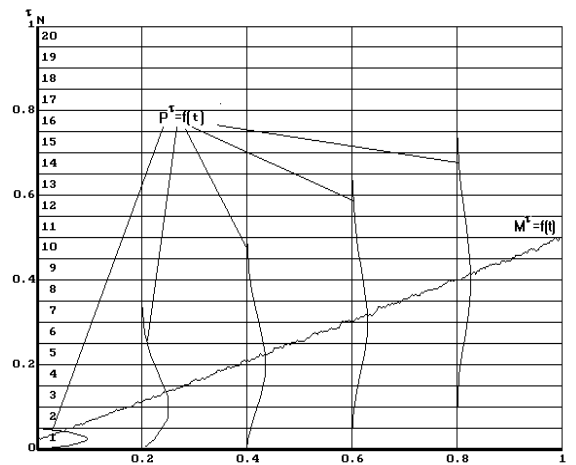


Рис. 3. Розмічений граф однорідної марковської моделі з послідовними переходами

Проведено моделювання динаміки досліджуваного параметра для інтенсивностей переходу  $\eta \in \{0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1\}$ .

Відповідні графіки залежностей математичного очікування досліджуваного параметра від часу експлуатації показано на рис. 4.

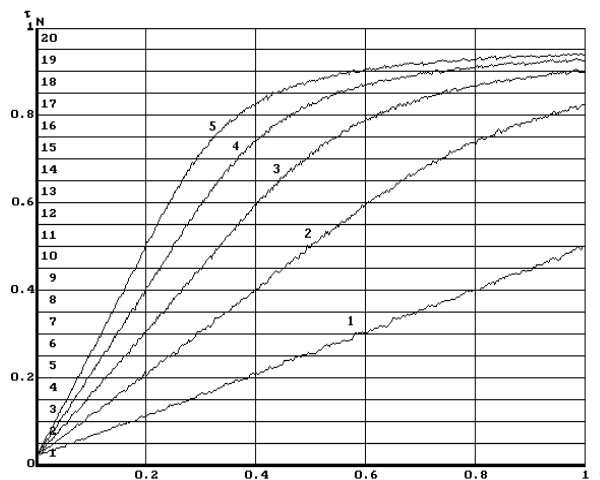


Рис. 4. Графіки математичного очікування параметра від часу експлуатації

**Висновки.** Побудова подібних залежностей для різних інтенсивностей переходу може стати основою для формування профілів нормальної поведінки КС. У результаті проведених досліджень обґрунтована можливість формування шаблонів нормальної поведінки мережеских об'єктів комп'ютерних систем на основі однорідного ланцюга Маркова з послідовними переходами. Розроблено структуру моделі, сформовано відповідне математичне забезпечення.

Також слід зазначити, що в багатьох випадках оцінити ймовірність кібератаки на КС за значенням одного, нехай навіть узагальнюючого параметра, досить важко. Зазвичай здійснення кібератаки пов'язано із синхронною зміною декількох параметрів. Таким чином, важливим напрямком подальших досліджень є розробка модельних залежностей спільної зміни параметрів, що визначають безпеку КС. Крім цього, розробка шаблонів нормальної поведінки КС недоцільна без обґрунтування номенклатури та методу оцінки контрольованих параметрів. Отже, ще одним важливим напрямком подальших досліджень має стати розробка системи вибору та оцінки параметрів безпеки КС.

### Список використаних джерел

1. Tereikovskiy I, Toliupa S., Parkhomenko I., Tereikovska L. «Markov Model of Normal Conduct Template of Computer Systems Network Objects». *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET-2018*, pp. 498–501.
2. Aitchanov B., Korchenko A., Tereikovskiy I., Bapiyev I. Perspectives for using classical neural network models and methods of counteracting attacks on network resources of information systems. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2017. Vol. 5, Number 425. Pp. 202-212.
3. Gamayunov D. Falsifiability of network security research: The good, the bad, and the ugly. In *Proceedings of the 1st ACM SIGPLAN Workshop on Reproducible Research Methodologies and New Publication Models in Computer Engineering, TRUST'14* (pp. 4:1–4:3). ACM New York, NY, USA, 2014.
4. Hu Z., Gnatyuk S., Koval O., Gnatyuk V., Bondarovets S. Anomaly Detection System in Secure Cloud Computing Environment. *International Journal of Computer Network and Information Security*. 2017. Vol. 9, № 4. Pp. 10-21.
5. Zhengbing H., Tereikovskiy I., Tereikovska L., Pogorelov V. Determination of Structural Parameters of Multilayer, 2017.
6. Toliupa S., Parkhomenko I. Data protection with intellectual support of organizational and technical and operational management. *Radio Electronics and Telecommunication*. 2016. № 3. Pp. 121-130.
7. Toliupa S., Parkhomenko I. The development of a process planning model of rational modular composition of the information protection systems. *Problems of Telecommunications*. 2016. № 3. Pp. 56–64.
8. Toliupa S., Druzhynin V., Parkhomenko I. Signature and statistical analyzers in the cyber attack detection system. *Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ)*. September 2018. № 3(02). Pp. 47-53.
9. Toliupa S., Nakonechnyi V., Uspenskyi O. Signature and statistical analyzers in the cyber attack detection system. *Information technology and security. Ukrainian research papers collection*. 2019. Vol. 7, Issue 1 (12). Pp. 69-79.
10. Mohammad Sazzadul Hoque, Md. Abdul Mukit, Md., Abu Naser Bikas. An implementation of intrusion detection system using genetic algorithm. *International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA)*. Sylhet, 2012. Vol. 4, No. 2. Pp. 109-120.
11. Analysis and Evaluation of Network-Based Intrusion Detection and Prevention System in an Enterprise Network Using Snort Freeware / O. B. Lawal [et al.]. *African Journal of Computing & ICT*. Ibadan, 2013. Vol. 6, No. 2. Pp. 169-18.

### References

1. Tereikovskiy, I, Toliupa, S., Parkhomenko, I., Tereikovska, L. (2018). Markov Model of Normal Conduct Template of Computer Systems Network Objects. *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering TCSET-2018* (pp. 498–501).
2. Aitchanov, B., Korchenko, A., Tereikovskiy, I., Bapiyev, I. (2017) Perspectives for using classical neural network models and methods of counteracting attacks on network resources of information systems. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 5(425), pp. 202-212.
3. Gamayunov, D. (2014). Falsifiability of network security research: The good, the bad, and the ugly. In *Proceedings of the 1st ACM SIGPLAN Workshop on Reproducible Research Methodologies and New Publication Models in Computer Engineering, TRUST'14* (pp. 4:1–4:3). ACM New York.
4. Hu, Z., Gnatyuk, S., Koval, O., Gnatyuk, V., Bondarovets, S. (2017). Anomaly Detection System in Secure Cloud Computing Environment. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 9(4), pp. 10-21.
5. Zhengbing, H., Tereikovskiy, I., Tereikovska, L., Pogorelov, V. (2017). *Determination of Structural Parameters of Multilayer*.
6. Toliupa, S., Parkhomenko, I. (2016). Data protection with intellectual support of organizational and technical and operational management. *Radio Electronics and Telecommunication*, (3), pp. 121-130.
7. Toliupa, S., Parkhomenko, I. (2016). The development of a process planning model of rational modular composition of the information protection systems. *Problems of Telecommunications*, (3), pp. 56–64.
8. Toliupa, S., Druzhynin, V., Parkhomenko I. (2018). Signature and statistical analyzers in the cyber attack detection system. *Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ)*, (3(02)), pp. 47-53.
9. Toliupa, S., Nakonechnyi, V., Uspenskiy, O. (2019). Signature and statistical analyzers in the cyber attack detection system. Information technology and security. *Ukrainian research papers collection*, 7(1(12)), pp. 69-79.
10. Mohammad Sazzadul Hoque, Md. Abdul Mukit, Md., Abu Naser Bikas (2012). An implementation of intrusion detection system using genetic algorithm. *International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA)*, 4(2), pp. 109-120.
11. Lawal, O. B. et al. (2013). Analysis and Evaluation of Network-Based Intrusion Detection and Prevention System in an Enterprise Network Using Snort Freeware. *African Journal of Computing & ICT*, 6(2), pp. 169-18.

UDC 004.056.5:004.7(083.94)

*Serhii Toliupa, Ivan Parkhomenko, Liudmyla Tereikovska, Volodymyr Kvasnikov*

### CONSTRUCTION OF CYBER ATTACK DETECTION SYSTEMS WITH THE HIDDEN MARKOV MODEL

*One of the most promising ways to improve the quality of data analysis is to use the anomaly detection method in network cyberattack detection systems. In this method, the work of data analyzers is based on the assumption that a sign of a cyberattack is a certain deviation of the controlled parameters of a computer system (CS) from the parameters that characterize the normal functioning of the network. The values of the monitored parameters under normal operating conditions are called patterns of normal behavior. That is why the choice or formation of such a template that would adequately reproduce the functional portrait of the network object of the CS and allow to determine the anomalous behavior of this object with a given accuracy is a very important task.*

*Massive cyberattacks initiate the creation of special technical solutions, means and systems of counteraction. To detect network intrusions, modern methods, models, tools and complex technical solutions for intrusion detection and prevention systems are used, which can remain effective when new or modified types of cyber threats appear. But in fact, when new threats and anomalies appear, generated by attacking actions with unidentified or vaguely defined properties, these tools do not always remain effective and require long time resources for their appropriate adaptation. Therefore, intrusion detection systems (IDSs) must be continually researched and improved to ensure their effective continuity.*

*The issue of security and protection of information systems (IS) has been studied by domestic and foreign researchers, some of them are T. Ptaceka, O. Camp, P. Albers, I. Tereikovskiy, A. Korchenko, V. Buryachok, V. Dudikevich and other. Undoubtedly, the relevant direction in the field of information security, which has intensive development, is the direction of detecting cyberattacks and protection against interference in the work of information systems by unauthorized parties. In addition, it should be noted that attacks on information systems are becoming more frequent, methods of their implementation are becoming more sophisticated, and the scale is increasingly global.*



*If we talk about intrusion and attack detection systems, then of course they have numerous flaws in terms of security solutions. In order to increase the efficiency of these systems, not only in terms of detecting harmful effects on protected objects of information systems infrastructure, but also it is necessary to take into account the factors of the daily operation of these tools. In addition, an important issue is economic efficiency, given the optimization of information resources of the owner of the protection system. One of the most effective methods for detecting intrusions and attacks is the method based on the signature approach. As for signature-based methods for identifying attacks, they form a set of rules or a formal model for describing attacks. Regarding the formal model, in this case it can use a character string and a semantic expression in a special language, etc. The main mechanism of the signature method is the use of signatures (a specialized database of certain patterns) of attacks. These signatures are used to search for actions that show signs of an "attack".*

*As a result of the research, the possibility of forming patterns of normal behavior of network objects of computer systems based on a homogeneous Markov chain with successive transitions has been substantiated. The structure of the model has been developed, a corresponding mathematical instruments have been formed.*

*An important area of further research is the development of model dependencies of the overall change in parameters that determine the safety of the CS. In addition, the development of patterns of normal behavior of the CS is inappropriate without substantiating the nomenclature and method for assessing the controlled parameters. So, another important area of further research should be the development of a system for selecting and assessing the safety parameters of the CS.*

**Keywords:** network cyberattack; computer system; information security; intrusion detection system; Markov chain; Markov process; Markov model; characteristic of security.

Fig.: 4. References: 11.

**Толупа Сергій Васильович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна).

**Toliupa Serhii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Cybersecurity and Information Protection department, Taras Shevchenko National University of Kyiv (60 Volodymyrska Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** tolupa@i.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1919-9174>

**SCOPUS authorID:** 57201779357

**Пархоменко Іван Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна).

**Parkhomenko Ivan** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Cybersecurity and Information Protection department, Taras Shevchenko National University of Kyiv (60 Volodymyrska Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** parkh08@ukr.net, parkh08@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6889-9284>

**Web of Science ResearcherID:** R-1283-2017

**SCOPUS authorID:** 57194039632

**Терейковська Людмила Олексіївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, Київський національний університет будівництва і архітектури (Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ, 03037, Україна).

**Tereikovska Liudmyla** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the department of information technologies of design and applied mathematics, Kyiv National University of Construction and Architecture (31 Vozdukhoflotsky Av., 03037 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** tereikovskal@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8830-0790>

**Web of Science ResearcherID:** V-7948-2018

**SCOPUS authorID:** 57198815503

**Квасніков Володимир Павлович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, Національний авіаційний університет (просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна).

**Kvasnikov Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of department Computerized electrical systems and technologies, National Aviation University (1 Lubomir Guzara Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** kvp@nau.edu.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3888-772X> або <https://orcid.org/0000-0002-6525-9721>

**SCOPUS authorID:** 56871189000

УДК 004.056:338

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-62-68

Іван Карпович, Олена Гладка, Юрій Бухало

**ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ І ОЦІНКИ РИЗИКІВ  
ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ**

Виконано моделювання, аналіз і оцінювання ризиків інформаційної безпеки на основі прикладних аспектів теорії графів в поєднанні з експертними методами оцінювання. Проаналізовано сучасні підходи до моделювання заходів та методики оцінки ризиків в інформаційній безпеці. Сформульовано рекомендації щодо підвищення ефективності системи захисту інформації. Запропонована модель може бути застосована на етапі аудиту безпеки організації для виявлення слабких місць системи захисту, а також для удосконалення діючої системи кіберзахисту.

**Ключові слова:** загроза; захист інформації; засоби захисту; аналіз ризиків інформаційної безпеки; експертне оцінювання; управління інформаційною безпекою; модель оцінки ризиків.

Рис.: 3. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Діяльність практично будь-якої організації чи підприємства пов'язана з необхідністю застосування сучасних технологій збору, опрацювання та зберігання інформації. У зв'язку з цим неминучі виникнення загроз інформаційній безпеці, які необхідно своєчасно усувати, щоб уникнути втрати цілісності, конфіденційності та доступності інформації і нанесення збитку діяльності організації. Зростання уваги до проблем захисту інформації зумовлене збільшенням кількості інцидентів, пов'язаних із втратою і розголошенням інформації чи втратою контролю над нею. Тому актуальним завданням є розробка фундаментальних основ інформаційної безпеки та проведення прикладних досліджень у цьому напрямку.

**Постановка проблеми.** У загальному вигляді предмет захисту інформації можна подати у вигляді наступної схеми (рис. 1), де взаємодія компонентів відбувається під впливом заходів із захисту інформації. Захист інформації поєднує в собі як застосування технічних засобів, так і проведення певного виду організаційних заходів.

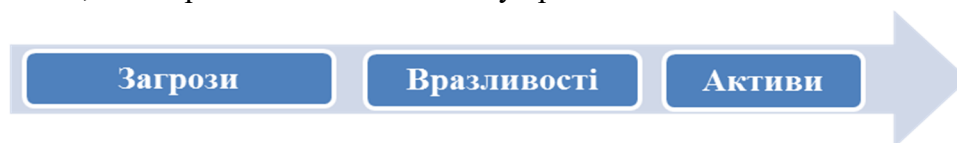


Рис. 1. Схема предмету захисту інформації

Створення системи інформаційної безпеки вимагає розв'язування задач, які спрямовані на захист як формалізованої, так і неформалізованої інформації. У першому випадку можна сформулювати і за допомогою методів теорії інформації розрахувати точні параметри, що відображають ступінь захищеності об'єкта або системи. Однак у другому випадку, а також для комплексної оцінки рівня захищеності нерідко доводиться застосовувати експертні методи оцінювання тих параметрів, які неможливо розрахувати за допомогою теоретико-інформаційного підходу. Загалом, моделювання заходів інформаційної безпеки повинно враховувати як наявність невизначеності, обумовленої відсутністю інформації або складністю системи, так і наявність інформації якісного характеру про систему [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінка ризиків інформаційної безпеки в проблемі управління на сьогодні – одна зі складних і актуальних задач. Складність полягає в тому, що відсутні загальноприйняті підходи і методики для оцінки ризиків. Фактори ризику (загроза, вразливість, збиток) аналізуються за допомогою евристичних методів, у результаті чого можна отримати дані, які значно відрізняються, якщо експертиза проводилася різними експертами [2]. Крім того, процедура оцінювання ризиків є трудомістким завданням. Проводити аналіз, застосовуючи офісні інструменти, завдання практично нездійсненне у зв'язку із великими обсягами інформації і ймовірністю отримати помилковий результат. Тому необхідно застосовувати сукупність методів аналізу та обробки інформації, що дозволяють оцінити ризики інформаційної безпеки й на основі отриманих даних здійснювати управління інформаційною безпекою.

Аналіз підходів до математичного моделювання систем захисту інформації показує, що широкого поширення набувають методи моделювання, які ґрунтуються на неформальній теорії систем: методи структурування, методи оцінювання та методи пошуку оптимальних рішень [3–6]. Методи структурування є розвитком формального опису, що поширюється на організаційно-технічні системи. Методи оцінювання дозволяють визначити значення характеристик системи, які не можуть бути виміряні або отримані з використанням аналітичних виразів чи в процесі статистичного аналізу (ймовірності реалізації загроз, ефективність елементів системи захисту та ін.). Комбінування перелічених методів дозволяє розширити можливості застосування формальних теорій для проведення повноцінного моделювання систем захисту.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Формування системи інформаційної безпеки об'єкта потребує вирішення низки завдань, пов'язаних з формалізованою інформацією – інформацією взаємодії у формі документів або обмінних сигналів технічних систем. У цьому випадку можна застосувати методи математичної теорії інформації і вдається сформулювати досить точні значення параметрів, що характеризують захищеність системи. Однак для повної оцінки захищеності ці параметри доводиться порівняти з оцінками зовнішнього впливу, інформація про який безпосередньо недоступна. Отримати таку оцінку можна лише експертним шляхом. Застосовувати методи теорії інформації в цьому випадку неефективно, тому що результат повністю визначається вхідними припущеннями, які формуються зазвичай довільно.

Одним із найважливіших етапів у процесі управління інформаційною безпекою є етап аналізу та оцінки ризиків інформаційної безпеки. Методики оцінки ризиків в інформаційній безпеці з'явилися для прогнозування можливого збитку, пов'язаного з реалізацією загроз, і, відповідно, оцінки необхідного обсягу інвестицій на створення систем захисту інформації. Кількісний розрахунок величини ризиків ускладнюється насамперед відсутністю достатнього обсягу статистичних даних про ймовірності реалізації тієї чи іншої загрози. У результаті значного поширення набула якісна оцінка інформаційних ризиків. Задача розрахунку можливого збитку й економічне обґрунтування розміру необхідних інвестицій в інформаційну безпеку для запобігання реалізації ризиків не втратила своєї важливості.

**Постановка завдання.** Управління інформаційною безпекою організації може бути реалізовано за допомогою математичного моделювання в поєднанні з експертними методами оцінювання. У цій роботі розглянуто методикку аналізу й оцінки ризиків інформаційної безпеки з використанням елементів теорії графів.

**Виклад основного матеріалу.** Математичне моделювання, як відомо, дозволяє отримати формальний опис системи та сформулювати в подальшому кількісні і якісні оцінки її показників. Для створення і дослідження систем захисту інформації використовують теорію випадкових процесів, теорію графів, теорію нечітких множин, теорію ігор, еволюційне моделювання тощо. Відмінності моделей здебільшого полягають у змісті й характеристиках вхідних і вихідних параметрів.

Ризик інформаційної безпеки будемо визначати як добуток фінансових втрат (збитків), пов'язаних з інцидентами безпеки, на ймовірності того, що вони будуть реалізовані [7]. Це визначення підходить при розгляді різних архітектур інформаційних систем. Інформація може існувати в різних формах. Але яких би форм інформація не набувала, вона завжди повинна бути захищена відповідним чином.

З погляду управління ризиками, оцінка ризиків інформаційної безпеки – це аналіз інформаційних систем і технологій, які систематично піддаються загрозам та наявним вразливостям, науковими методами і засобами. На підставі проведеного оцінювання потенційних збитків у разі загрозливих подій розгортаються контрзаходи проти загроз для запобігання чи врегулювання ризиків інформаційної безпеки, а також здійснюється контроль ризиків на прийнятному рівні таким чином, щоб максимально підтримати безпеку інформації.

Оцінювання ризиків інформаційної безпеки складається з трьох основних етапів: ідентифікація загроз, ідентифікація вразливостей, ідентифікація активів (рис. 2) [8]. Процес оцінки ризику інформаційної безпеки виглядає наступним чином:

- 1) визначення інформаційних активів, встановлення цінності активів;
- 2) аналіз загроз, визначення ймовірності загроз;
- 3) ідентифікація вразливостей інформаційних активів, визначення міри вразливості;
- 4) обчислення ймовірності настання події щодо реалізації загроз (використання вразливостей);
- 5) поєднуючи важливість інформаційних активів і можливість виникнення інцидентів, виконується розрахунок значення ризику інформаційної безпеки для інформаційного активу.

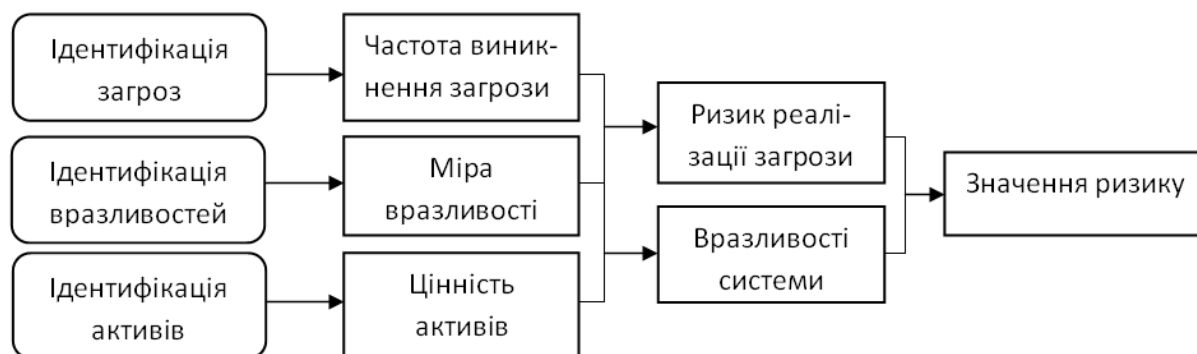


Рис. 2. Елементи оцінки ризиків інформаційної безпеки

Множина вразливостей  $V$  системи може бути подана у вигляді декартового добутку множини  $I$  рівнів порушників, які можуть реалізувати загрозу, і множини станів  $S$  системи, в яких вразливості існують:  $V \subseteq I \times S$ .

Відповідно до теорії графів [9], граф атаки – це граф, що представляє всі можливі послідовності дій порушника для реалізації загрози. Такі послідовності дій називають шляхами атак (рис. 3).

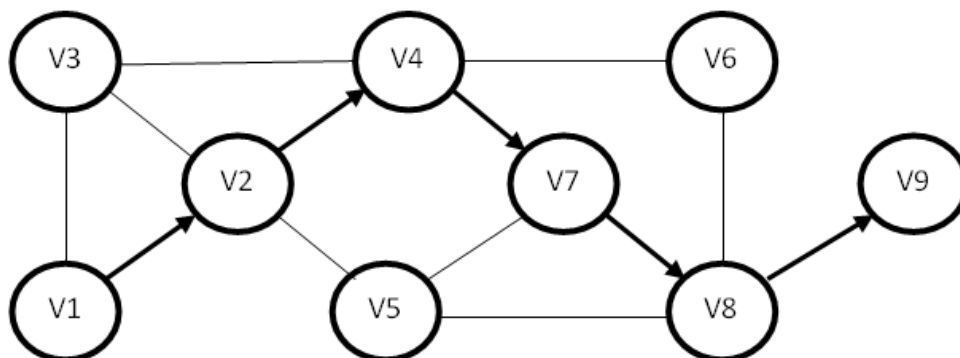


Рис. 3. Граф атаки

Під елементарної атакою (atomic attack) розуміють використання порушником вразливості. Прикладом елементарної атаки може бути, наприклад, переповнення буфера служби SSH, що дозволяє віддалено отримати права адміністратора системи тощо.

Розрізняють наступні види графів атак [10]:

- state enumeration graph (граф переліку станів) – у таких графах вершинам відповідають трійки  $(s, d, a)$ , де  $s$  – джерело атаки,  $d$  – мета атаки,  $a$  – елементарна атака (або використання вразливості); дуги позначають переходи з одного стану в інший;

- condition-oriented dependency graph (граф умово-орієнтованих залежностей) – вершинам відповідають результати атак, а дугам – елементарні атаки, що призводять до таких результатів;

- exploit dependency graph (граф реалізації залежностей) – вершини відповідають результатам атак або елементарним атакам, дуги відображають залежності між вершинами – умови, необхідні для виконання атаки, і наслідок атаки.

Побудований граф містить сценарії атак, які порушник може реалізувати. У результаті аналізу такого графа можна визначити [11]:

- перелік успішних атак, які не виявляються системою виявлення атак (вторгнень) IDS (англ. Intrusion Detection System);

- співвідношення реалізованих заходів безпеки й рівня захищеності мережі (інформаційної системи);

- перелік найбільш критичних вразливостей;

- перелік заходів, що дозволяють запобігти використанню вразливостей у програмному забезпеченні, для якого відсутні оновлення;

- мінімальна кількість заходів, реалізація яких зробить інформаційну систему чи мережу захищеною.

Систему захисту інформації, за аналогією з рис. 3, можна подати у вигляді орієнтованого графа  $G = (T, S)$ , де вершинами  $T = \{t_i\}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  будуть загрози активам з боку зловмисників, а дугами  $S$  – їх зв'язки [12]. Зауважимо, що загроза, розміщена в певній вершині графа, може бути спрямована як на один, так і на декілька активів; у свою чергу, один актив може бути розміщений своїми частинами в кількох вершинах. Дуга  $(t_k, t_{k+1})$  позначає зв'язок загрози  $t_k$  із загрозою  $t_{k+1}$ , ймовірна реалізація якої є прямим наслідком реалізації загрози  $t_k$ . Кожен зв'язок характеризується величиною ймовірності вибору зловмисником шляху реалізації пов'язаної загрози –  $p(t_k, t_{k+1})$ .

Відмітимо, що не всі загрози можуть бути реалізовані безпосередньо. Здійснення деяких атак стає можливим лише за умови реалізації “батьківських” загроз. Прикладом може служити несанкціонований доступ до конфіденційної інформації, що вимагає фізичного втручання в мережеву інфраструктуру. Множина загроз і зв'язків, а також їхні параметри визначаються експертним способом. Завдяки використанню такого набору даних і описаної структури з'являється можливість усунути недоліки моделі безпеки, в якій кожній загрозі протиставлено свій засіб захисту.

Кожній загрозі поставимо у відповідність параметри:

$\omega_i$  – частота виникнення загрози  $t_i$ ;

$p_i$  – ймовірність реалізації загрози, наприклад, унаслідок успішного використання деякої вразливості.

Спочатку за допомогою формули розрахунку вартості ризику обчислимо ймовірні втрати від реалізації окремих загроз:

$$R_i = \sum_{k=1}^{k1} \omega_i p_i d_i c(a_k), \quad (1)$$

де  $k1$  – кількість активів, на які спрямована загроза  $t_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;

$A_i$  – набір активів або ресурсів, на які спрямована загроза  $t_i$ ;

$c(a_k)$  – вартість активу  $a_k \in A_i$ .

Коефіцієнт пошкодження (руйнування)  $d_i \in [0; 1]$ , що виражає рівень руйнівної дії загрози  $t_i$  на актив чи активи [12], може служити критерієм відбору (селектором) тих активів, на які поширюється руйнівна дія загрози  $t_i$ .

Імовірні втрати від реалізації загроз, що реалізуються одна за одною на деякому шляху  $M(t_\alpha, t_\beta)$ , розраховуємо за формулою:

$$R_{M(t_\alpha, t_\beta)} = R_{t_\alpha} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r p(t_i, t_j) R_{t_j}, \quad (2)$$

де  $m, r$  – кількість “батьківських” і “дочірніх” загроз відповідно на шляху  $M(t_\alpha, t_\beta)$ .

Для  $t_i \in M(t_\alpha, t_\beta)$  знаходимо витрати на забезпечення захисту від реалізації загроз на шляху  $M(t_\alpha, t_\beta)$ :

$$F_{M(t_\alpha, t_\beta)} = \sum_{i=1}^n F_{t_i} \quad (3)$$

де  $F_{t_i}$  – витрати на забезпечення захисту від реалізації загрози  $t_i$ .

Далі виконується порівняння вартості ризику з витратами на забезпечення інформаційної безпеки і приймається рішення щодо цього ризику на основі відомих рекомендацій. Ризик може бути проігноровано, якщо його величина незначна, або визнано прийнятним, якщо  $R_{t_i} = F_{t_i}$ . Якщо  $R_{t_i} < F_{t_i}$ , можна оптимізувати витрати на засоби захисту. Ризик можна усунути, якщо є можливість відмовитися від використання активу, який піддається ризику або передати його третій стороні, наприклад, застрахувати. Якщо ж  $R_{t_i} > F_{t_i}$ , то ризик необхідно знижувати за рахунок впровадження нових засобів захисту.

**Висновки.** Використання моделі, що поєднує в собі застосування формальної математичної теорії і неформальних методів, зокрема, експертного оцінювання та пошуку оптимальних розв’язків, дозволить вирішити прикладну задачу з мінімізації ризиків можливих збитків у сфері інформаційної безпеки. Такі моделі можуть бути застосовані на етапі аудиту безпеки інформаційної системи чи мережі для виявлення слабких місць системи захисту і прогнозування дій порушника, а також для удосконалення діючої системи кіберзахисту підприємства чи організації. Хоча однією з основних цілей моделювання систем захисту інформації є створення найбільш ефективної системи. Оскільки абсолютно непереборного захисту створити не можна, необхідно дотримуватися балансу між витратами на захист і одержуваним ефектом, у тому числі економічним: пам’ятаючи, що вартість засобів захисту не повинна перевищувати вартості активів, досягнути максимально можливого зменшення втрат від порушення інформаційної безпеки.

#### Список використаних джерел

1. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах : учебник для вузов. Киев : Слово, 2008. 344 с.
2. Булдакова Т. И., Миков Д. А. Реализация методики оценки рисков информационной безопасности в среде Matlab. *Вопросы кибербезопасности*. 2015. № 4 (12). С. 53–61.
3. Карпович І. М., Гладка О. М., Наконечна Ю. А. Аналіз ризиків безпеки інформаційної системи ІТ-підприємства. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2020. Т. 31 (70), № 5. С. 69–74.
4. Герасименко В. А. Защита информации в автоматизированных системах обработки данных : в 2 кн. Москва: Энергоатомиздат, 1994.
5. Stepashko V., Bulgakova O., Zosimov V. Construction and research of the generalized iterative GMDH algorithm with active neurons. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer Verlag. 2018. Vol. 689. Pp. 492–510.

6. Шуляр С. Методи виявлення ризиків безпеки у життєвому циклі розробки ПЗ. *Прикладні науково-технічні дослідження* : матеріали V Міжнар. наук.-прак. конф., 5–7 квітня 2021 р. Івано-Франківськ, 2021. С. 96–98.

7. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві : монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 480 с.

8. Астахов А. Искусство управления информационными рисками. Москва : ДМК Пресс, GlobalTrust, 2006. 312 с.

9. Іглін С. П. Теорія графів : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. 146 с.

10. Jajodia S., Noel S. Managing Attack Graph Complexity Through Visual Hierarchical Aggregation. In *1st International Workshop on Visualization and Data Mining for Computer Security*, Washington, DC, USA. October 2004. Pp. 109–118.

11. Колегов Д. Н. Проблемы синтеза и анализа графов атак. URL: <https://www.securitylab.ru/contest/299868.php.%202007?R=1>.

12. Курилов Ф. М. Моделирование систем защиты информации. Приложение теории графов. *Технические науки: теория и практика* : материалы III Международ. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). Чита : Изд-во «Молодой ученый», 2016. С. 6–9.

### References

1. Zaichenko, Yu. P. (2008). *Nechetkie modeli i metody v intellektualnykh sistemakh [Fuzzy models and methods in intelligent systems]*. Slovo.

2. Buldakova, T. I., Mikov, D. A. (2015). Realizatsiia metodiki otsenki riskov informatsionnoi bezopasnosti v srede Matlab [Implementation of information security risk assessment methodology in Matlab environment]. *Voprosy kiberbezopasnosti – Cybersecurity issues*, (4(12)), pp. 53–61.

3. Karpovych, I. M., Hladka, O. M., Nakonechna, Yu. A. (2020). Analiz ryzykiv bezpeky informatsiinoi systemy IT-pidpriemstva [Analysis of security risks of information system of IT-enterprise]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky – Scientific notes of V. I. Vernadsky Tavriya National University. Series: Technical Sciences. K.: TNU. V. I. Vernadsky*, 31(70)(5), pp. 69–74.

4. Gerasimenko, V. A. (1994). *Zashchyta ynformatsyy v avtomatyzirovannyykh sistemakh obrabotky danniyakh [Information protection in automated data processing systems]*. Energoatomizdat.

5. Stepashko, V., Bulgakova, O., Zosimov, V. (2018). Construction and research of the generalized iterative GMDH algorithm with active neurons. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, (689), pp. 492–510.

6. Shulyar, S. (2021). Metody vyivlennia ryzykiv bezpeky u zhyttievomu tsykli rozrobky PZ [Methods for identifying security risks in the software development life cycle]. *Prykladni naukovotekhnichni doslidzhennia : materialy V Mizhnar. nauk.-prak. konf. – Applied scientific and technical research: materials V International scientific-practical Conf.* (pp. 96–98).

7. Vitlinsky, V. V., Velykoivanenko, G. I. (2004). *Ryzykologhiia v ekonomitsi ta pidpriemnystvii [Riskology in economics and entrepreneurship]*. KNEU.

8. Astakhov, A. (2006). *Iskusstvo upravleniia informatsionnyimi riskami [The art of information risk management]*. DMK Press, GlobalTrust.

9. Iglin, S. P. (2017). *Teoriia hrafiv [Theory of graphs]*. NTU “KhPI”.

10. Jajodia, S., Noel, S. (2004). Managing Attack Graph Complexity Through Visual Hierarchical Aggregation. In *1st International Workshop on Visualization and Data Mining for Computer Security* (pp. 109–118).

11. Kolegov, D. N. (2007). *Problemy sinteza i analiza grafov atak [Problems of synthesis and analysis of attack graphs]*. <https://www.securitylab.ru/contest/299868.php.%202007?R=1>.

12. Kurilov, F. M. (April, 2016). Modeling of information security systems. Graph theory application. *Technical sciences: theory and practice: materials III International scientific conf.* (pp. 6-9). Young Scientist Publishing.

UDC 004.056:338

*Ivan Karpovych, Olena Hladka, Yuriy Bukhalo***TECHNOLOGIES OF MODELING AND ASSESSMENT  
OF THE INFORMATION SECURITY RISKS**

*The growing focus on information security is due to the increasing number of incidents involving the loss and disclosure of information or the loss of control over it. Therefore, the urgent task is to develop the fundamentals of information security and applied research.*

*Today, the activities of almost any organization is associated with the need to use modern technologies for collecting, processing and storing information. This creates threats to information security, which must be addressed in a timely manner to avoid loss of integrity, confidentiality and availability of information.*

*Modern approaches to modeling measures and methods of risk assessment in information security are analyzed. The difficulty of qualitative assessment of information risks is that there are no generally accepted methods of such assessment. Risk factors analyzed by different experts using heuristic methods can differ significantly, and therefore the assessment of information security risks in the problem of management today is one of the most difficult and urgent tasks.*

*Information security management is implemented using mathematical modeling in combination with expert evaluation methods. The purpose of this work is to develop methods for analyzing and assessing information security risks using elements of graph theory.*

*We consider building a model that combines the application of formal mathematical theory and informal methods, in particular, expert evaluation and search for optimal solutions, which allows to solve the applied problem of minimizing the risk of possible damage in the field of information security. The proposed model can be used during the security audit of the organization to identify weaknesses in the security system, as well as to improve the existing cyber security system.*

*Based on the applied aspects of graph theory, modeling, analysis and assessment of information security risks are performed. Recommendations for improving the efficiency of the information protection system are formulated.*

**Keywords:** *threat; information protection; means of protection; information security risk analysis; expert evaluation; information security management; risk assessment model.*

*Fig.: 3. References: 12.*

**Карпович Іван Миколайович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики, Національний університет водного господарства і природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

**Karpovych Ivan** – PhD on Physics and Mathematics Science, Associate Professor, Assistant Professor in Department of Computer Technology and Economic Cybernetics, National University of Water and Environmental Engineering (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** karpivan@ukr.net

**Scopus Author ID:** 7005525002

**Гладка Олена Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики, Національний університет водного господарства і природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

**Hladka Olena** – PhD in Engineering Science, Associate Professor, Assistant Professor in Department of Computer Technology and Economic Cybernetics, National University of Water and Environmental Engineering (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** o.m.hladka@nuwm.edu.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4728-0663>

**ResearcherID:** AAE-3216-2019

**Scopus Author ID:** 57191967048

**Бухало Юрій Петрович** – здобувач вищої освіти, Національний університет водного господарства і природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

**Bukhalo Yuriy** – student, National University of Water and Environmental Engineering (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** bukhalo\_ak19@nuwm.edu.ua



УДК 004.031

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-69-80

*Артем Волокита, Володимир Русінов, Кирил Мугуєв***ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ ДЛЯ ТОПОЛОГІЇ ДЕ БРУЙНА  
НА ОСНОВІ КОЕФІЦІЄНТА ПОСЕРЕДНИЦТВА**

У статті розглянуто спосіб аналізу потенційних вразливих місць топологій при проектуванні відмовостійких систем на основі використання коефіцієнта посередництва. Розглянуто характеристики різних топологічних організацій на основі кодових перетворень Де Бруїна. Запропонований підхід, за рахунок оцінки ризиків відмов, може використовуватись для інших топологічних організацій з метою дослідження їх на відмовостійкість та з метою передбачення наслідків при одночасній відмові значних фрагментів топологій.

**Ключові слова:** граф де Бруїна; посередництво; відмовостійкість.

*Рис.: 9. Табл.: 12. Бібл.: 10.*

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні не існує універсального методу запобігання відмовам, тому приділяється додаткова увага створенню топологічних організацій з урахуванням відмовостійкості. Хоча такі методи існують та широко використовуються, рідше визначаються характеристики таких систем при відмовах деяких вузлів на вразливих ділянках. Запропонований метод дозволяє виокремити вузли, які мають найбільший вплив на характеристики системи. Ці вузли знаходяться під більшою загрозою, оскільки при атаках і виході з ладу, це призведе до швидкої деградації топології [1].

**Постановка проблеми.** Під час тривалої роботи високопродуктивної обчислювальної системи, деякі вузли починають відмовляти. Відмови в системі можуть призвести до непередбачуваних наслідків, якщо не було попередньо досліджено топологію системи. З іншого боку, повністю дослідити систему, враховуючи всі можливі комбінації відмов, на її характеристики дуже складно і займає досить довгий час, особливо якщо система використовує новітні рішення в ролі закладеної топології, а використання мережевих протоколів, які динамічно досліджують топологію системи, є досить затратним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Топологія – це одна з важливих складових проектування корпоративної комп'ютерної розподіленої системи, яка буде безпосередньо впливати на майбутню роботу всієї фінансової комп'ютерної системи організації. Тому питання відмовостійкості безпосередньо впливає на стабільність роботи всіх систем, у тому числі й системи управління фінансовою стійкістю підприємства з метою поліпшення його фінансового стану.

Сучасні суперкомп'ютери побудовані на основі різних топологій, таких як Dragonfly, Jellyfish та 6D-Torus. Dragonfly використовує підхід, який скорочує кількість кабелів для з'єднання кластерів, використовуючи спеціалізовані адаптивні маршрутизатори для розвантаження мережі [2]. Топологія Jellyfish має на меті розробку мережі з високою пропускнуною можливістю та горизонтальним масштабуванням, на основі базової топології випадкового графа. Така топологія проявила себе як більш придатна для дата-центрів, аніж топологія «товсте дерево» [3]. Найбільш швидкий сучасний суперкомп'ютер Fugaku використовує топологію 6DTor, яка дозволяє отримати більше паралельних маршрутів, що є важливим для забезпечення відмовостійкості обчислень [4; 5].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Топології на основі дебруїнівських зсувів раніше не досліджувались на їх відмовостійкість. Запропонований метод є відносно новим та пропонує замість вирішення задачі пошуку випадкового вузла, який може відмовити, змодельовати ситуацію атаки на систему, де під найбільшим ризиком знаходяться саме вузли посередники [1], які концентрують потоки даних між вузлами у високопродуктивних системах. Використовуючи алгоритм пошуку найкоротшого шляху Флойда-Воршелла, можна встановити, які саме вузли є посередниками.

**Мета статті.** Метою дослідження є розробка способу підвищення відмовостійкості топологічних організацій на основі використання коефіцієнта посередництва для пошуку найбільш вразливих вузлів в системі та дослідження впливу відмов таких вузлів на топологічні характеристики системи.

**Виклад основного матеріалу.** Розробка топологічної організації потребує дослідження її на відмовостійкість. Відмовостійкість враховує можливість відмови того чи іншого вузла, при цьому система загалом залишається працездатною, хоча і матиме дещо гірші показники. На відміну від мереж, розроблених на локальному рівні, наприклад домашня, офісна або університетська, високопродуктивні комп'ютерні системи мають досить складну структуру, та є сенс дослідити аналітично цю структуру перед її реалізацією. Розробка комп'ютерної системи, яка дозволяє організації підтримувати власні операційні процеси у стабільному стані навіть за умови понаднормової кількості відмов, є запорукою забезпечення існування організації в довгостроковій перспективі [6].

Для дослідження топології необхідно обрахувати її показники. До основних показників топологій будемо відносити кількість  $N$  вузлів топології, ступінь топології, діаметр топології, середній діаметр топології, топологічний трафік, вартість, а також мультиплікативний параметр  $SD$ . Характеристики топології розраховували за такими формулами:

Діаметр систем ( $D$ ) – це мінімальна відстань між двома максимально віддаленими процесорами.

Середній діаметр визначає середню відстань до будь-якого вузла та описується згідно з формулою:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} d_{ij}}{n \cdot (n-1)}.$$

Ступінь ( $S$ ) – характеристика визначається як максимальне число дуг (зв'язків) інцидентних вершині (процесору) у графі топології системи.

Вартість визначається за допомогою формули:

$$C = D \cdot n \cdot S.$$

Топологічний трафік описує ефективність використання зв'язків у системі й визначається згідно з формулою:

$$T = \frac{2\bar{D}}{S}.$$

Мультиплікативний параметр  $SD$  визначається за допомогою формули:

$$SD = S \cdot D.$$

Для оцінки відмовостійкості досліджуваної топології, введемо поняття коефіцієнт посередництва. Цей коефіцієнт вказує на кількість найкоротших шляхів між деякими двома вузлами в мережі. Теоретично, якщо відмовляє вузол, або декілька вузлів, з високим коефіцієнтом посередництва, алгоритм пошуку нового шляху має перерахувати новий найкоротший шлях, причому відстань цього шляху може бути вищою. Вузли з найбільшим показником коефіцієнта посередництва мають більш важливу роль у формуванні зв'язків з іншими вузлами в системі. Формула обрахунку коефіцієнта посередництва така [1]:

$$b_m = \sum_{i \neq j} \frac{B(i,m,j)}{B(i,j)},$$

де  $B(i, j)$  – загальна кількість найкоротших шляхів між вузлами  $i$  та  $j$  і  $B(i, m, j)$  – кількість найкоротших шляхів між  $i, j$  що проходить через вузол  $m$ . Враховуючи, що найкоротші маршрути можуть бути невідомими і в мережі використовується пошуковий алгоритм, тоді посередництво вузла може виражатись ймовірністю його знаходження за цим алгоритмом. Для цього вводиться поняття коефіцієнта переважання найбільшого посередника, який обчислюється згідно формули:

$$CPD = \frac{1}{n-1} \sum_i (B_{max} - B_i),$$

де  $B_{max}$  – найбільше значення коефіцієнта переважання найбільшого посередника [1].

Для пошуку шляху обрано алгоритм Флойда-Воршелла модифікований для запам'ятовування шляху між вершинами. Алгоритм Флойда-Воршелла порівнює всі можливі шляхи в графі між кожною парою вершин. Для деякого графу  $G(V, E)$  конструюємо матрицю відстаней, ставимо відстань усіх вершин до самих себе як 0. Шукаємо відстань від однієї вершини до іншої, та в окремій матриці відмічаємо вузол задіяний у пошуку найкоротшого шляху. Таким чином, на виході буде дві матриці: матриця відстаней між вершинами та матриця посередництва. Для розглянутих топологій на другому кроці масштабування, вершини-посередники помічені зеленим кольором [7].

Синтез топології здійснюється за допомогою дебруйнівських зсувів, але дещо інакше реалізовані. Було встановлено, що топологія, отримана на зсувах де Бруйна з використанням надлишкового коду, має кращі характеристики та кращу відмовостійкість. Використовуючи цей підхід, можна розробити топологічну організацію, на основі двійкової, трійкової та квартернарної системи числення та додаткового коду.

Перший варіант – двійковий надлишковий Де Бруйн. При формуванні нової послідовності, старша цифра витискається (зникає), молодша цифра після зсуву отримує значення 0,1 або T, яке має значення -1. Отримані таким чином вузли мають зв'язок з вузлом, від номера якого зроблено зсув. Як приклад візьмемо наступну таблицю формування послідовності де Бруйна для тризначних чисел [8; 9].

На рис. 1-3 зображені топологічні організації для різних систем зчислення. Для наглядності вузли 0-кластера продубльовано на рисунках. Таке графічне дублювання дозволяє більш наглядно показати принцип міжкластерності. Також зазначимо, що отримані топології не використовують приховані «квантові» зв'язки [10]. Тому запропоновані графи можна розглядати, як класичні графи де Бруйна в різних системах зчислення.

У табл. 1 показано формування зв'язків між вузлами топології. Зв'язки отримуємо за допомогою зсуву вліво. Місце молодшого біта займає новий біт із трьома значеннями: 0,1,T.

Таблиця 1. Таблиця формування дебруйнівських послідовностей

<b>Номер вузла</b>	<b>00</b>			<b>01</b>			<b>0T</b>		
Зв'язки	00	01	0T	10	11	1T	T0	T1	TT
<b>Номер вузла</b>	<b>10</b>			<b>11</b>			<b>1T</b>		
Зв'язки	00	01	0T	10	11	1T	T0	T1	TT
<b>Номер вузла</b>	<b>T0</b>			<b>T1</b>			<b>TT</b>		
Зв'язки	00	01	0T	10	11	1T	T0	T1	TT

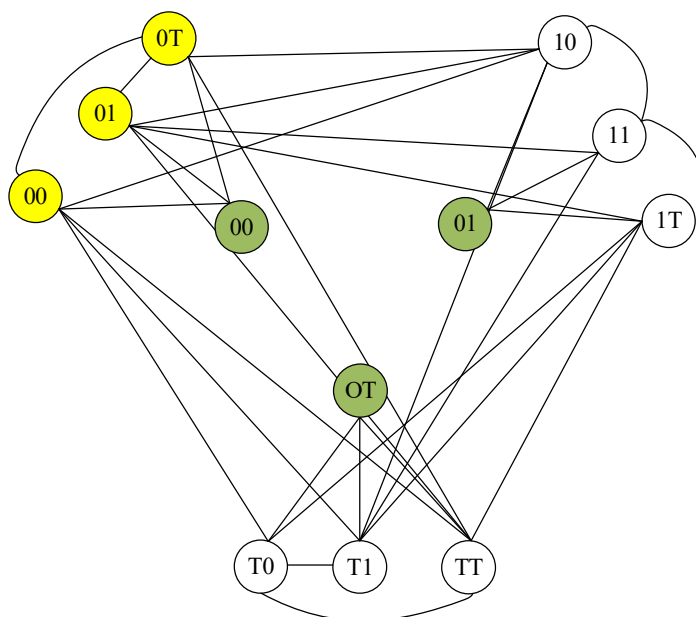


Рис. 1. Кластер для двійкової надлишкової системи 01T. Топологія А

На рис. 1 зображено топологію з 9 вершинами. Вузли виділені зеленим кольором (00, 01, 0T) схематично продубльовано, тому в моделюванні обчислюється характеристики топологій без врахування «зелених» вузлів, а лише з «жовтими» вузлами.

Таблиця 2. Таблиця топологічних характеристик топології А на перших 5 кроках масштабування

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
3	1	3	1	9	0.67	3
9	2	5	1.41667	90	0.5667	10
27	3	6	2.07692	486	0.6923	18
81	4	6	2.83333	1944	0.9444	24
243	5	6	3.6738	7290	1.2246	30
729	6	6	4.57224	26244	1.52408	36
2187	7	6	5.50623	91854	1.83541	42

Як видно з табл. 2, топологічний графік зростає майже лінійно, що дозволяє проектувати топології з прийнятним рівнем ступенів вузлів.

Таблиця 3. Таблиця вузлів зі значенням коефіцієнта посередництва

Код вузла	Номер вузла	Кількість найкоротших шляхів через вузол	Коефіцієнт посередництва
0T	-1	10	0.2778
00	1	4	0.1111
01	0	10	0.2778
1T	1	10	0.2778
10	2	10	0.2778
11	3	4	0.1111
TT	-3	4	0.1111
T0	-2	10	0.2778
T1	-1	10	0.2778

У табл. 3 показано кількість найкоротших шляхів через кожен вузол топології, а також коефіцієнт посередництва для відповідного вузла. Таким чином, ми можемо виділити вузли, через які проходить найбільша кількість маршрутів. Тому потенційно ці вузли повинні бути більш захищеними, можливо з використанням механізмів резервування.

Другий варіант топології використовує трійкову систему числення та надлишковий код. В основі закладено наступні числа: 0, 1, 2, T, Z, де T – має значення -1 та Z має значення -2. Таких зсувів достатньо багато, тому є сенс надати лише фрагмент таблиці, для ознайомлення з принципом.

Таблиця 4. Фрагмент таблиця формування дебруїнівських послідовностей

<b>Номер вузла</b>	<b>00</b>					<b>01</b>					<b>0T</b>				
Зв'язки	00	01	02	0T	0Z	10	11	12	1T	1Z	T0	T1	T2	TT	TZ
<b>Номер вузла</b>	<b>10</b>					<b>11</b>					<b>1T</b>				
Зв'язки	00	01	02	0T	0Z	10	11	12	1T	1Z	T0	T1	T2	TT	TZ
<b>Номер вузла</b>	<b>T0</b>					<b>T1</b>					<b>TT</b>				
Зв'язки	00	01	02	0T	0Z	10	11	12	1T	1Z	T0	T1	T2	TT	TZ

У табл. 4 показано формування зв'язків між вузлами топології. Зв'язки отримуємо за допомогою зсуву вліво. Місце молодшого біту займає новий біт з трьома значеннями: 0,1,2,T,Z.

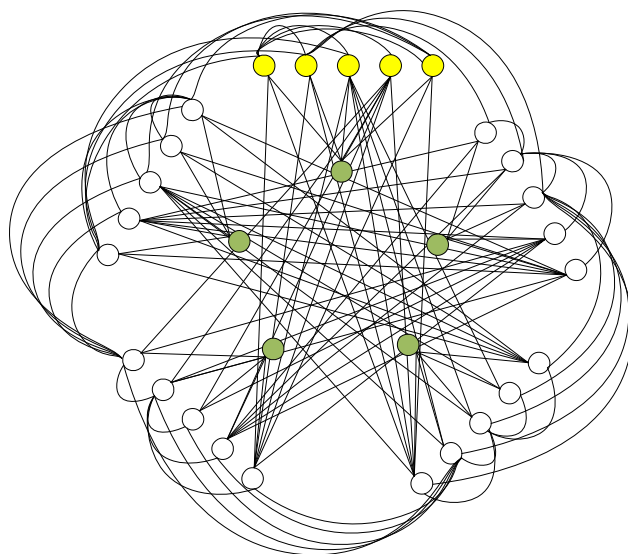


Рис. 2. Кластер для трійкової надлишкової системи 012TZ. Топологія B

На рис. 2 зображено топологію з 25 вершинами. Вузли виділені зеленим кольором (00, 01, 02, 0T, 0Z) схематично продубльовано, тому в моделюванні обчислюється характеристики топологій без врахування «зелених» вузлів, а лише з «жовтими» вузлами.

Таблиця 5. Таблиця топологічних характеристик топології B на перших 5 кроках масштабування

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
5	1	5	1.0	25	0.4	5
25	2	9	1.63333	450	0.36296	18
125	3	10	2.47097	3750	0.49419	30
625	4	10	3.37795	25000	0.67559	40
3125	5	10	4.33399	156250	0.8668	50

Як видно з табл. 5, топологічний трафік аналогічно як в топології А топологічний трафік зростає лінійно, але починаючи з меншого значення. Також ступінь топології В – 10 в порівнянні з топологією А – 6.

Таблиця 6. Таблиця вузлів зі значенням коефіцієнта посередництва

Код вузла	Номер вузла	Кількість найкоротших шляхів через вузол	Коефіцієнт посередництва
0Z	-2	50	0.1667
0T	-1	50	0.1667
00	0	24	0.08
01	1	50	0.1667
02	2	50	0.1667
1Z	0	50	0.1667
1T	1	50	0.1667
10	3	50	0.1667
11	4	24	0.08
12	5	50	0.1667
2Z	4	50	0.1667
2T	5	50	0.1667
20	6	50	0.1667
21	7	50	0.1667
22	8	24	0.08
TZ	-5	50	0.1667
TT	-4	24	0.08
T0	-3	50	0.1667
T1	-2	50	0.1667
T2	-1	50	0.1667
ZZ	-8	24	0.08
ZT	-7	50	0.1667
Z0	-6	50	0.1667
Z1	-5	50	0.1667
Z2	-4	50	0.1667

У табл. 6, аналогічно до табл. 3, показано кількість найкоротших шляхів через кожен вузол топології, а також коефіцієнт посередництва для відповідного вузла. Видно, що з ростом кількості вершин у топології кількість найкоротших шляхів також збільшується, проте загальна кількість зростає швидше за квадратичною формулою.

Розглянемо останній варіант топології на основі кватернарної системи числення та дебруйнівських зсувів. Таким чином, під час зсуву числа, на останню позицію може бути записане числа 0,1,2,3,T,Z,E. T – має значення -1, Z – має значення -2, E – має значення -3.

Таблиця 7. Деякі коди вузлів при формування дебруйнівських послідовностей

Номер вузла	E0								ET					
	00	01	02	03	0T	0Z	0E	T0	T1	T2	T3	TT	TZ	TE
Зв'язки	00	01	02	03	0T	0Z	0E	T0	T1	T2	T3	TT	TZ	TE
Номер вузла	00								0T					
	00	01	02	03	0T	0Z	0E	T0	T1	T2	T3	TT	TZ	TE
Зв'язки	00	01	02	03	0T	0Z	0E	T0	T1	T2	T3	TT	TZ	TE
Номер вузла	20								2T					
	00	01	02	03	0T	0Z	0E	T0	T1	T2	T3	TT	TZ	TE
Зв'язки	00	01	02	03	0T	0Z	0E	T0	T1	T2	T3	TT	TZ	TE

У табл. 7 показано фрагмент побудови дебруйнівських послідовностей, тобто які зв'язки можна отримати для деяких тризначних чисел.

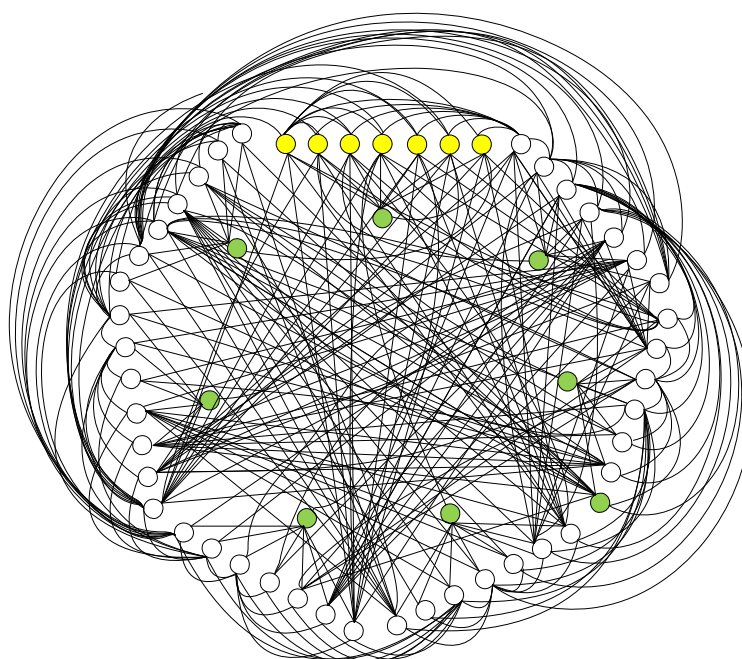


Рис. 3. Кластер для четвіркової надлишкової системи 0123TZE. Топологія С

На рис. 3 зображено топологію з 49 вершинами. Вузли виділені зеленим кольором (00, 01, 0Т, 02, 0Z, 03, 0E) схематично продубльовано, тому в моделюванні обчислюється характеристики топологій без врахування «зелених» вузлів, а лише з «жовтими» вузлами.

Таблиця 8. Таблиця топологічних характеристик топології С на перших 5 кроках масштабування

К-сть вузлів	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
7	1	7	1.00000	49	0.29	7
49	2	13	1.73214	1274	0.26648	26
343	3	14	2.63909	14406	0.37701	42
2401	4	14	3.59177	134456	0.51311	56
16807	5	14	4.57424	1176490	0.65346	70

З табл. 8, видно що остання топологія має схожі характеристики з першими двома топологіями, але ступінь вищий за топологію В на 4. У порівнянні з таблицями 2 і 5, використання більшої системи зчислення дозволяє розробити топологію з більшою кількістю вершин при однаковому діаметрі, проте жертвуючи ступіню.

Таблиця 9. Таблиця вузлів зі значенням коефіцієнта посередництва

Код вузла	Номер вузла	Кількість найкоротших шляхів через вузол	Коефіцієнт посередництва
1	2	3	4
0E	-3	122	0.1037
0Z	-2	122	0.1037
0T	-1	122	0.1037
00	0	60	0.0510
01	1	122	0.1037
02	2	122	0.1037
03	3	122	0.1037
1E	1	122	0.1037
1Z	2	122	0.1037

Закінчення табл. 9

1	2	3	4
1T	3	122	0.1037
10	4	122	0.1037
11	5	60	0.0510
12	6	122	0.1037
13	7	122	0.1037
2E	5	122	0.1037
2Z	6	122	0.1037
2T	7	122	0.1037
20	8	122	0.1037
21	9	122	0.1037
22	10	60	0.0510
23	11	122	0.1037
3E	9	122	0.1037
3Z	10	122	0.1037
3T	11	122	0.1037
30	12	122	0.1037
31	13	122	0.1037
32	14	122	0.1037
33	15	60	0.0510
TE	-7	122	0.1037
TZ	-6	122	0.1037
TT	-5	60	0.0510
T0	-4	122	0.1037
T1	-3	122	0.1037
T2	-2	122	0.1037
T3	-1	122	0.1037
ZE	-11	122	0.1037
ZZ	-10	60	0.0510
ZT	-9	122	0.1037
Z0	-8	122	0.1037
Z1	-7	122	0.1037
Z2	-6	122	0.1037
Z3	-5	122	0.1037
EE	-15	60	0.0510
EZ	-14	122	0.1037
ET	-13	122	0.1037
E0	-12	122	0.1037
E1	-11	122	0.1037
E2	-10	122	0.1037
E3	-9	122	0.1037

Тенденція, яку ми підкреслили в таблицях 3 і 6, зберігається і для останньої топологічної організації. Можна помітити, що використання надлишкових кодів створює умови, за яких кількість альтернативних найкоротших маршрутів однакова для більшості вузлів, що важливо при проектуванні відмовостійкої топологічної організації.

**Результати.** Робимо видалення вершин, симулюючи відмови вузлів у системі. Першими відмовляють вершини з найбільшим показником коефіцієнта посередництва і так поки не відмовить 10 % з усіх вузлів, які працюють у системі. У ролі досліджуваних топологій використані вищеописані топології, які використовують двійковий, трійковий та кватернарний надлишковий дебруйнівський код. У табл. 10-12 представлені значення характеристик для топологій без відмов, на точках де значно змінюються характеристики та з відмовою 10 % вузлів.



Таблиця 10. Характеристика топології А (01Т)  
при зростанні кількості відмов вузлів-посередників

К-сть відмов	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
0	7	6	5.50623	91854	1.83541	42
15	8	6	5.5189	104256	1.83963	48
21	9	6	5.52433	116964	1.84144	54
92	10	6	5.61364	125700	1.87121	60
210	11	6	5.80115	130482	1.93372	66
219	11	6	5.8164	129888	1.9388	66

Таблиця 11. Характеристика топології В (ZT012A)  
при зростанні кількості відмов вузлів-посередників

К-сть відмов	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
0	5	10	4.33399	156250	0.8668	50
13	6	10	4.33707	186720	0.86741	60
98	7	10	4.36586	211890	0.87317	70
183	8	10	4.39902	235360	0.8798	80
313	8	10	4.48885	224960	0.89777	80

Таблиця 12. Характеристика топології С (EZT0123)  
при зростанні кількості відмов вузлів-посередників

К-сть відмов	Діаметр	Ступінь	Середній діаметр	Ціна	Топологічний графік	SD
0	4	14	3.59178	134456	0.51311	56
18	5	14	3.59189	166810	0.5136	70
82	6	14	3.59521	194796	0.51591	84
176	7	14	3.61135	218050	0.52322	98
295	7	14	3.66253	211680	0.52925	98

Відповідно до отриманих результатів, можна побачити, що для отримання значно гірших топологічних показників необхідно, щоб відмовило хоча б 7 вузлів, при цьому, якщо відмовляють наступні 8 вузлів, характеристики ще більше погіршуються. Отже, можна стверджувати, що пошук цих вузлів важливий для підтримання характеристик та продуктивності системи.

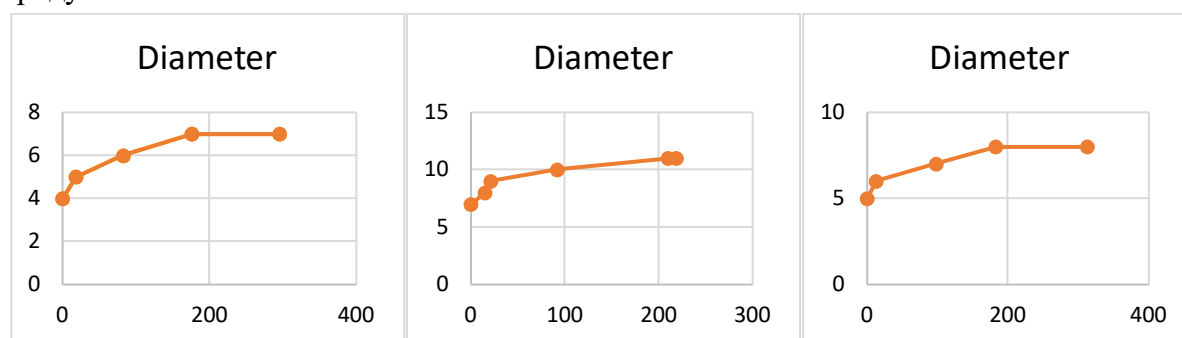


Рис. 4. Залежність діаметра від кількості атакованих вузлів. Топології А, В, С

Як видно з діаграм на рисунку, діаметри усіх топологій значно змінюються при відмові вузлів з найбільшими показниками коефіцієнта посередництва.

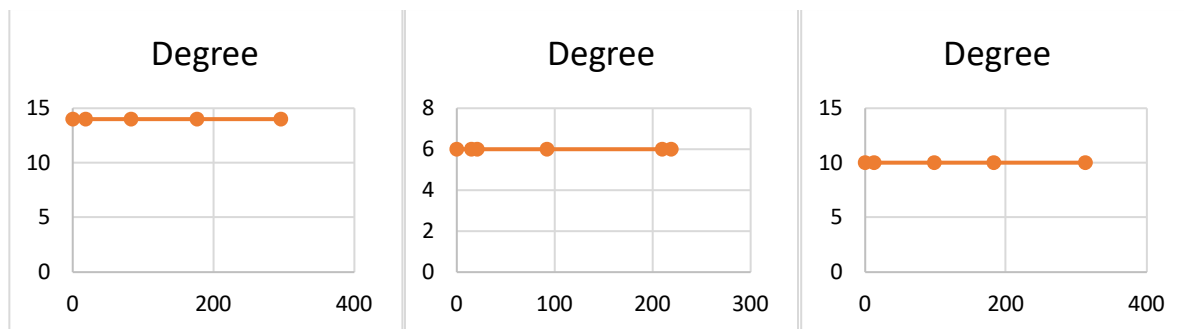


Рис. 5. Залежність ступеня від кількості атакованих вузлів. Топології А, В, С.

Проте потенційна відмова 10 % вузлів жодним чином не впливає на ступінь системи загалом.

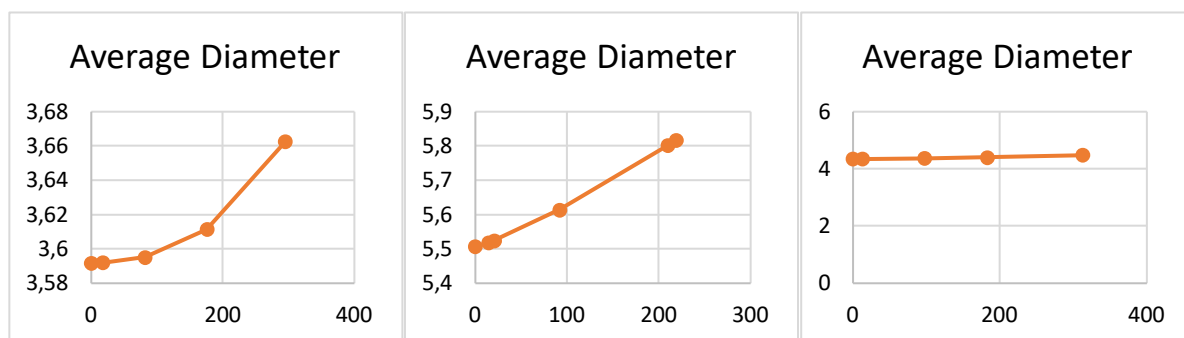


Рис. 6. Залежність середнього діаметра від кількості атакованих вузлів. Топології А, В, С

Середній діаметр збільшується на 2 % для першої топології, на 5,3 % для другої топології, на 3,6 % для третьої топології.

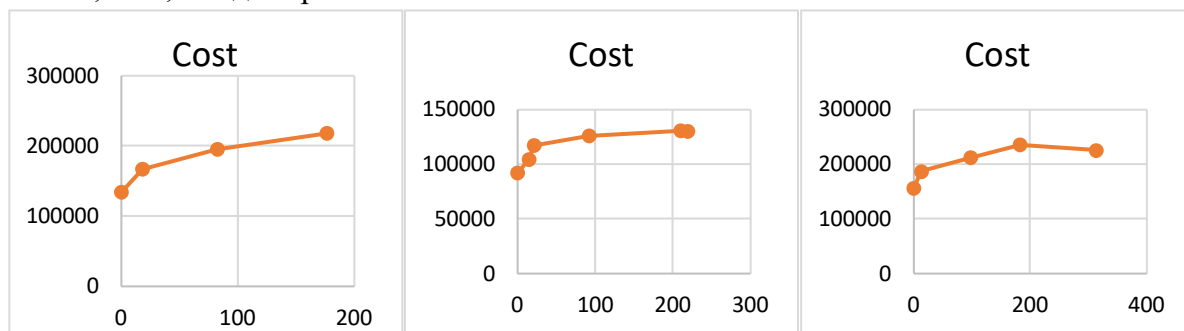


Рис. 7. Залежність ціни від кількості атакованих вузлів. Топології А, В, С

Ціна залежить від діаметру та кількості вершин, тому на графіках спостерігаються тенденції, схожі з графіками діаметра.

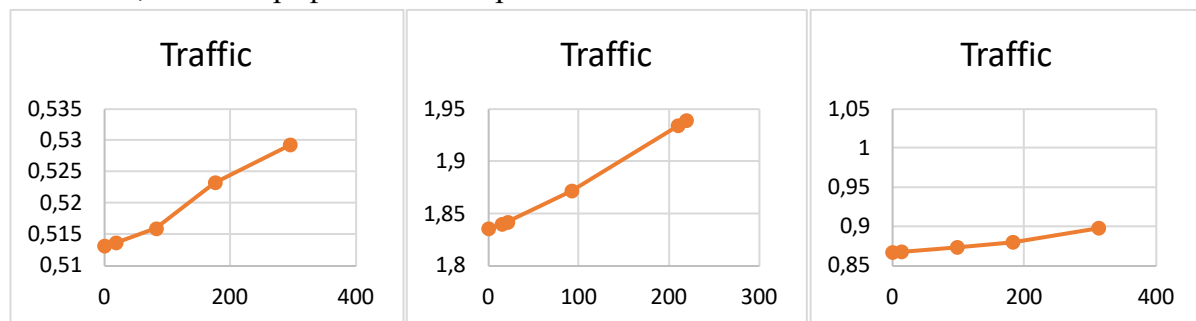


Рис. 8. Залежність топологічного трафіку від кількості атакованих вузлів. Топології А, В, С

Трафік для кожної топології зростає із відмовами вузлів із найбільшим коефіцієнтом посередництва. Для першої топології цей ріст становить 3 %, для другої 5,3 %, для третьої 3,5 %.

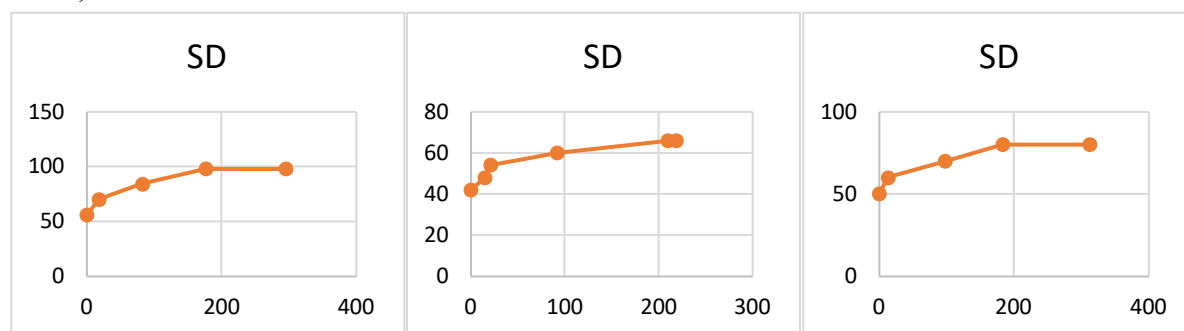


Рис. 9. Залежність мультиплікативного параметру SD від кількості атакованих вузлів. Топології A, B, C

Мультиплікативний параметр SD має такий же ріст, як і діаметр, оскільки на всій досліджуваній ділянці ступінь залишається сталою.

**Висновки.** Досліджувані топології були розроблені з урахуванням відмовостійкості, тому при проведенні експериментів, тому потрібно досить багато відмов в вузлах посередників, щоб значно погіршились характеристики. Незважаючи на атаку на 10 % вузлів з найвищими показниками посередництва в системі, показники топологічного трафіку та середнього діаметра залишались схожими до початкових. Але діаметр таких систем значно зростає, разом з ним і мультиплікативний параметр SD. Значний ріст діаметру призводить до більших затримок у мережі та до потреби в розробці програм з урахуванням більшої затримки. Тому можна зазначити, що запропонований метод пошуку вершин посередників виявився ефективним у пошуку вразливих вершин.

У ролі можливої модифікації є аналіз найкоротших шляхів для встановлення вузлів посередників у топологіях з прихованими зв'язками. Іншим напрямом може бути розробка топологічних організацій з урахуванням посередництва і використання додаткових вузлів на цих вразливих ділянках.

#### Список використаних джерел

1. Додонов А. Г., Ландэ Д. В. Живучесть информационных систем. Киев: Наук. думка, 2011. 256 с.
2. Kim J., Dally W. J., Scott S., & Abts D. Technology-driven, highly-scalable dragonfly topology. *In 2008 International Symposium on Computer Architecture. IEEE.* 2008, June. Pp. 77-88.
3. Singla A., Hong C. Y., Popa L., & Godfrey P. B. Jellyfish: Networking data centers randomly. *In Presented as part of the 9th {USENIX} Symposium on Networked Systems Design and Implementation ({NSDI} 12).* 2012. Pp. 225-238.
4. The tofu interconnect D. / AJIMA, Yuichiro, et al. *In 2018 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER).* IEEE 2018. Pp. 646-654.
5. Ajima Y., Inoue T., Hiramoto S., & Shimizu T. Tofu: Interconnect for the K computer. *Fujitsu Sci. Tech. J.* 2012. Vol. 48(3). Pp 280-285.
6. Партин Г. О., Дідух О. В. Особливості впливу основних чинників на фінансову стійкість підприємства в умовах фінансово-економічної кризи. *Збірник науково-технічних праць Національного лісотехнічного університету України.* 2010. № 10. С. 276-279.
7. HOUGARDY, Stefan. The Floyd–Warshall algorithm on graphs with negative cycles. *Information Processing Letters.* 2010. Vol. 110.8-9. Pp. 279-281.
8. Olexandr G., Rehida P., Volokyta A., Loutskii H., Think V.D. Routing Method Based on the Excess Code for Fault Tolerant Clusters with InfiniBand. *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2020. Vol. 938. Springer, Cham.

9. Loutskii, H., Volokyta, A., Rehida, P., Goncharenko, O. Using excess code to design fault-tolerant topologies. *Technical sciences and technologies*. 2019. № 1(15). Pp. 134–144. DOI: [https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1\(15\)-134-144](https://dx.doi.org/DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1(15)-134-144).

10. Loutskii H., Volokyta A., Rehida P., Honcharenko O., Ivanishchev B., Kaplunov A. Increasing the fault tolerance of distributed systems for the Hyper de Bruijn topology with excess code. *2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. Kyiv, 2019, pp. 1-6. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030487.

UDC 004.031

*Artem Volokyta, Volodymyr Rusinov, Kyryl Muhuiev*

## FAULT TOLERANCE EXPLORATION FOR DE BRUIJN TOPOLOGY BASED ON BETWEENNESS COEFFICIENT

*Today there is no universal method of fault prevention, therefore additional attention is devoted to creating topological organizations with fault tolerance in mind. Although such methods exist and are used widely, parameters of such systems are less often determined during faults of some nodes on vulnerable sites. This proposed method lets us outline nodes that have the most influence on the parameters of the system. These nodes are under greater threat because attacks and faults lead to faster degradation of topology.*

*During extended workloads of a highly productive computer system, some nodes begin to fault, which influences the efficiency of the system and its parameters unsuspectedly.*

*At this moment there is a set of articles devoted to the analysis of different topologies that are used in modern supercomputers, and there are also articles devoted to fault tolerance in such systems. Topologies, based on De Bruijn shifts, have not been researched for their fault tolerance by finding mediator nodes that concentrate flows of data between nodes.*

*The research task is to develop a method to increase the fault tolerance of topological organizations based on the use of betweenness coefficient to find the most vulnerable nodes in the system and research the influence of faults of such nodes on topological parameters of the system.*

*This article describes the synthesis of three topologies based on De Bruijn shifts and excessive codes and their usage in the context of financial security, and an algorithm for finding the shortest paths and system parameters change after faults of mediator nodes.*

*An analysis of the system parameters is performed for up to 10% of faults. Conclusions are drawn for the usage of this synthesized topologies in the context of changes in topological characteristics in case of failure of key nodes are made.*

**Keywords:** *de Bruijn graph; betweenness; fault tolerance.*

*Fig.: 9. Table: 12. References: 10.*

**Волокита Артем Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Volokyta Artem** – PhD in Technical Science, Associate Professor of Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [artem.volokita@kpi.ua](mailto:artem.volokita@kpi.ua)

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9069-5544>

**Scopus Author ID:** 54421406500

**Русінов Володимир Володимирович** – студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Rusinov Volodymyr** – Student, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [volodymyr.r.v@ukr.net](mailto:volodymyr.r.v@ukr.net)

**Мугуєв Кирил Андрійович** – студент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна).

**Muhuiev Kyryl** – Student, Department of Finance, Taras Shevchenko National University of Kyiv (60 Volodymyrska Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [Kirill.muguev@gmail.com](mailto:Kirill.muguev@gmail.com)

УДК 62-503.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-81-86

*Наталія Літвінова, Максим Альперт, Андрій Погульський***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБМІНУ ДАНИМИ СУТНОСТЕЙ У РЕЛЯЦІЙНОМУ ПРЕДСТАВЛЕННІ ТА ЇХ ОБРОБКИ**

*У роботі розглянуто спосіб підвищення ефективності обміну структурованими даними, який може застосовуватися під час розробки програмного забезпечення. Як засоби вирішення проблеми представлено власний формат серіалізації даних, спеціально розроблений з врахуванням специфіки сутностей у реляційній моделі, та механізм програмної обробки даних при десеріалізації, що дозволяє значно підвищити продуктивність роботи застосунку. Фактичним результатом дослідження є побудова концепції експериментального формату та варіант реалізація запропонованого методу обробки даних.*

**Ключові слова:** обмін даними; програмна обробка даних; формат серіалізації; реляційне представлення.

*Рис.: 1. Бібл.: 7.*

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні організації, діяльність яких пов'язана зі сферою товарів та послуг, активно користуються досягненнями технічного розвитку по всьому світу. Сфера розробки програмного забезпечення набула широкого поширення в сучасному житті для всіх напрямків бізнесу. Воно застосовується як для ведення внутрішнього діловодства, так і для просування своєї діяльності на ринку, наприклад, у цілях маркетингу або заради надання зручного способу взаємодії для клієнтів. На сьогодні провідні компанії замовляють інформаційні системи для клієнтів, такі як CRM, програмне забезпечення для управління бізнес-процесами – ERP – та програми на основі робочих процесів.

Якою б не була мета застосунку, будь-яке програмне забезпечення передбачає передачу даних, значна частина з яких зазвичай зберігається в базах даних (БД). З огляду на це забезпечення ефективної передачі та обробки даних є наріжним каменем як для настільних систем, так і для розподілених систем, вебзастосунків та застосунків із мікросервісною архітектурою, які становлять більшу частину ринку програмного забезпечення.

**Постановка проблеми.** Для вирішення багатьох задач сучасні системи проєктуються не монолітами, а комплексом із декількох різних незалежних частин, які прийнято називати компонентами, або сервісами в мікросервісній архітектурі. До того ж у наш час навіть простим застосункам здебільшого доводиться звертатися до сторонніх сервісів для отримання даних через API. Дуже часто взаємодія між компонентами однієї системи або навіть різними взаємопов'язаними системами відбувається за допомогою мережі, наприклад через HTTP, де дані передаються між сокетатами. Такий спосіб взаємодії використовує переважна більшість веб-застосунків.

Як відомо, під час процесу обміну даними головними проблемами з погляду програмістів є: великий обсяг даних, що передаються у пакеті, особливо, якщо йдеться про передачу об'єктів з БД (тут мається на увазі надлишковість), а також можливість швидкої обробки прийнятих даних у програмі для забезпечення найкоротшого часу відгуку на запит користувача. Саме ці аспекти є частиною досліджуваної в межах цієї роботи тематики.

Таким чином, у статті розглянута раніше не висвітлена проблема підвищення ефективності передачі даних сутностей у реляційному представленні та їх обробки з погляду програмної інженерії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивченню технологій забезпечення обміну даними було присвячено багато як вітчизняних [1], так і закордонних публікацій [2; 3], проте в них відсутні дослідження шляхів підвищення ефективності обробки даних. Також серед останніх публікацій у відкритому доступі не знайдено новітніх рішень для вирішення питання зменшення обсягу даних, що передаються між програмними компонентами.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на численні публікації, в яких вивчаються існуючі формати обміну даними, досі не запропоновано рішення, яке б дозволило покращити обмін даними, які представляють сутності у реляційній моделі. Також недостатньо уваги приділено питанню підвищення ефективності

обробки даних всередині програми. Ця стаття, зокрема, присвячена вирішенню проблеми невідповідності використання існуючих форматів для обміну такими даними через надмірність обсягу пакетів, що передаються через мережу між комп'ютерними процесами, а також можливих шляхів ефективної обробки цих даних всередині програми.

**Мета статті.** Основною метою роботи є представлення покращеного порівняно з існуючими аналогічними рішеннями формату серіалізації для обміну структурованими даними, зокрема, що мають реляційне представлення. Так, на заміну загальноприйнятих форматів обміну даними (XML, JSON, Protocol Buffers тощо) тут пропонується власний двійковий формат. Також надано опис реалізації методу програмної обробки даних, який дозволяє значно підвищити продуктивність роботи програмного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу.** Наявні в наш час формати серіалізації створювалися як універсальний засіб передачі даних різної структури між програмними компонентами, у мережі, тому вони не є ефективним рішенням для передачі великої кількості об'єктів, що мають спільну структуру. Зважаючи на те, що найпопулярнішим зовнішнім джерелом збереження даних по наш час залишаються реляційні бази даних [4], існує необхідність опрацювати питання підвищення ефективності обміну між програмними компонентами даними, які відповідають реляційній моделі.

Для вирішення описаної проблеми було прийнято рішення створити новий експериментальний формат серіалізації даних, який був би більш пристосований під конкретну обрану модель даних. Так, за своїм призначенням розроблений формат передбачає застосування для реляційних сутностей, представлених у об'єктоорієнтованій парадигмі.

Відомо, що існує два способи представлення серіалізованих даних форматами: текстовий та двійковий (бінарний). Текстовий формат ще прийнято називати *human-readable*, тобто той, який зрозумілий звичайній людині, а дані, представлені у двійковому форматі, з першого погляду неможливо просто так «прочитати». Очевидно, що «читабельність» текстового формату є його сильною стороною, адже не доведеться писати додаткові інструменти для налагодження введення та виводу, а достатньо просто відкрити серіалізований вивід даних за допомогою текстового редактора та перевірити чи має він правильний вигляд. Проте двійковий формат має інші не менш значущі переваги [5].

Можна виділити такі основні його плюси:

- зазвичай потребує менше циклів процесора;
- може давати значно менші результати, якщо більшість чисел великі або коли нема необхідності кодувати двійкові результати текстово.

У власному форматі було вирішено застосовувати двійкове представлення даних.

**Методика вирішення проблеми.** Оскільки в цій роботі вирішується спеціалізоване питання — передача даних, що мають реляційне представлення, під час розробки концепції нового формату серіалізації даних ключовими ідеями для мінімізації потоку даних, що передається, стали наступні:

- позбутися дублювання спільної інформації для об'єктів (наприклад, такої, як назви властивостей), яка зазвичай повторюється для кожного об'єкта у відомих форматах;
- розмістити пов'язану, тобто не основну інформацію щодо об'єктів, у кінці повідомлення, так щоби надати можливість використання безпосередньо самого об'єкта одразу, без необхідності очікування, поки завантажаться другорядні пов'язані з ним менш важливі дані;
- при можливості зменшити кількість значень властивостей об'єкта, що передаються, шляхом виключення з потоку «нульових» властивостей, тобто відсутніх даних у конкретному об'єкті.

Звісно, економія обсягу даних, що передаються, здатна показати максимальний результат при умовах серіалізації деякої кількості об'єктів, які мають реляційне представлення, тобто для таких об'єктів, чия структура визначена спільною схемою. За цих умов чим більше об'єктів ми будемо серіалізувати, тим більший вииграш може дати використання такого формату, тобто порівняно з існуючими форматами, цей дозволяє зекономити для кожного об'єкта обсяг даних, який буде передаватися.

*Реалізація.* Предметом використання розробленого формату даних є будь-який програмний продукт, виконаний у об'єктно орієнтованій парадигмі, в якому певній сутності БД співвідноситься відповідний програмний тип даних. Тоді усі об'єкти конкретного типу для передачі даних можуть бути згруповані по відповідним контейнерам – наборам даних, які для зручності далі будемо називати «джерело даних», а кожне джерело даних представляється за допомогою розробленого формату.

Загальна структура поточної версії формату для обміну даними зображена на рис. 1. Як видно, структуру формують сегменти підпису, метаданих та даних.

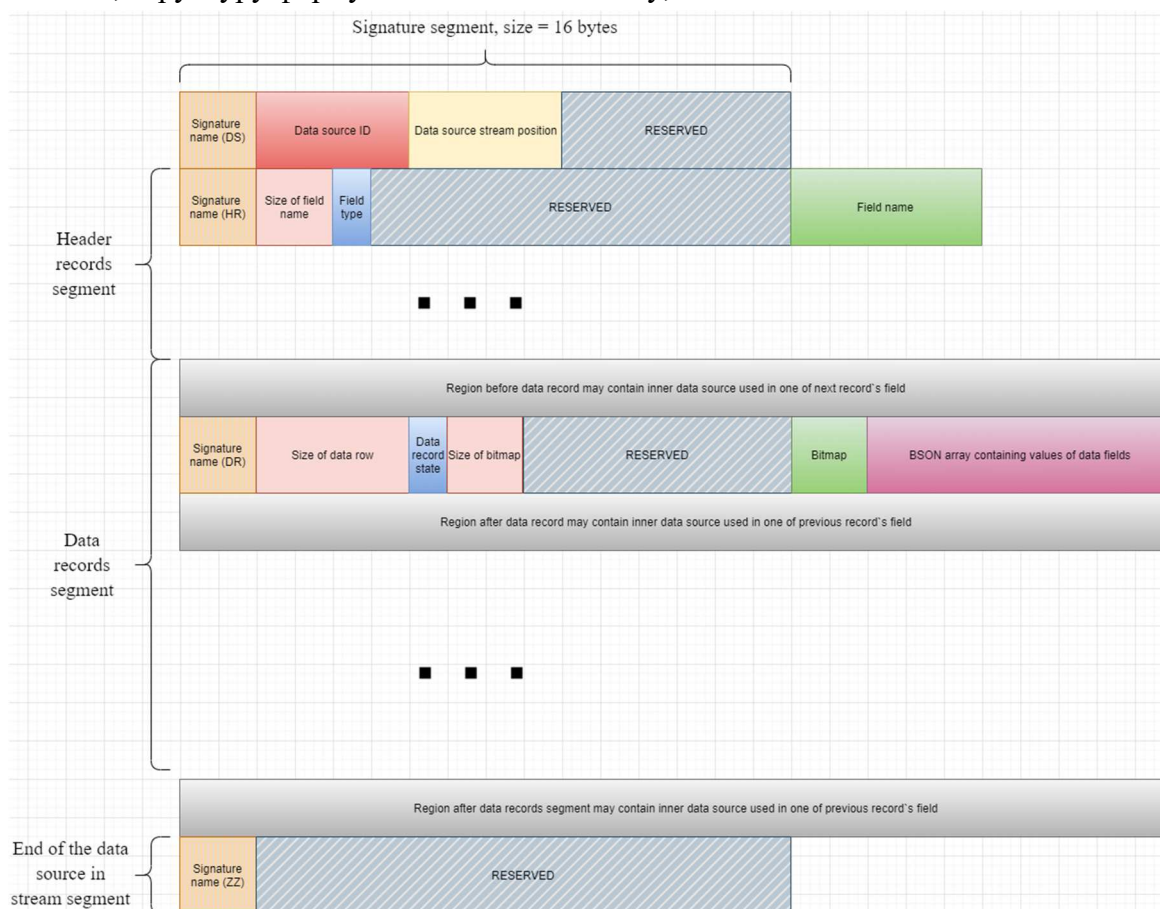


Рис. 1. Структура формату даних

Як видно з рисунку, на початку кожного логічного блока у сегменті обов'язково зазначається його тип (на рисунку він позначений як «Signature type»), що ідентифікує призначення відповідного блока. Так, наразі виділено чотири типи логічно виділених блоків:

- DS (Data Source) означає початок нового джерела з даними, який представляє собою контейнер для сутностей однієї структури (схеми);
- HR (Header Row) — опис структури об'єктів цього джерела;
- DR (Data Row) — значення одного об'єкта;
- ZZ сигналізує про кінець конкретного потоку джерела з даними.



Варто зазначити, що кожне джерело даних зберігає в собі схему відповідної сутності, яка описується за допомогою заголовків, які будемо називати терміном «header record», а також самі дані – значення властивостей об'єктів певного типу, для яких введемо термін «data record».

Маємо, що на відміну від таких популярних форматів, як XML та JSON, де назви властивостей об'єктів повторюються для кожного об'єкта, у цьому форматі опис властивостей подібних сутностей зазначається лише один раз, а безпосередньо самі дані по кожному окремому об'єкту – сегмент data record-ів – слідує один за одним одразу за сегментом header record-ів. Саме це допомагає значно зменшити обсяг даних, а також пам'ять і час передачі пакетів, якщо йдеться про «спілкування» у мережі між різними сервісами. По суті, ці показники є найбільш критичними для передачі даних через HTTP.

На початку потоку, що відповідає джерелу, розміщено сегмент підпис (на рисунку позначений як «Signature segment») — це 16-байтові блоки, що містять опис відповідної одиниці. Залежно від типу блоку тут може розміщуватися різноманітна службова інформація: ідентифікатор, інформація про тип, розмір та інше. Підпис «веде» будь-який блок даних або метаданих, на рисунку він зображений перший згори.

Якщо рухатися вниз по рисунку, далі представлено сегмент header record-ів. Як вже було згадано, він містить опис схеми конкретного типу (сутності); кожен рядок у сегменті метаданих представляє специфікацію поля даних, яке відповідає властивості відповідної реляційної сутності. У підписі header record-а міститься назва поля даних та тип даних, за допомогою якого можна визначити, чи ця властивість представляє собою скалярне (просте) значення, чи є посиланням на інший набір даних (джерело), за ним — власне ім'я описаної в цьому рядку властивості об'єкта.

Після цього, далі у форматі, розміщено сегмент data record-ів, який включає в себе довільну кількість рядків, що містять безпосередньо значення полів, описаних у метаданих, тобто значення властивостей об'єктів обраної сутності. Так, один рядок даних (data record) складається з таких елементів:

у підписі:

- загальний розмір даних об'єкта, тобто розмір bson-масиву, розміщеному в кінці рядку;
- розмір bitmap — спеціальної структури, яка описує присутні в об'єкті властивості зі схеми;

за підписом:

- сам bitmap: один біт відповідає за якесь одне поле, описане у схемі джерела (0 означає відсутність значення, 1 – присутність), дозволяється не писати замикаючі нулі;
- bson-масив, у якому відповідно до зазначено у bitmap порядку слідує значення властивостей.

Біля data record-ів можна спостерігати видовжені сірі блоки. Вони означають, що у відповідних місцях можливі вкладені набори даних інших сутностей, тобто джерела для пов'язаних об'єктів (для не скалярних властивостей об'єкта).

Заштриховані на рисунку блоки сірого кольору з написом «RESERVED» означають, що це місце у підписі блока наразі зарезервоване (визначена кількість байт) і може бути використане для майбутніх потреб.

Якщо вести мову про самі дані об'єктів, то в поточній версії формату вони розташовані у спеціальному JSON-масиві, що має двійковий формат. Цей масив містить значення властивостей об'єкта в строгому порядку, заданому метаданими. З метою зменшення обсягу передачі даних кількість полів даних, описаних у bitmap-структурі, і відповідно кількість розташованих у масиві значень полів, може бути меншою, ніж це заявлено в метаданих, що дозволяє позбутися необхідності передавати порожні або неіснуючі значення.



Іншим засобом для покращення ефективності роботи застосунків є розроблений метод обробки серіалізованих відповідно до даного формату даних. Він надає можливість обробки даних одночасно декількома потоками, що у перспективі здатне значно пришвидшити роботу багатопотокових систем з використанням такого формату. Його реалізація розроблена за допомогою високорівневої мови програмування C#, на платформі .NET Core [6], а в якості джерела даних для тестування було обрано систему керування базами даних PostgreSQL [7]. Для пояснення принципу роботи розробленого методу розглянемо, що відбувається з заповненням відповідно до вищеописаного методу потоком даних, який передається мережею.

Так, дані з потоку зчитуються по логічним блокам та поступово записуються у відповідний об'єкт для взаємодії у кодї, назвемо його відповідно до введених раніше термінів Джерело. Джерело містить зв'язаний список, де зберігає всі завантажені в нього дані сутностей. Щойно з потоку було зчитано новий логічний блок з даними та передано Джерелу, Джерело за допомогою System.Threading.Monitor блокує свій список для додання нових даних (Enter). Коли список готовий, Джерело повідомляє всім потокам, які зчитують з нього дані, що можна продовжувати роботу (Pulse) та розблоковує список (Exit). Відповідно усі потоки, які очікували нових даних (Wait), «прокидаються» та здійснюють далі свою роботу.

Для механізму паралельного зчитування було розроблено Курсор. Він повертається Джерелом при ініціюванні читання та використовується для переміщення по даним, запам'ятовує останню позицію у списку даних для кожної задачі-читача. Один курсор може використовуватися декількома потоками, які між собою розділяють задачу читання.

*Результати.* Представлений у статті формат серіалізації даних для сутностей, що мають реляційне представлення, виділяється серед існуючих провідних аналогів. Згідно з проведеними тестами завдяки використанню описаного формату обсяг даних, що передаються між програмними компонентами, за останніми підрахунками можна зменшити у середньому приблизно до 20-30 % порівняно з існуючими популярними текстовими форматами. Поточна версія реалізації обміну даними за допомогою цього формату була розроблена на платформі .NET Core та спроектована таким чином, що передбачає можливість паралельної обробки даних, які надходять з мережі, що є важливим чинником для пришвидшення швидкодії та підвищення загальної продуктивності роботи програмного забезпечення.

**Висновки.** У межах цієї статті були запропоновані засоби для підвищення ефективності обміну даними сутностей, що мають реляційне представлення: спеціально розроблений формат серіалізації даних та метод програмної обробки. Це дозволяє підвищити продуктивність програмних продуктів та має позитивний вплив на витрати підприємств, пов'язані з передачею та обробкою даних застосунком, що стосуються як апаратного забезпечення, так і необхідних комп'ютерних потужностей.

Підвищення ефективності обміну даними у програмних системах — значущий крок для покращення економічності та швидкодії під час обміну даними в мережі.

#### Список використаних джерел

1. Андрущенко Р. Порівняльний аналіз показників ефективності методів серіалізації даних у комп'ютерних мережах. *Технічні науки та технології*. 2019. № 15(1). С. 115-126.
2. Maeda K. Performance evaluation of object serialization libraries in xml, json and binary formats. *Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP)*. 2012. Pp. 177-182.
3. Simec A., Maglicic M. Comparison of JSON and XML Data Formats. *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*. 2014. Pp. 272-275.
4. 2019 Database Trends – SQL vs. NoSQL, Top Databases. URL: <https://scalegrid.io/blog/2019-database-trends-sql-vs-nosql-top-databases-single-vs-multiple-database-use>.
5. Marshall C. What's This "Serialization" Thing All About? *C++ FAQ*, 2015. URL: <https://web.archive.org/web/20150405013606/http://isocpp.org/wiki/faq/serialization>.
6. NET | Free. Cross-platform. Open source. URL: <https://dotnet.microsoft.com>.
7. PostgreSQL: The world's most advanced open source relational database. URL: <https://www.postgresql.org>.

## References

1. Andrushchenko, R. (2019). Porivnialnyi analiz pokaznykiv efektyvnosti metodiv serializatsii danykh u kompiuternykh merezhakh [Comparative analysis of the performance characteristics of data serialization methods in computer networks]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 15(1), pp. 115-126.
2. Maeda, K. (2012). Performance evaluation of object serialization libraries in xml, json and binary formats. *Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP)*, pp. 177-182.
3. Simec, A., Maglicic, M. (2014). Comparison of JSON and XML Data Formats. *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, pp. 272-275.
4. 2019 Database Trends – SQL vs. NoSQL, Top Databases. <https://scalegrid.io/blog/2019-database-trends-sql-vs-nosql-top-databases-single-vs-multiple-database-use>.
5. Marshall C. What's This "Serialization" Thing All About? *C++ FAQ, 2015*. <https://web.archive.org/web/20150405013606/http://isocpp.org/wiki/faq/serialization>.
6. .NET | Free. Cross-platform. Open source. <https://dotnet.microsoft.com>.
7. PostgreSQL: The world's most advanced open source relational database. <https://www.postgresql.org>.

UDC 62-503.5

Nataliia Litvinova, Maksym Alpert, Andrii Pohulskyi

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF DATA EXCHANGE OF ENTITIES IN RELATIONAL REPRESENTATION AND THEIR PROCESSING

Nowadays, the area of software development has become widespread among all areas of business, so it is important to ensure high efficiency of applications. Due to the fact that data operating is an integral part of any program, the question how to increase the efficiency of data transmission and processing appeared.

Existing technologies for data exchange are designed primarily to meet the criteria of universality and clarity, but these technologies turn out to be redundant or insufficient for software products operating data in relational representation.

Many domestic and foreign publications have been devoted to the study of data exchange formats, but all lack research on ways to improve the efficiency of software data processing. Also, the public domain doesn't contain any latest publications solving the issue of reducing the amount of data being transmitted between software components. Improving the efficiency of exchange of data in relational representation, using a specially designed data serialization format and method of processing.

The article is devoted to presenting own improved data serialization format for data exchange of entities in relational representation, as well as providing a method of software data processing, which can significantly increase productivity.

This paper reveals the problem of exchanging data in relational representation and the disadvantages of using existing serialization formats for transferring relational objects in software systems. The explanation to the decision proposed here is given with the help of the description of the applied technique for problem solving, the graphic scheme of the data format designed and an example of program realization.

The actual result of the study is the construction of the concept of own experimental data serialization format as a way to partially solve the problem described and a detailed description of its structure. The article also describes the .NET Core implementation of the proposed method of efficient processing of data retrieved as a result of deserialization from the format presented.

The following tools to improve the efficiency of data exchange for entities with a relational representation were proposed in the article: a specially developed data serialization format and the method of its software processing.

**Keywords:** data exchange; software data processing; serialization format; relational representation.

Fig.: 1. References.: 7.

**Літвінова Наталія Олександрівна** — студентка-магістрантка, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Litvinova Nataliia** — master student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** natalsha07@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8079-7328>

**Альперт Максим Іоганович** — студент-магістрант, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Alpert Maksym** — master student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**Погульський Андрій Миколайович** — студент-бакалавр, Коледж інженерії та управління Національного авіаційного університету (вул. Метробудівська, 5-а, м. Київ, 03065, Україна).

**Pohulskyi Adrii** — bachelor- student, College of Engineering and Management of the National Aviation University (5-a Metrobudivska Str., 03065 Kyiv, Ukraine).

УДК 004.056.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-87-95

*Ігор Меліхов, Володимир Базилевич***ЗАХИСТ АЛГОРИТМІВ І ДАНИХ НА СТОРОНІ КЛІЄНТА**

*Захист даних та алгоритмів є важливою складовою розробки програмного забезпечення. Не завжди є можливість використати сервер як надійне сховище даних та алгоритмів, тому існує необхідність детального вивчення та розробки способів захисту даних та алгоритмів на стороні клієнта.*

*У статті розглянуто прийоми захисту даних з використанням програмних засобів різних операційних систем та програмних платформ. Розроблений алгоритм захисту даних використовує симетричне шифрування AES та різноманітні способи генерації ключа для забезпечення створеної програми від зворотної розробки.*

**Ключові слова:** захист даних; захист алгоритмів; симетричне шифрування; обфускація; безпека через неясність.

*Бібл.: 21.*

**Актуальність теми дослідження.** У сучасному світі захист інформації є важливим завданням. Щороку науковці та фахівці з кібербезпеки розробляють нові алгоритми та способи захисту даних, а криптоаналітики та реверс-інженери знаходять способи їх обійти.

Найбільш надійним (і рекомендованим у переважній більшості випадків) способом захисту алгоритмів і даних є зберігання їх на стороні сервера. Звичайно, отримати віддалений доступ до сервера можливо, але це зазвичай набагато складніше і, відповідно, дорожче, аніж отримати дані на стороні клієнта. Однак бувають випадки, коли зберігати дані або виконувати алгоритми на сервері неможливо або незручно. У таких випадках виникає необхідність захисту на стороні клієнта з використанням принципу безпеки через неясність [1]. Це означає, що система може мати недоліки, проте зловмисники не зможуть ними скористатися, оскільки вони про них не знають.

Щоб реалізувати такий захист у власній системі, необхідно розуміти, які прийоми та технології можуть бути використані для цього, та за якими принципами створюються алгоритми такого захисту.

Прикладами задач, що можуть використовувати захист на стороні клієнта, можуть бути: захист комерційно важливих алгоритмів, зберігання логінів та паролів у браузерях, зберігання даних кредитних карт, шифрування конфіденційних листів та інших файлів, збільшення надійності технічних систем захисту авторських прав (англ. DRM – digital rights management), захист алгоритмів, що стосуються монетизації програм та відеоігор, зокрема покупок у застосунку або інтеграції рекламних мереж тощо.

**Постановка проблеми.** На жаль, досі не існує ґрунтовного дослідження питання захисту даних та алгоритмів на стороні клієнта, тож у цій роботі будуть сформульовані основні принципи побудови такого захисту.

Будемо вважати аксіомою те, що будь-які дані та алгоритми на стороні клієнта можливо отримати, яким би чином вони не були захищені. Тим не менш, можливо захистити дані так, щоб складність несанкціонованого доступу до них була вищою за потенційну вигоду від цього. Отже, щоб обрати спосіб захисту даних на стороні клієнта, слід врахувати цінність даних та алгоритмів, визначити умовну вартість несанкціонованого доступу до них та порівняти ці значення. Наприклад, якщо в однокористувацькій комп'ютерній відеогрі є можливість купувати ігрову валюту за реальні кошти, дані про ігрову валюту варто захистити, щоб зменшити ймовірність втрати прибутку. Проте захист принципово нового алгоритму програми, через розкриття якого компанія може понести значні збитки, вимагає набагато складніших підходів. Отже, важливо розуміти, наскільки надійним та складним у реалізації є той чи інший спосіб захисту даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість останніх досліджень і публікацій у сфері захисту алгоритмів та даних пов'язана із захистом даних на стороні сервера. Тим не менше, ведуться окремі дослідження питань обфускації коду та симетричного шифрування.

Зокрема, Xu, H., Zhou, Y., Ming, J., та Lyu, M. у своїй статті «Layered obfuscation: a taxonomy of software obfuscation techniques for layered security» [2] провели детальний та ґрунтовний аналіз способів обфускації Android-застосунків та запропонували багатошаровий підхід до захисту алгоритмів таких застосунків.

Dong, S., Li, M., Diao, W., Liu, X., Liu, J., Li, Z., Zhang, K. та інші у своїй статті «Understanding android obfuscation techniques: A large-scale investigation in the wild» [3] не тільки детально розглянули основні способи обфускації Java-коду, а й зібрили статистичні дані щодо того, які способи обфускації найчастіше використовуються в тих чи інших типах застосунків. Ці дані можуть бути використані розробниками на практиці, полегшуючи вибір способу захисту коду власних застосунків.

Цікавою виявилася також робота Abdullah, A. «Advanced encryption standard (aes) algorithm to encrypt and decrypt data.» [4], в якій автор проводить детальний аналіз шифру AES та наводить сфери його застосунку.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Більшість сучасних досліджень, що стосуються захисту алгоритмів та даних на стороні клієнта, покривають лише окремі технології, що використовуються під час створення систем такого захисту. Зокрема, досліджуються алгоритми AES, але не досліджуються способи генерації та захисту ключа, який використовується для шифрування та дешифрування даних. Крім того, не аналізуються вже відомі методи захисту даних та алгоритмів у сучасних операційних системах та програмних платформах.

**Постановка завдання.** У цій статті ми проаналізуємо основні способи захисту даних та алгоритмів на стороні клієнта з використанням засобів сучасних операційних систем та програмних платформ, а також розробимо власний алгоритм захисту довільних даних на стороні клієнта й захистимо його від зворотної розробки. Крім того, слід виділити загальні властивості таких алгоритмів, щоб розробники могли ефективно реалізовувати свої надійні версії таких алгоритмів.

**Виклад основного матеріалу.** Після детального вивчення наявних алгоритмів і програм, що використовують захист даних на стороні клієнта ми сформуваємо список основних способів реалізації таких алгоритмів.

**1. Засоби операційної системи.** Більшість сучасних операційних систем реалізують певні методи зберігання даних у недоступному для користувача місці.

Для операційних систем сімейства Windows, зокрема, існує системний реєстр [5], довільний доступ до якого потребує прав адміністратора. До того ж для захисту даних Windows пропонує системну функцію CryptProtectData, яка використовує дані користувача Windows для шифрування даних. Цей підхід використовується, зокрема, у браузерях для зберігання паролів, проте вважається досить ненадійним, оскільки отримавши доступ до комп'ютера, їх можна легко дізнатися.

Операційна система Android дозволяє зберігати дані у трьох стандартних видах контейнерів: SharedPreferences, Account Manager та SQLite. Усі три засоби зберігання інформації є досить надійними, доки користувач не має root-прав, оскільки дані зберігаються у файлах, доступ до яких операційна система надає тільки застосункам, які ці файли створили. Починаючи з версії 5.0 (Lollipop), будь-які дані користувача перед записом до таких файлів зашифровуються, а перед зчитуванням розшифровуються. Проте, оскільки на більшості пристроїв можна легко змінити прошивку, а сама операційна система Android має відкритий вихідний код, вважати, що будь-який пристрій під керуванням операційної системи Android версії вищої за 5.0 реалізує цей підхід, хибно. Тому для забезпечення даних користувача можна використовувати сторонні бібліотеки, що реалізують бази даних із вбудованим функціоналом захисту інформації. Крім того, деякі сучасні застосунки просто не запускаються, якщо користувач має root-права. Прикладом такого застосунку є мобільний додаток McDonald's[6].

Операційна система Linux має гнучкі права доступу до файлів, тож для захисту даних можна використати файл, який може читати тільки спеціально створений для цього користувач. Відповідно, для того щоб його відкрити, необхідно буде змінити права доступу за допомогою root-акаунта. Отже, крім прав доступу, все-таки варто додатково використати шифрування.

Операційні системи iOS та Mac OS мають вбудований механізм надійного зберігання даних під назвою Keychain Services[7]. Цей механізм дозволяє зберігати невеликі за обсягом дані в безпечному сховищі, до якого має доступ тільки конкретний застосунок. Оскільки системи iOS та Mac OS є закритими, доступ до даних в цьому сховищі можна отримати тільки з використанням джейлбрейку (англ. Jailbreak). Відповідно до офіційної документації, у сховищі Keychain Services можна зберігати таку конфіденційну інформацію, як паролі та дані кредитних карт.

**2. Шифрування.** Для шифрування даних на стороні клієнта зазвичай використовуються симетричні алгоритми шифрування. Це пов'язано з тим, що симетричне шифрування відбувається за єдиним приватним ключем. Таких алгоритмів існує достатньо велика кількість, зокрема алгоритм Advanced Encryption Standard (AES)[8] сьогодні є стандартним алгоритмом захисту інформації в США. Іншими прикладами симетричних криптосистем є шифри DES, RC4, RC5, SEAL та інші. Переважно безпеку інформації забезпечує не тільки сам алгоритм, а і приватний ключ, що використовується для шифрування та дешифрування даних. Такий ключ варто добре захищати в коді (про що мова йтиме нижче) або генерувати під час роботи програми.

**3. «Екзотичні» методи.** До таких методів захисту даних користувачів може належати зберігання даних в тих місцях, де їх важко знайти, шифрування власними алгоритмами тощо.

Способи захисту алгоритмів та конфіденційних даних, наявних у коді, зазвичай залежать від мови програмування, на якій реалізована програма, проте майже для кожної мови програмування існують спеціальні утиліти - обфускатори. Нікольська Ксенія Юріївна дає наступне визначення поняттю «обфускація»: «Обфускація ... – приведення вихідного тексту програми до вигляду, що зберігає його функціональність, однак робить складнішим його аналіз, розуміння алгоритмів роботи»[9]. Обфускатори – це утиліти, які беруть вихідний (або скомпільований) код програми і «заплутують» його, ускладнюючи процес зворотної розробки (реверс-інжинірингу) вашої програми. Використовуючи обфускатори з скомпільованими мовами програмування, треба бути обережним, оскільки це може позначитися на швидкодії програми. Дослідженням алгоритмів обфускації займаються такі науковці, як Gregory Wroblewski [10], Shafi Goldwasser та Guy N. Rothblum [11] та інші.

Крім захисту статичного коду, варто приділяти увагу також захисту даних під час виконання програми, оскільки вміст оперативної пам'яті та навіть регістрів процесора в будь-який момент часу можна визначити за допомогою програм-налагоджувачів.

Розглянемо найпоширеніші мови програмування, а також засоби, що можуть бути використані для забезпечення алгоритмів та конфіденційних даних для тієї чи іншої мови програмування:

**1. C/C++** (а також будь-які інші мови програмування, що компілюються безпосередньо у виконуваний код). Фактично, першою ланкою захисту програми від реверс-інжинірингу є сам процес компіляції. Здебільшого код, який можна отримати за допомогою декомпіляторів, значно відрізняється від початкового і є досить заплутаним. Аби ускладнити роботу реверс-інженера, варто прибрати з коду зайві експорти та інформацію на-

лагоджувача, оскільки імена експортованих функцій зберігаються в програмі в текстовому вигляді. Проте, відкривши виконуваний файл у будь-якому редакторі шістнадцятикових значень, можна побачити в ньому всі рядкові константи, що використовуються в програмі, зокрема ключі шифрування даних. Для захисту таких даних треба формувати їх під час роботи програми. Для цього можна використовувати будь-які способи, які тільки можна собі уявити: побітові операції, форматні рядки `sprintf`, байти задалегідь відомих значень глобальних та локальних змінних, певні параметри, унікальні для даного пристрою, хешування певних ділянок коду чи даних програми тощо. Крім того, варто заплутати й алгоритм створення таких ключів. Його можна рознести в різні частини виконуваного файлу, або навіть написати частину алгоритму на асемблері. Можна вважати, що процес захисту даних та алгоритмів для компільованих у виконуваний код мов програмування є процесом творчим та обмеженим тільки фантазією розробника. Крім того, існують готові інструменти захисту застосунків на C++, серед них варто зазначити продукти StarForce Crypto та StarForce C++ Obfuscator [12]. Вони виконують із кодом спеціальні перетворення, які значно ускладнюють процес реверс-інжинірингу.

**2. Kotlin/Java/JVM.** Оскільки скомпільований код JVM легко декомпільовати, а результат роботи декомпілятора наблизений до вихідного коду програми, його захист потребує більших зусиль. Певний рівень захисту можна отримати з допомогою обфускаторів. Найпопулярнішою з таких утиліт є оптимізатор ProGuard [13]. Він виконує два основні завдання – оптимізація та обфускація коду. Корисними для захисту алгоритмів на стороні клієнта є обидва процеси, проте захистити константи таким чином неможливо. Для їх більш надійного зберігання можна використати будь-які симетричні алгоритми шифрування або прийоми створення рядків під час роботи програми, наведені для мови програмування C/C++. Проте найнадійнішим способом залишається делегування констант з бібліотеки, написаної на C/C++ за допомогою інтерфейсу JNI, і захист їх саме в цій бібліотеці.

**3. C#/NET.** Для програм, написаних для цієї платформи, існує ряд обфускаторів, кожен з яких пропонує власні алгоритми. Існують досить ґрунтовні статті, які порівнюють найвідоміші з таких обфускаторів [14]. Проте більшість із цих інструментів є комерційними продуктами, і їх вартість досить висока. Більшість проєктів із відкритим вихідним кодом є ненадійними, оскільки знаючи алгоритм їх роботи, можна відновити і алгоритм роботи вашої програми, і необхідні константи в коді. Серед відкритих проєктів, що активно підтримуються, можна назвати Obfuscator [15].

**4. JavaScript та вебтехнології.** Оскільки JavaScript є скриптовою мовою програмування, для вивчення вихідного коду не потрібно використовувати декомпілятори – програма зазвичай поширюється у відкритому вигляді. При такому підході захист вихідного коду є дуже важливим. Найпростішим способом захисту алгоритмів та даних в такому випадку є шифрування власне самого коду та постачання його клієнту разом з функцією, яка вміє його дешифрувати та виконує з допомогою функції `eval`. Утиліти, що дозволяють виконати відповідні дії, називають крипторами. Недоліком цього методу є те, що якщо зрозуміти принцип роботи функції-дешифратора, можна швидко отримати вихідний код. Також обсяг результуючого коду збільшується в середньому на 30%. Іншим способом захисту коду є уже знайомі нам обфускатори. Найчастіше вони змінюють імена змінних та функцій, додають псевдокод, замінюють символи на їхнє hex-значення, тощо. До того ж варто додатково мініфікувати весь код (прибрати зайві символи форматування), якщо це не зробив один з вище зазначених інструментів. Це навряд зупинить реверс-інженера, проте створить додаткові незручності. Результат маніпуляцій варто перевірити на працездатність (деякі обфускатори некоректно опрацьовують код з пропущеними знаками «;»), а також в одному (або декількох) онлайн-сервісах деобфускації, наприклад, Online JavaScript Beautifier [16]. Можна також розділити код на кілька

частин і обфускувати різними інструментами, щоб ускладнити деобфускацію. Ще одним цікавим способом захистити алгоритм JavaScript від реверс-інжинірингу – заборонити налагодження, як це продемонстровано у прикладі [17]. Звісно, цей захист також не є абсолютним, оскільки існують готові рішення, що дозволяють повноцінно використовувати налагоджувач навіть в таких веб-додатках. Таким чином досягти такого рівня захисту алгоритмів чи даних, який забезпечує C/C++ або навіть Java, зазвичай не вдається.

**5. Python.** При роботі з цією мовою програмування також можна використовувати кілька підходів. По-перше, оскільки це скриптова мова програмування, для неї можна використати криптори. По-друге, існують обфускатори для програм на мові Python, проте зазвичай вони менш ефективні, ніж обфускатори для інших мов програмування, через особливості синтаксису. Окрім того, Python підтримує компіляцію в байт-код[18]. На жаль, цей байт-код може бути легко декомпільований, в ньому зберігаються навіть деякі імена змінних. Єдиним достатньо надійним способом зберігання даних та алгоритмів в програмі на мові Python є використання механізму байндингів до інших мов програмування, зокрема до C/C++. Критичні дані або алгоритми зберігаються в компільованому модулі на мові C/C++ та використовуються з Python-програми за потреби.

Розробимо власний алгоритм захисту даних на стороні клієнта. Задачу можна сформулювати таким чином: необхідно розробити алгоритм захищеного збереження та відновлення довільних даних на комп'ютері користувача. Доступ до цих даних має бути обмеженим поза цією програмою.

Для вирішення цієї задачі створимо динамічну бібліотеку на мові C++, інтерфейсом до якої будуть функції читання даних з файлу та запису даних до файлу. Для безпосереднього шифрування даних скористаємося розповсюдженим алгоритмом симетричного шифрування AES[8]. Оскільки, як пише Shripal Rawal, «... ми можемо бути впевнені у безпеці AES лише якщо його правильно реалізовано і використовується надійне управління ключами»[19], використання готового алгоритму шифрування дозволяє звести задачу безпечного збереження даних до задачі генерації та захисту ключа шифрування.

Процес генерації та захисту ключа, як було зазначено вище, є досить творчим. Для того щоб зловмисник не зміг відновити алгоритм програми, у нашому алгоритмі використані такі підходи:

1. Використання значень глобальних і локальних змінних. Оскільки глобальні і локальні змінні розміщуються в різних секціях виконуваної програми, послідовність змінних з різних ділянок пам'яті важче знайти в коді.

2. Використання даних різного розміру. Додавання даних розміром у 1, 2, 4 та навіть 8 байт, а також окремих фрагментів рядків дозволяє частково спростити процес заповнення масиву значеннями, а також ускладнити аналіз такого коду. Також можна записувати не повне значення змінної, а тільки окремі байти більших за розмірами типів даних з допомогою функції *memset*.

3. Використання даних системи, наприклад, номер ревізії процесору чи ім'я комп'ютера. Ці дані дозволять захистити дані від можливості розшифрування на інших комп'ютерах, проте якщо для розв'язку задачі це не є необхідним, можна не використовувати їх.

4. Використання форматних рядків *sprintf* та інших способів формування рядків тексту і значень змінних під час виконання програми. Це додатково ускладнює отримання ключа під час вивчення алгоритму його формування засобами зворотної розробки.

5. Використання підробних умов, циклів, функцій і інших конструкцій, а також перезапис даних у вже заповнених комірках. Вітки коду, що ніколи фактично не виконуються, або результат їх виконання не впливає на фінальний результат, зазвичай небажані в реальних програмах, проте в цьому випадку вони заважають зворотній розробці алгоритму, отже, є бажаними і доцільними.

6. Використання асемблерних вставок. Для нашого прикладу тестовим шляхом ми дізналися, що після виконання попередньої операції в регістрі `eax` зберігається одне і те ж значення (побічний результат). Використовуючи асемблерні вставки, можемо отримати додаткові байти даних:

```
int eaxdata = 0;
__asm
{
    mov eaxdata, eax
}

*((DWORD*)result + 5) = eaxdata;
```

Цей підхід значно ускладнить роботу декомпіляторів, оскільки подібні операції звичай не генеруються компіляторами під час обробки C/C++ коду.

Після генерації базової версії ключа ми застосовуємо до нього різноманітні трансформації:

1. Математичні й побітові операції. Не зважаючи на те, що їхня поведінка досить передбачувана, вони дозволяють позбавитися від повторів та нульових байтів в отриманому ключі. Також можна використати дві копії ключа, виконати над ними різні перетворення, а далі виконати певні побітові операції з використанням згенерованих ключів.

2. Алгоритми, що виконуються над звичайними колекціями: сортування, зворотного порядку та інші. Головне, щоб результат їх виконання був однозначними. Після декомпіляції такі алгоритми досить важко ідентифікувати, тож їх використання також ускладнить зворотну розробку алгоритму.

Крім заплутування процесу генерації та трансформації ключа, варто також захистити сам алгоритм. Найпростіший спосіб це зробити – видалити усі символи налагоджування та зайві екпорти. Без назв функцій зловмисник не зможе так легко відновити послідовність дій у програмі та дізнатися, яким саме чином генерується ключ. До того ж у нашому прикладі використовується бібліотека `obfu` [20], яка дозволяє ще більше ускладнити отриманий після компіляції код.

Варто розуміти, що кожна наступна маніпуляція зменшує швидкодію програми, проте наведемо ще кілька прикладів можливих маніпуляцій, що не були використані в прикладі, проте можуть допомогти краще захистити дані:

1. Ускладнення способу передачі ключа до функції, що реалізує алгоритм AES. Наразі найвужчим місцем системи є передача ключа з функції генерації до функції шифрування. Можна розбити ключ на окремі складові та передавати як окремі параметри, через глобальні змінні, тощо. Частина ключа можна генерувати прямо у функції шифрування, і навіть взагалі не зберігати ключа в єдиному масиві.

2. Збільшення кількості гілок коду, що виконуються, проте не впливають на результат роботи програми.

3. Використання формату статичної бібліотеки замість динамічної. Це накладе певні обмеження та вимоги на спосіб компіляції основної програми, проте дасть можливість «сховати» код генерації ключа у коді програми. Також за потреби можна взагалі відмовитися від реалізації окремого модуля і розподілити генерацію у вихідному коді програми.

4. Передавати певний набір рядків з основної програми. Це може бути версія програми, будь-які рядкові літерали, навіть локалізовані дані. Такий набір рядків може бути змінного розміру та оброблятися в циклі, для кожного рядка заміняємо певні символи ключа на символи рядка.

5. Додаткова обробка вхідних даних. Шифрування кількома алгоритмами з різними ключами у заданій послідовності може значно сповільнити роботу програми з великими обсягами даних, проте для невеликих рядків може забезпечити додатковий захист.



6. Використання додаткових перетворень ключа та/або його складових. Наприклад, можна зберігати частину ключа в зашифрованому вигляді, а під час виконання розшифрувати його, або використовувати результати хешування констант відомими алгоритмами.

Ми розробили приклад алгоритму захисту даних на стороні клієнта, даний алгоритм опубліковано на платформі GitHub [21]. Після фактичної реалізації ми змогли виділити чотири основні властивості алгоритмів захисту даних на стороні клієнта:

**1. Відносність.** Побудований алгоритм може мати різну стійкість до аналізу, що визначається його структурою, проте ця стійкість не може бути абсолютною. Чим складніший алгоритм, тим більше часу зловмиснику знадобиться на його аналіз, проте отримати ключ все одно можливо.

**2. Закритість.** Знання вихідного коду або логіки роботи конкретного алгоритму зловмисниками зробить такий алгоритм неефективним для захисту даних, тому розповсюджувати додатки з таким кодом слід лише у скомпільованому вигляді та без символів налагодження. Не слід використовувати готові алгоритми (в тому числі розроблений нами для цієї роботи) без додаткових змін констант та послідовності обробки даних.

**3. Детермінованість.** Побудований алгоритм має повертати однакові значення на одному комп'ютері з однаковими вхідними даними. Чи має він повертати однакові дані на різних комп'ютерах, залежить від вимог до конкретної реалізації.

**4. Комплексність.** Для того щоб алгоритм забезпечував достатній рівень безпеки, слід використовувати різні підходи до генерації та перетворень ключа. Чим більше різноманітних операцій використовується в алгоритмі, тим надійнішим є алгоритм, проте тим більше часу може займати його виконання.

**Висновки.** У процесі досліджень виділено та структуровано основні способи захисту даних та алгоритмів на стороні клієнта. Розглянуто засоби, які для цього надають популярні операційні системи, а також яким чином можна захищати дані користувача й алгоритми програм із використанням різних технологій програмування. У кожного з таких підходів є власні переваги та недоліки, проте одним із перспективних напрямів вважаємо використання власного алгоритму захисту даних, що використовує AES як алгоритм шифрування та генерує ключ для нього з використанням даних системи та власних констант. Отриманий алгоритм не можна використовувати напряму, оскільки він є публічно доступним, тому для захисту даних у власних застосунках слід створити власний алгоритм на його основі. Для того щоб спростити подальшу побудову подібних алгоритмів і забезпечити їх високий рівень захисту, сформульовано чотири основні властивості, якими має володіти будь-який алгоритм захисту даних на стороні клієнта.

На нашу думку, дане дослідження є ґрунтом для подальшого вивчення теми захисту даних і алгоритмів на стороні клієнта. Пошук найбільш ефективних і надійних способів створення та перетворення ключа, а також обфускації відповідного коду є важливим кроком до створення надійних алгоритмів захисту даних на стороні клієнта.

#### Список використаних джерел

1. What is Security through Obscurity? URL: <https://securitytrails.com/blog/security-through-obscurity>.
2. Xu Hui, Yangfan Zhou, Jiang Ming, Michael Lyu. Layered obfuscation: a taxonomy of software obfuscation techniques for layered security. *Cybersecurity*. 2020. № 3. Pp. 1-18.
3. Understanding android obfuscation techniques: A large-scale investigation in the wild / Dong, Shuaike, Menghao Li, Wenrui Diao, Xiangyu Liu, Jian Liu, Zhou Li, Fenghao Xu, Kai Chen, Xiaofeng Wang, and Kehuan Zhang. *International Conference on Security and Privacy in Communication Systems*. Springer, Cham, 2018. Pp. 172-192.
4. Abdullah A. Advanced encryption standard (aes) algorithm to encrypt and decrypt data. *Cryptography and Network Security*. 2017. № 16.
5. Системний реєстр. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/sysinfo/registry>.
6. Додаток McDonald's. URL: <https://www.mcdonalds.ua/ua/Eat/GMAL.html>.

7. Офіційна документація до механізму Keychain Services. URL: [https://developer.apple.com/documentation/security/keychain\\_services](https://developer.apple.com/documentation/security/keychain_services).
8. Advanced Encryption Standard. URL: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/Advanced-Encryption-Standard>.
9. Никольская К. Ю., Хлестов А. Д. Обфускация и методы защиты программных продуктов. *Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере*. 2015. № 2(16). С. 7-10.
10. General method of program code obfuscation. *Wroblewski, Gregory*. 2002.
11. Shafi Goldwasser, Guy N. Rothblum On best-possible obfuscation. *Theory of Cryptography Conference*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
12. Захист та обфускація вихідного коду за допомогою продуктів StarForce Crypto та StarForce C++ Obfuscator. URL: <http://www.star-force.ru/solutions/source-code-protection/>.
13. Оптимізатор ProGuard. URL: <https://www.guardsquare.com/en/products/proguard>.
14. Обзор обфускаторів для .NET. URL: <https://habr.com/ru/post/97062/>.
15. Відкритий обфускатор для .NET. URL: <https://github.com/obfuscar/obfuscar>.
16. Online JavaScript Beautifier. URL: <https://beautifier.io/>.
17. Anti code-protection Demo. URL: <https://ohmycoding.com/demos/anti-code-protection.html>.
18. Опис модуля py\_compile. URL: [https://docs.python.org/3/library/py\\_compile.html](https://docs.python.org/3/library/py_compile.html).
19. Advanced Encryption Standard (AES) and It's Working. / Shripal Rawal // *International Research Journal of Engineering and Technology* 3.8 (2016): 1165-1169.
20. fritzone / obfy. URL: <https://github.com/fritzone/obfy>.
21. IchZerowan / ClientProtect. URL: <https://github.com/IchZerowan/ClientProtect>.

### References

1. What is Security through Obscurity? <https://securitytrails.com/blog/security-through-obscurity>.
2. Xu Hui, Yangfan Zhou, Jiang Ming, Michael Lyu. (2020). Layered obfuscation: a taxonomy of software obfuscation techniques for layered security. *Cybersecurity*, 3, pp. 1-18.
3. Dong, Shuaike, Menghao Li, Wenrui Diao, Xiangyu Liu, Jian Liu, Zhou Li, Fenghao Xu, Kai Chen, Xiaofeng Wang, and Kehuan Zhang (2018). Understanding android obfuscation techniques: A large-scale investigation in the wild. *International Conference on Security and Privacy in Communication Systems*, pp. 172-192.
4. Abdullah, A. (2017). Advanced encryption standard (aes) algorithm to encrypt and decrypt data. *Cryptography and Network Security*, 16.
5. System Registry. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/sysinfo/registry>.
6. McDonald's app. <https://www.mcdonalds.ua/ua/Eat/GMAL.html>.
7. Keychain Services official documentation. [https://developer.apple.com/documentation/security/keychain\\_services](https://developer.apple.com/documentation/security/keychain_services).
8. Advanced Encryption Standard. <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/Advanced-Encryption-Standard>.
9. Nikolskaya, K. Yu., Hlestov, A. D. (2015). Obfuskatsiia i metody zaschity programmnykh produktov [Obfuscation and software products protection methods]. *Vestnik UrFO. Bezopasnost v informatsionnoy sfere – Bulletin of the Ural Federal District. Information security*, 2(16), pp. 7-10.
10. General method of program code obfuscation. (2002). *Wroblewski, Gregory*.
11. Shafi Goldwasser, Guy N. (2007). Rothblum On best-possible obfuscation. *Theory of Cryptography Conference*. Springer, Berlin, Heidelberg.
12. Source code obfuscation and protection using StarForce Crypto and StarForce C++ Obfuscator. <http://www.star-force.ru/solutions/source-code-protection/>.
13. ProGuard optimizer. <https://www.guardsquare.com/en/products/proguard>.
14. .NET obfuscators reveiw. <https://habr.com/ru/post/97062/>.
15. Open .NET obfuscator. <https://github.com/obfuscar/obfuscar>.
16. Online JavaScript Beautifier. <https://beautifier.io/>.
17. Anti code-protection Demo. <https://ohmycoding.com/demos/anti-code-protection.html>.
18. py\_compile module description. [https://docs.python.org/3/library/py\\_compile.html](https://docs.python.org/3/library/py_compile.html).
19. Shripal Rawal (2016). Advanced Encryption Standard (AES) and It's Working. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3.8, pp. 1165-1169.

20. fritzone / obfy. <https://github.com/fritzone/obfy>.

21. IchZerowan / ClientProtect. <https://github.com/IchZerowan/ClientProtect>.

UDC 004.056.5

*Ihor Melikhov, Volodymyr Bazylevych*

## CLIENT-SIDE ALGORITHMS AND DATA PROTECTION

*Algorithms and data protection is an important part of software development. It is not always possible to use the server as a reliable storage for data and algorithms, so there is a need for a detailed study and development of methods of data and algorithms protection on the client side.*

*It is possible to access any data and algorithms on the client side. However, it is possible to protect them so that the complexity of unsanctioned access is greater than the potential benefit from it.*

*Symmetric encryption and obfuscation have been studied by Xu Hui, Yangfan Zhou, Jiang Ming, Michael Lyu, A. Abdullah and others. We reviewed the latest publications related to symmetric encryption and obfuscation, as well as various articles and discussions on the protection of algorithms and data on the client side on the Internet. There are currently no detailed and comprehensive studies on the topic of the client-side data and algorithms protection.*

*To structure information about the client-side algorithms and data protection. To develop our own algorithm for client-side data protection. To retrieve the general principles that can be used when developing such algorithms.*

*This article discusses methods of data protection using different operating systems and software platforms. The developed data protection algorithm uses symmetric AES encryption and various ways of key generation to secure the created program from reverse engineering. The key features of such algorithms are relativity, closeness, determinability and complexity.*

*The features and principles of algorithm development stated in the article allow to effectively protect data and algorithms on the client side.*

**Keywords:** *data protection; algorithms protection; symmetric encryption; obfuscation; security through obscurity.*

**Меліхов Ігор Олександрович** – здобувач вищої освіти, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Melikhov Ihor** – bachelor student, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** IchZerowan@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3611-0549>

**Базилевич Володимир Маркович** – кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Bazylevych Volodymyr** – PhD in Economics, Associate Professor, Head of the Department of Information and Computer Systems, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** bazvlamar@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8935-446X>

**ResearcherID:** G-5764-2014

**SCOPUS Author ID:** 57193029322

УДК 004.056.53:005.004.7

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-96-102

Володимир Хорошко, Михайло Шелест, Юлія Ткач

**ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ КІБЕРАТАК В ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ВИПАДКОВИМ МОМЕНТОМ ПОЯВИ**

На основі ймовірнісної оцінки в роботі розкриті оптимальні, послідовні або близькі до них процедури, що дозволяють підвищити кібербезпеку інформації. Розв'язана задача, яка полягала в побудові оптимальної  $N$ -усіченої послідовної процедури спільного виявлення кібератак (КА) та оцінки моменту її появи при функції втрат. Проаналізована статистика, пов'язана з усередненим обсягом прогнозу (УОП). Запропоновано загальний вигляд оптимальної процедури послідовного виявлення-оцінювання КА з невідомим моментом появи при зазначених втратах.

**Ключові слова:** кібератака, інформаційні мережі, кібервплив, кібербезпека.

Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** При розгляді проблеми кібербезпеки інформації необхідно враховувати можливі види несанкціонованих дій (кібератак), які ведуть до втрати або модифікації даних. Виявлення, запобігання або істотне ускладнення дії кібератак (КА) - один із центральних напрямів галузі кібербезпеки в інформаційних мережах. Визначення узагальнених вимог із кіберзахисту інформаційних мереж від кібератак на інформацію та оцінка ступеня їх захищеності є досить складними задачами. Досвід практичної експлуатації інформаційних мереж у різних сферах діяльності держави показує, що існують реальні загрози КА, що призводять до негативного впливу на складові кібербезпеки.

**Постановка проблеми.** Існують реальні можливості виникнення непередбачених ситуацій внаслідок впливу КА, що ведуть до втрати інформації або до втрати працездатності інформаційної мережі. У концепції кібербезпеки інформаційної мережі на основі загроз від КА повинні визначатися необхідні кошти, методи та процедури виявлення і оцінювання КА в мережах.

Має місце процес розмежування різних видів загроз. При цьому необхідність розуміння ролі КА і кібербезпеки пов'язана в першу чергу з активізацією міжнародних терористичних, екстремістських організацій і злочинних угруповань, а також окремих держав, які здійснюють кібератаки і кібервпливи на громадян, суспільство й держави з метою реалізації своїх інтересів.

При цьому в умовах ведення гібридних війн в останні роки систематично здійснюються різні КА, кібервпливи і несанкціоновані дії в інформаційних мережах, що підриває економічну, військову, технічну та інші сфери держави.

Тому, для ефективного функціонування інформаційних мереж у сучасних умовах і засобів їх захисту, а також для надійного виявлення і оцінювання КА необхідно розвинути нові підходи і методи, їх реалізації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У сучасних дослідженнях значне місце посідають дослідження, присвячені виявленню та оцінюванню кібератак в інформаційних мережах. Так, у статті [12] розглядаються особливості застосування випадкової нейронної мережі для виявлення легких атак в IoT. Виявлення аномалій у великомасштабних кібератаках за допомогою нечітких нейронних мереж досліджувались у [13]. Деякі результати, пов'язані зі спільним послідовним виявленням і оцінюванням, отримані в [3]. З результатів роботи [3] можна зробити висновок, що в загальному випадку знайти конструктивне рішення не вдається навіть у двохальтернативній задачі. Тому спробуємо вирішити цю задачу багатоальтернативного послідовного виявлення і оцінювання кібератаки з випадковим моментом її появи. Втрати в процесі розпізнання (виявлення) та оцінювання кібератаки залежать як від помилок в її виявленні, так і від неточності оцінювання, що не дозволить забезпечити адекватну протидію, і при цьому виникає задача спільного розвитку й оцінювання [1; 2].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** При виявленні й розпізнаванні кібератак зазвичай цікавляться не тільки фактом появи тієї чи іншої атаки, але й її інформативними параметрами. Результат дій, що виконуються при вирішенні задачі про наявність кібератаки, залежить від ступеня близькості оцінки до істинного значення параметрів. Причому на практиці момент прийняття рішення зазвичай не байдужий, оскільки зі збільшенням часу спостереження, витрати зростають і бажано якнайшвидше прийняття рішень. При цьому послідовні процедури виявлення-оцінювання, взагалі кажучи, мають більшу ефективність у порівнянні з непослідовними. Тому важливим та нагальним є пошук оптимальних, послідовних або близьких до них процедур, що дозволить підвищити кібербезпеку інформації.

**Мета статті** полягає у знаходженні оптимальних, послідовних або близьких до них процедур, що дозволить підвищити кібербезпеку інформації.

**Виклад основного матеріалу.** Нехай подія  $\{\theta = 1\}$  означає наявність кібератаки (КА), яка може з'явитись в момент  $\infty > \lambda_n = \lambda_0 > 0, n \geq 1$ , причому  $\pi_{01} = P(\theta = 1) = P(\lambda_0 < \infty) < 1$  ( $\pi_{00} = P(\theta = 0) = P(\lambda_0 = \infty) = 1 - \pi_{01}$ ). Припустимо, що  $x_n, n \geq 1$ , незалежні як і до так і після появи КА, так що справедлива модель [2]:

$$P_0(x_1^n) = p(x_1^n | \theta = 0) = \prod_{i=1}^n p_{oi}(x_i) = p(x_1^n | \theta = 1, \lambda_0 > n\Delta);$$

$$p_{11}(x_1^n | \lambda) = p(x_1^n | \theta = 1, \lambda_0 = \lambda) = \prod_{i=1}^n x_{oi}(x_i) P_{\lambda_{j+1}}(x_{j+1}) \prod_{i=j+2}^n P_{1i}(x_i),$$

$j\Delta \leq \lambda \leq (j+1)\Delta, j \leq n-1, n = 1, N$ , де  $P_{\lambda n}(x_n)$  – щільність, що залежить від  $\lambda$  причому

$$P_{\lambda n}(x_n) = \begin{cases} P_{0n}(x_n) & \text{при } \lambda = n\Delta, \\ P_{1n}(x_n) & \text{при } \lambda = (n-1)\Delta; \end{cases}$$

Прийнята при розгляді у [4] задача виявлення збою послідовності без оцінки його моменту.

Задача полягає в побудові оптимальної N-усіченої послідовної процедури спільного виявлення КА та оцінки моменту її появи при функції втрат:

$$g(\theta, \lambda, u_n, n) = \begin{cases} g_{01}(n), \theta = 0, u_n = (1, \lambda_n), \\ \tilde{g}_{11}(n) \theta = 1, \lambda \geq n\Delta, u_n = (1, \hat{\lambda}_n), \\ g_{11}(n) + c(n - [\lambda]) + F_n(\lambda - \hat{\lambda}_n)^2, \theta = 1, \\ \lambda < n\Delta, u_n = (1, \hat{\lambda}_n), n = \overline{1, N} \end{cases} \quad (1)$$

де  $c$  – вартість затримки в обчисленні розв'язку про наявність КА та її появи за один крок;  $[\lambda] = i$  при  $(i-1)\Delta < \lambda \leq i\Delta$  ( $i$  – інтервал між відліками).

Розв'язок  $u_n = 0$  на кроках  $n=1, N-1$  еквівалентно за розв'язком  $u_n$  про продовження спостережень [4]. На N-му кроці цей розв'язок є остаточним, оскільки процес  $\{x_n\}$  спостереженню більше недоступний і втрати  $g(\theta, \lambda, u_n = 0, N)$  пов'язані та мають вигляд:

$$g(\theta, \lambda, u_n, N) = \begin{cases} g_{00}(N), \theta = 0, u_n = 0, \\ g_{10}(N) + c(N - [\lambda]), \theta = 1, \lambda < N\Delta, u_n = 0, \\ \tilde{g}_{10}(N) \theta = 1, \lambda \geq N\Delta, u_n = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Функція втрат (1), (2) відрізняється від [4]

$$g_{ij}(\lambda_n^{(i)}, \hat{\lambda}_n^{(j)}) = \begin{cases} g_{ii}(n) + w_n(\lambda_n^{(i)} - \lambda_n^{(j)}) & \text{при } i, j \neq 0, \\ g_{j0}(n) & \text{при } i = 0, j = \overline{0, m-1}, \\ g_{i0}(n) & \text{при } j = 0, i = \overline{0, m-1}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $w_n$  – неспадна невід’ємна функція, що визначає залежність втрат від неточності оцінювання інформаційного параметру, яка не залежить від номерів гіпотез, що приймаються, та істинної гіпотези. Відрізняється тим, що від значень інформаційного параметру залежить не тільки втрати за рахунок неточності їх оцінювання, але і сама величина  $g_{ij}(n, \lambda)$ .

Наприклад,

$$g_{11}(n, \lambda) = g_{11}(n) + c(n - [\lambda]) \quad (4)$$

при  $\lambda \leq n\Delta$ ,  $g_{11}(n, \lambda) = \tilde{g}_{01}(n)$  при  $\lambda > n\Delta$ .

У частинному випадку, коли  $C = 0$ ,  $g_{11}(n) = \tilde{g}_{11}(n)$ ,  $g_{10}(N) = \tilde{g}_{10}(N)$  (4) втрати (1), (2), (3) співпадають та можна скористатись результатами, що отримуються в [5]. Використовуючи (1), неважко показати, що оптимальна оцінка відрізняється від результатів, отриманих в [5]. Вона являє собою середній апостеріорний розподіл  $P(\lambda_0 \leq \lambda | x_1^n, \theta = 1, \lambda \leq n\Delta)$  з щільністю  $\tilde{p}_{01}(\lambda) = p_1(x_1^n | \lambda) p(\lambda) / [\int_0^{n\Delta} p_1(x_1^n | \lambda) p(\lambda) d\lambda]$ ,  $\lambda \leq n\Delta$ ,  $p(\lambda)$ -щільність апіорного розподілу  $\Pi(\lambda) = P_0(\lambda_0 \leq \lambda | \theta = 1)$ , тобто  $\tilde{\lambda}_n^0 = \int_0^{n\Delta} \lambda \tilde{p}_{01}(\lambda) d\lambda$  оскільки

$$w_n(\lambda - \tilde{\lambda}_n) = \begin{cases} F_n(\lambda - \tilde{\lambda}_n)^2, & \lambda < n\Delta \\ 0, & \lambda \geq n\Delta \end{cases} \quad (5)$$

Введемо позначення:  $m_n^{(i)}(x_1^n) = M[\lambda_0^i | x_1^n, \theta = 1, \lambda_0 \leq n\Delta]$ ,  $i \geq 1$ ;

$D_n(x_1^n) = M[(\lambda_0 - m_n^{(i)})^2 | x_1^n, \theta = 1, \lambda_0 \leq n\Delta]$  –  $i$ -й нецентральний момент та дисперсія апостеріорного розподілу (5);  $L_n(x_1^n)$  – статистика, пов’язана з усередненим обсягом прогнозу (УОП)

$$(x_1^n) = \int_0^\infty [p_1(n^n | \lambda) / p_0(x_1^n)] p(\lambda) d\lambda \quad (6)$$

Використовуючи (2), можна показати [6], що для  $\{m_n^{(i)}\}$  справджуються рекурентні рівності.

$$m_{n+1}^{(i)} = L_n L_{n+1}^{-1} \left\{ \gamma_{n+1}(x_{n+1}) m_n^{(i)} + \frac{v_{n+1}^{(i)}}{L_n} \right\}, n \geq 0, m_0^{(i)} = 0, i \geq 1 \quad (7)$$

Тут  $\gamma_n(x_n) = \frac{p_{1n}(x_n)}{p_{0n}(x_n)}$  статистика  $L_n$  задовольняє рекурентне співвідношення [3]:

$$L_{n+1} = \beta_{n+1}(x_{n+1}) + \gamma_{n+1}(x_{n+1}) L_n, n \geq 0, L_0 = 0$$

Отже,  $v_n^{(i)}(x_n) = \int_{(n-1)\Delta}^{n\Delta} \lambda^i \frac{p_{1n}(x_n)}{p_{0n}(x_n)} p(\lambda) d\lambda$ ,  $i \geq 0$  причому  $v_n^0(x_n) = \beta_n(x_n)$ .

При  $i = 1$  співвідношення (7) задає алгоритм формування оптимальної оцінки моменту виявлення КА (6), при  $i = 2$  – другого апостеріорного моменту. Також згідно з рівністю:

$$D_n(x_1^n) = m_n^{(2)}(x_1^n) - [m_n^{(1)}(x_1^n)]^2 \quad (8)$$

та за допомогою (7) і рекомендацій [3] визначається апостеріорна дисперсія, а отже

$$\varphi^0(x_1^n, n) = F_n D_n(x_1^n) \quad (9)$$

Якщо збій послідовності при виявленні КА відбувається, то

$$P_{\lambda n}(x_n) = p_{1n}(x_n) \text{ для всіх } \lambda \in [(n-1)\Delta, n\Delta], \quad (10)$$

або КА може з’явитись лише в дискретні моменти  $n\Delta$ ,  $n = 0, 1, 2 \dots$

$$p(\lambda) = p_n \delta(\lambda - n\Delta), (\sum_{n \geq 0} p_n = 1), \text{ то } v_{n+1}^{(i)} = \alpha_{n+1}^{(i)} \gamma_{n+1}(x_{n+1}) \text{ та з [3], (7) слідує, що}$$

$$m_{n+1}^{(i)} = L_n (\alpha_{n+1}^0 + L_n)^{-1} \left( m_n^{(i)} + \frac{\alpha_{n+1}^{(i)}}{L_n} \right), n \geq 0, m_0^{(i)} = 0, i \geq 1 \quad (12)$$

де  $\alpha_{n+1}^{(i)} = \int_{n\Delta}^{(n+1)\Delta} \lambda^i p(\lambda) d\lambda; \alpha_{n+1}^{(0)} = \alpha_{n+1}$ .

З (12) слідує, що значення будь-якого моменту апостеріорного розподілу (5) на  $(n + 1)$ -му кроці при виконанні (10) або (11) залежить лише від  $n$  спостережень, причому  $(L_n, m_n^{(i)})$ :

$$m_n^{(i)}(x_1^{n+1}) = m_{n+1}^{(i)}(x_{n+1}) = m_{n+1}^{(i)}(L_n, m_n^{(i)}) \quad (13)$$

У більш загальному випадку вирази (7), (8) [3] можемо записати:

$$m_n^{(i)}(x_1^{n+1}) = m_{n+1}^{(i)}(x_{n+1}, m_n^{(i)}, L_n), i \geq 1 \quad (14)$$

$$D_{n+1}(x_1^{n+1}) = D_{n+1}(S_{n+1}) = D_{n11}(x_n, x_{n+1}), \quad (15)$$

де  $S_n = (m_n^{(1)}, m_n^{(2)}); Z_n = (L_n, S_n)$ ,

де  $Z_n$  – транзитивна статистика

$$Z_{n+1}(x_1^{n+1}) = Z_{n+1}(x_{n+1}, Z_n), n \geq 0 \quad (16)$$

Статистика  $\pi_n$  пов'язана з  $L_n$  рівністю

$$\pi_n = \frac{v(L_n + A_n)}{[1 + v(L_n + A_n)]} \quad (17)$$

$A_n = P(\lambda_0 \geq n\Delta | \theta = 1), v = \frac{\pi_{01}}{1 - \pi_{01}}$ . З (14), (16), (17) слідує, що умови, які прийняті в [7] виконані, причому  $T_n = Z_n = (L_n, S_n), S_n = (m_n^{(1)}, m_n^{(2)}), S_{n+1} = S_{n+1}(x_{n+1}, Z_n)$ .

Таким чином, можна скористатись твердженням, що послідовність  $\{Z_n, n = 1, n\}$  є достатньою, а оптимальна процедура послідовного виявлення-оцінювання має вигляд наведений у [9], де  $T=Z_n$  – трьохмірна статистика відповідно (9), (15), причому у відповідності с висновками у [8]  $V_{n0}^N = V_{nn}^N, n = 1, N = 1$ .

У тому випадку, коли (4) не виконано, безпосередньо застосувати теорему 2 з [8] неможливо та задача дещо ускладнюється, однак трьохмірна статистика  $Z_n = (L_n, m_n^{(1)}, m_n^{(2)})$  залишається достовірною і в цьому випадку. Дійсно, використовуючи (1) та (17), неважко показати, що

$$R_{n1}(x_1^n, \widehat{\lambda}_n^0) = \Gamma_{n1}(Z_n) = c \sum_{i=1}^n \widetilde{\pi}_{in}, \quad (18)$$

де  $\Gamma_{n1}(Z_n) = (1 + v \Lambda_n)^{-1} \{v L_n [g_{11}(n) + F_n D_n(S_n)] + g_{01}(n) + v A_n \widetilde{g}_{11}(n)\};$   $\pi_{in} = P(\lambda_0 < i\Delta | x_1^n)$  – апостеріорна ймовірність наявності КА та моменту  $i\Delta$ .

Апостеріорний ризик  $R_{No}(x_1^N)$  визначається рівністю з [10]. За допомогою (18), (19) та рекомендацій [10] отримуємо, що оптимальна процедура на  $N$ -му кроці має вигляд:

$$u_N^0(Z_n) = \begin{cases} 1, m_N^{(i)}, L_n \geq L_N^0(D_N) \\ 0, L_n < L_N^0(D_N) \end{cases}$$

де  $L_n, m_N^{(i)}, D_N$  – знаходяться у відповідності з (8) та (9), а  $L_N^0(D_N)$  – поріг, що залежить від апостеріорної точності оцінювання моменту появи КА  $\lambda_0$ :

$$L_N^0(D_N) = \frac{v A_n [\widetilde{g}_{11}(N) - \widetilde{g}_{10}(N) + g_{01}(N) - g_{00}(N)]}{v [g_{10}(N) - g_{11}(N) - F_N D_N(S_N)]} \quad (20)$$

Наступні результати отримуємо для випадку стрибкоподібного збою послідовності при появі КА, коли виконується умова (10), або для випадку дискретного розподілу моменту  $\lambda_0$  (11). При цьому, як слідує з (13)

$$D_{n+1}(x_0^{n+1}) = D_{n+1}[Z_n(x_1^n)], n \geq 0, \quad (21)$$

де  $Z_n$  – транзитна статистика.

Використовуючи (19) – (21), (16), (18), аналогічно [4], можна показати, що найменший апостеріорний ризик (НАР) в області продовження спостережень  $V_{n0}^N = V_{n1}^N = [R_{n0}^N(x_1^n) \leq R_{n0}(x_1^n)]$  має вигляд:

$$R_{n0}^N(x_1^n) = \tilde{\Gamma}_{n0}^N(Z_n) + \sum_{i=1}^n \tilde{\pi}_{in}, \quad (22)$$

$$\text{де } \tilde{\Gamma}_{n0}^N(Z_n) = \Gamma_{n0}^N(Z_n) + \sum_{v=1}^{N-n} \frac{D_n^{(v)}(Z_n, N)}{1+v\lambda_n}, \quad (23)$$

Величини  $D_n^{(v)}$  визначаються рекурентно у відповідності з рівняннями

$$D_n^{(v)}(Z_n, N) = \int D_{n+1}^{(v-1)}[Z_{n+1}(x_{n+1}|Z_n), N] p_{0n+1}(x_n + 1) dx_{n+1}, v \geq 2, \quad (24)$$

$$D_n^{(1)}(Z_n, N) = F_{n+1} D_{n+1}(Z_n, n, N) v(L_n + \alpha_{n+1}). \quad (25)$$

Функція  $\Gamma_{n0}^N$  визначається за допомогою [11], в яких  $L_n$  замінюється  $Z_n$ , так як області

$$X_{n+1}^0(Z_n, N) = [x_{n+1}: \tilde{\Gamma}_{n+10}^N(Z_{n+1}) \leq \tilde{\Gamma}_{n+11}^N(Z_{n+1})]; \quad (26)$$

$$X_{n+1}^1(Z_n, N) = [x_{n+1}: \tilde{\Gamma}_{n+10}^N(Z_{n+1}) > \tilde{\Gamma}_{n+11}^N(Z_{n+1})]$$

залежать не тільки від  $L_n$ , але і від  $m_n^{(1)}, m_n^{(2)}$  з виразів (18) та (22) слідує, що оптимальна процедура послідовного виявлення-оцінювання КА з невідомим моментом появи при втратах (1) у загальному випадку при невиконанні умов (4) має вигляд:

$$u_N^0(Z_n) = \begin{cases} 1, m_N^{(i)}, Z_n \in V_{n1}^N \\ 0, Z_n \notin V_{n1}^N, n = 1, N \end{cases} \quad (27)$$

де  $V_{n1}^N$  - область зупинки спостережень:

$$V_{n1}^N = [Z_n: \Gamma_{n1}(Z_n) \leq F_{n0}^N(Z_n)] \quad (28)$$

Причому на  $N$ -му кроці процедура визначається співвідношенням (19) та (20).

**Висновки.** Таким чином, якщо в задачі виявлення без оцінювання моменту появи КА або при вирішенні задачі виявлення і оцінювання окремо оптимальна процедура заснована на порівнянні одновимірної статистики  $L_n$  з детермінованим порогом, то при спільному вирішенні цих завдань оптимальні області зупинки і продовження спостережень визначаються в тривимірному просторі (за допомогою рівностей (23) - (26) і (28)).

Користуючись співвідношенням (23) – (26), можна показати, що  $F_{n0}^N(\pi_n, S_n)$  є неперервною функцією  $\pi_n$  при кожному фіксованому значенні  $S_n$ . Це свідчить про можливість представлення правила (27) у вигляді

$$u_N^0(Z_n) = \begin{cases} (1, m_N^{(i)}), L_n \geq L_n^0(S_n, N) \\ 0, L_n < L_n^0(S_n, N), n = 1, N \end{cases} \quad (29)$$

де  $L_n^0(S_n, N)$ , - поріг, який знаходиться з рівності:  $\tilde{\Gamma}_{n0}^N(y, S_n) = \Gamma_{n1}(y, S_n), n = 1, N - 1$ .

Причому при  $n = N$  поріг визначається рівністю (20). Описання виразом (29) може виявитись більш зручним з практичного погляду, ніж (27) та (28).

Структура процедур виявлення виду (27) та (29) залишається оптимальною і при невиконанні умов (10) та (11). Однак співвідношення (23) – (25) при цьому вже не справжуються.

### Список використаних джерел

1. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Москва : Радио и связь, 1989. 656 с.
2. Сосулин Ю. Г. Теория обнаружения и оценивание стохастических сигналов. Изд. 2-е. Москва : Сов. радио, 2001. 323 с.
3. Ширяев А. Н. Статистический, последовательный анализ. Оптимальные правила постановки. Изд. 3-е, доп. Москва : Наука, 2002. 282 с.
4. Огірський І. Р. Загальні проблеми прогнозування НСД в інформаційних системах держави. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. 2015. Вип. 2 (30). С. 31-34.



5. Леман Э. Проверка статистических гипотез. Изд. 2-е. Москва : Наука, 2000. 418 с.
6. Кокс Д., Лбюис П. Статистический анализ последовательностей событий. Изд-е 2-е доп. Москва : Наука, 2001. 315 с.
7. Суслин Ю. Г., Фишман М. М. Теория последовательных решений и ее применение. Изд. 2-е доп. Москва : Радио и связь, 2005. 292 с.
8. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. Изд. 3-е доп. Москва : Мир, 2004. 506 с.
9. Иоффе А. Д., Тихомиров В. М. Теория экстремальных задач. Изд. 3-е. Москва : Наука, 1999. 558 с.
10. Ковалевский В.Н. Методы оптимальных решений в распознавании изображений. Изд. 2-е доп. Москва : Наука, 1996. 348 с.
11. Закс Ш. Теория статистических выводов. Изд. 2-е доп. Москва : Мир, 1995. 775 с.
12. Filus K., Domańska J., Gelenbe E. (2021) Random Neural Network for Lightweight Attack Detection in the IoT. In: Calzarossa M.C., Gelenbe E., Grochla K., Lent R., Czachórski T. (eds) Modelling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. MASCOTS 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12527. Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68110-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68110-4_5).
13. Paulo Vitor de Campos Souza, Augusto Junio Guimarães, Thiago Silva Rezende, Vinicius Jonathan Silva Araujo, Vanessa Souza Araujo (2020). Detection of Anomalies in Large-Scale Cyberattacks Using Fuzzy Neural Networks, AI 2020, 1(1), 92-116. URL: <https://doi.org/10.3390/ai1010005-07>.

### References

1. Levyn, B. R. (1989). *Teoreticheskie osnovy statisticheskoi radiotekhniki [Theoretical Foundations of Statistical Radio Engineering]*. Radyo y sviaz.
2. Sosulyu, Yu. H. (2001). *Teoriia obnaruzheniia i otsenivanie stokhasticheskikh signalov [Detection theory and estimation of stochastic signals]*. Sovetskoe radio.
3. Shyriaev, A. N. (2002). *Statysticheskyi, posledovatelnyi analiz. Optymalnye pravyla postanovky [Statistical, sequential analysis. Optimal staging rules]*. Nauka.
4. Ohirskyi, I. R. (2015) Zahalni problemy prohnozuvannia NSD v informatsiinykh systemakh derzhavy [General problems of NSD forecasting in state information systems]. *Pravove, normatyvne ta metrolohichne zabezpechennia systemy zakhystu informatsikh v Ukraini – Legal, regulatory and metrological support of the information protection system in Ukraine*, 2(30), pp. 31-34.
5. Leman, E. (2000). *Proverka statysticheskyykh hypotez [Testing statistical hypotheses]*. Nauka.
6. Koks, D. (2001). *Statisticheskii analiz posledovatelnostei sobytii [Statistical analysis of sequences of events]*. Nauka.
7. Suslyn, Yu. H. (2005). *Teoriia posledovatelnykh resheniy y ee pryomenenye [The theory of successive decisions and its application]*. Radio i sviaz.
8. De Hroot, M. (2004). *Optimalnye statisticheskie resheniia [Optimal statistical solutions]*. Nauka.
9. Ioffe, A.D. (1999). *Teoriia ekstremalnykh zadach [Theory of extreme problems]*. Nauka.
10. Kovalevskii, V.N. (1996). *Metody optimalnykh reshenii v raspoznavanii izobrazhenii [Methods of optimization in image recognition]*. Nauka.
11. Zaks, Sh. (1995). *Teoriia statisticheskikh vyvodov [Statistical inference theory]*. Mir.
12. Filus K., Domańska J., Gelenbe E. (2021). Random Neural Network for Lightweight Attack Detection in the IoT. In: Calzarossa M.C., Gelenbe E., Grochla K., Lent R., Czachórski T. (Eds.) *Modelling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. MASCOTS 2020. Lecture Notes in Computer Science*, 12527. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68110-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68110-4_5).
13. Paulo Vitor de Campos Souza, Augusto Junio Guimarães, Thiago Silva Rezende, Vinicius Jonathan Silva Araujo, Vanessa Souza Araujo (2020). Detection of Anomalies in Large-Scale Cyberattacks Using Fuzzy Neural Networks, AI 2020, 1(1), 92-116. <https://doi.org/10.3390/ai1010005-07>.

UDC 004.056.53:005.004.7

Volodymyr Khoroshko, Mykhailo Shelest, Yuliia Tkach

**DETECTION AND EVALUATION OF CYBERATTACKS IN INFORMATION NETWORKS WITH RANDOM MOMENT OF OCCURRENCE**

Detection, prevention or significant impediment to cyberattacks (CA) is one of the central areas of cybersecurity in information networks. Determining the generalized requirements for cyber protection of information networks from cyberattacks on information and assessing the degree of their security are quite difficult tasks.

There are real possibilities for unforeseen situations as a result of cyberattacks, leading to the loss of information or to its loss and loss of information network. The concept of cybersecurity of the information network on the basis of threats from cyberattacks should determine the necessary tools, methods and procedures for detection and evaluation of cyberattacks in networks. Therefore, for the effective functioning of information networks in modern conditions and means of their protection, as well as for the reliable detection and evaluation of cyberattacks, it is necessary to develop new approaches and methods, their implementation.

Some results related to joint sequential detection and evaluation were obtained in [3]. As follows from [3], in the general case, is not possible to find a constructive solution even in the two-alternative problem. Losses in the process of recognition (detection) and evaluation of a cyberattack depend on both errors in its detection and inaccuracy of evaluation, which will not provide adequate response, and there is a problem of joint development and evaluation [1, 2]. Therefore, we will try to solve this problem of multi-alternative sequential detection and evaluation of a cyberattack with a random moment of its occurrence.

Consistent detection and evaluation procedures are generally more efficient than inconsistent ones. Therefore, it is important and urgent to find optimal, consistent or close to them procedures that will increase the cybersecurity of information.

The purpose of the article is to find optimal, consistent or close to them procedures that will increase the cybersecurity of information.

Based on the probabilistic assessment, the optimal, sequential or close to them procedures are revealed in the work, which allow to increase the cybersecurity of information. The problem to build the optimal  $N$ -truncated sequential procedure for joint detection of cyberattacks (CA) and to estimate the moment of its occurrence in the loss function was solved. Statistics related to the average volume of the forecast (UOP) are analyzed. A general view of the optimal procedure for sequential detection-evaluation of a cyberattacks with an unknown moment of occurrence during these losses is proposed.

Thus, if the optimal procedure is based on comparing one-dimensional statistics  $Ln c$  with a deterministic threshold for solving the problem of detection without estimating the moment of cyberattacks or for solving the problem of detection and evaluation separately, then the optimal areas for stopping and continuation of observations are determined in three-dimensional space for solving these problems.

**Keywords:** cyberattack, information networks, cyber impact, cybersecurity.

**References:** 11.

**Хорошко Володимир Олексійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет (просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна).

**Khoroshko Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Technology Security, National Aviation University (1 Lubomir Guzara Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** professor\_va@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6213-7086>

**Шелест Михайло Євгенович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Shelest Mykhailo** – Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** mishel3141@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1090-0371>

**SCOPUS Author ID:** 57211429755

**Ткач Юлія Миколаївна** – доктор педагогічних наук, професор, завкафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Tkach Yuliia** – Doctor of Pedagogical Science, Professor, Head of Department of Cybersecurity and Mathematical Simulation, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** tkachym79@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8565-0525>

**SCOPUS Author ID:** 57193026076

УДК 62-503.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-103-108

Олексій Сопов, Анна Цитовцева

## ОСОБЛИВОСТІ МАСШТАБУВАННЯ КОНТЕЙНЕРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА БАЗІ СИСТЕМИ KUBERNETES

На сьогодні технологія контейнеризації набуває широкого поширення, та проблема масштабування є однією з найбільш важливих для підвищення продуктивності систем. Kubernetes є передовим рішенням для керування контейнерами, проте проблема масштабування залишається мало описаною та дослідженою. У цій роботі досліджено особливостей масштабування контейнерного навантаження на базі системи Kubernetes. Розкрито основні операції для досягнення горизонтального та вертикального масштабування. Описані властивості масштабованості системи Kubernetes. Стаття є оглядовою.

**Ключові слова:** Kubernetes; мікросервіс; контейнерне навантаження; масштабування; Docker.

Рис.: 4. Бібл.: 6.

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні виконання програмних застосунків в умовах контейнерної віртуалізації надає певні переваги як із фінансового боку, так і з боку продуктивності, відмовостійкості та швидкості роботи. Тому сфера розробки програмного забезпечення з використанням технології контейнеризації набуває широкого поширення в багатьох сферах бізнесу

З огляду на часті зміни навантаження на програмні продукти й різні умови їх функціонування, завдання масштабування корисного навантаження стає дедалі більш актуальним. Проблема масштабування є однією з найбільш важливих для розширення обсягу виконаних задач за період часу, тому важливо використовувати правильні схеми масштабування застосунків.

Kubernetes є передовим рішенням при роботі з контейнерами та забезпечує відносно легкі для адаптації механізми керування, проте проблема масштабування залишається слабо описаною та дослідженою, що підвищує складність переходу бізнесу на контейнерні технології, зокрема, із використанням Kubernetes.

**Постановка проблеми.** В останній час триває перехід від класичної монолітної архітектури побудови систем до сервіс-орієнтованої, або ж, найчастіше, до мікросервісної архітектури для забезпечення високого рівня доступності та відмовостійкості. Однією з найбільших переваг використання такого підходу є можливість масштабування для досягнення адекватної реакції, з огляду на часті зміни навантаження та різні умови функціонування системи загалом.

Беручи до уваги переваги використання контейнерів, окремим мікросервісом найчастіше виступає один або група об'єднаних контейнерів, які виконують ту, чи іншу задачу. Проте керування такою системою з плином часу стає доволі складним та вимагає значних зусиль. Сервіс Kubernetes [1] виконує більшість задач із керування контейнерами, їх життєвим циклом та версіями, тому є одним із найзручніших у цій сфері.

У Kubernetes корисне навантаження та інфраструктура концептуально розділені, тому є можливість виконувати масштабування на кожній складовій окремо, що призведе до появи більше ніж двох операцій для досягнення масштабування. Хоча система Kubernetes є достатньо гнучкою, проте вона була створена нещодавно, та такі особливості масштабування із розділенням концепцій є досі не описаними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З аналізу літературних джерел можна дійти висновку, що в останній час з'явилась загальна тенденція міграції до хмари та використання віртуальних машин [2]. Проблема оптимального масштабування із використанням віртуальних машин вирішена достатньо широко [3; 4]. Архітектурний стиль мікропослуг та використання контейнерного навантаження привернули значну увагу, особливо на базі системи Kubernetes.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Можна зробити висновок, що Kubernetes надає значні переваги у швидкості розробки та розгортанні застосунків на базі контейнерів, проте проблема масштабування до цього часу не отримувала значної уваги з боку наукових кіл.

**Мета статті** є дослідження особливостей масштабування контейнерного навантаження на базі системи Kubernetes. Розкрити основні операції для досягнення горизонтального та вертикального масштабування із розділенням концепцій корисного навантаження та інфраструктури. Описати властивість масштабованості системи Kubernetes.

**Виклад основного матеріалу.** У класичному розумінні масштабування застосунків поділяється на вертикальне та горизонтальне. Ці вектори масштабування є основоположними та мають різні варіації в різних системах.

Горизонтальне масштабування полягає у збільшенні кількості одиниць, що містять у собі додаток. Виконується розбиття системи на більш дрібні структурні компоненти та рознесення їх по окремих обчислювальних одиницях, або їх групах, і збільшення кількості одиниць, що паралельно виконують ту ж саму функцію.

Вертикальне масштабування полягає у збільшенні ресурсів одиниці, на якій виконується застосунок. Тобто збільшення продуктивності кожного компонента системи з метою підвищення загальної продуктивності.

При роботі в умовах контейнерної віртуалізації необхідно розуміти основні змінні, які можуть використовуватися для горизонтального та вертикального масштабування. У цьому випадку одиницею, що виконує застосунок є, безпосередньо, контейнер, який розгорнуто із деякого зображення контейнера, тобто деяка ізольована оболонка вказаного програмного коду та його залежностей.

Горизонтальне масштабування у випадку із контейнерами полягає в наступному: додається новий вузол, а саме, додається новий контейнер, який розпочато із того самого зображення, з якого розпочато і перший контейнер. Контейнер може бути розгорнуто на будь-якій фізичній або віртуальній машині, де досягнуті необхідні умови, наприклад, встановлено Docker даємон при роботі із системою контейнерної віртуалізації Docker [5].

Вертикальне масштабування полягає в зміні мінімальної/максимальної кількості ресурсів для контейнера. Можливість обмежити використання ресурсів окремим контейнером ж є однією з найважливіших складових контейнерної віртуалізації. Під ресурсами мається на увазі: процесорний час (CPU), кількість оперативної пам'яті (RAM), ресурси диску (iops). Обмеження ресурсів є необхідністю, адже необхідно контролювати максимальну кількість, яку використовує контейнер, щоб не допустити ситуації, коли один контейнер займає більшу частину ресурсів. За замовчуванням кількість ресурсів у контейнера не обмежена, проте є можливість це налаштувати за допомогою параметрів `--cpus`, `--memory`, `--device-read-bps` тощо.

Незважаючи на простоту розгортання контейнера на будь-якій обчислювальній одиниці за допомогою спеціалізованих програмних засобі, таких як Docker, перед розробниками зазвичай стають більш складні задачі: підтримка великої кількості таких контейнерів, підтримка контейнерів різного розміру, різного навантаження та їх горизонтальне та вертикальне масштабування.

Для вирішення більшості вищенаведених задач були розроблені платформи, такі як Kubernetes, що значно полегшують роботу із великою кількістю контейнерів та їх контролем. Основні структурні компоненти Kubernetes зображено на рис. 1 (для простоти більшу частину, яка не приймає участь у масштабуванні було опущено).

Тобто контейнери виконуються у середині так званих под (англ. Pod), що є найменшими одиницями керування у Kubernetes. Найчастіше, один под містить у собі лише один контейнер. Тобто у Kubernetes контейнер знаходиться всередині окремої найменшої одиниці, що може бути розгорнута, пода. Саме Pod є об'єктом для керування при масштабуванні в Kubernetes.

У Kubernetes є можливість керувати ресурсами контейнера в середині поду. Аналогічно, як і у Docker можливо керувати основними ресурсами, а саме: процесорний час (CPU), кількість оперативної пам'яті (RAM), ресурси диску (iops) [6]. Проте особливість роботи Kubernetes полягає в тому, що необхідно вказувати два параметри для ресурсів. Перший — ліміт, тобто, скільки максимально ресурсів буде використано контейнером. Другий — запит, тобто скільки мінімально ресурсів необхідно для роботи контейнера та без яких ресурсів його не буде розгорнуто на кластері.

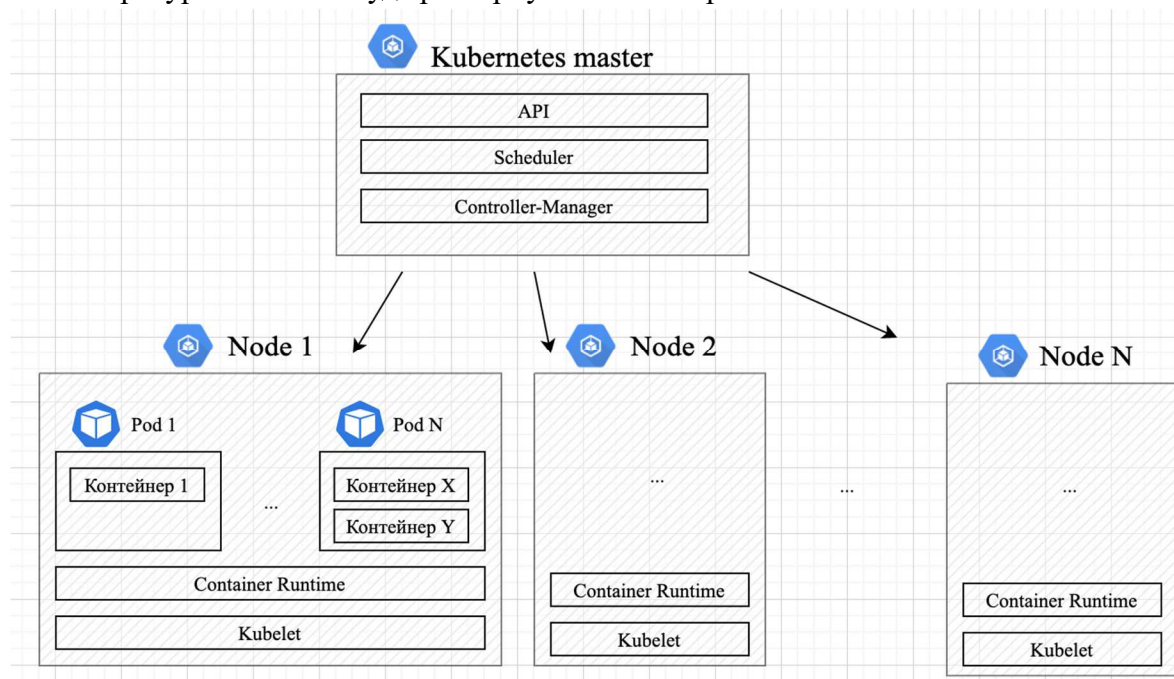


Рис. 1. Схема роботи Kubernetes

Однією з одиниць керування є ресурси контейнера всередині под: процесорний час, кількість оперативної пам'яті та ресурси диску, що можливо використовувати при виконанні масштабування.

З іншого боку, поди розгортаються на так званих нодах. Нодами можуть виступити фізичні або віртуальні машини, залежно від конфігурації кластера. Фізичні та віртуальні машини мають власну ресурсну ємність та визначають максимальну кількість под, що може бути розгорнута на них. Основними ресурсами керування для под є класичні технічні характеристики фізичної або віртуальної машини: процесорний час, кількість оперативної пам'яті та ресурси диску.

Ресурси контейнера та ресурси ноди описують необхідні ресурси для заданого навантаження та ресурсну ємність кластера та є основними змінними в роботі із кластером. Тому для масштабування використано саме ці змінні.

Тобто підсумовуючи, завдяки концепції Kubernetes у розділенні інфраструктури та додатку, два класичних типи масштабування: горизонтальне та вертикальне розширюються у двох розрізах: у розрізах інфраструктури (зміна ресурсів нод у кластері та їх кількості) та корисного навантаження (зміна ресурсів контейнерів та їх кількості).

Горизонтальне масштабування корисного навантаження в Kubernetes полягає у зміні кількості под із тим самим додатком, тобто його реплікація. Тобто той самий додаток буде виконуватися паралельно, у різних подах, завдяки чому підвищується продуктивність та максимальна пропускну здатність.

З боку інфраструктури горизонтальне масштабування полягає в додаванні нових нод до кластера, на яких можливе буде виконання нових под. Тобто збільшується кількість ресурсів, на яких можуть бути розташовані поди.

Масштабованість у цьому контексті означає можливість додавати до системи нові вузли: ноди та поди для збільшення загальної продуктивності. Це найпростіший спосіб масштабування, оскільки не вимагає ніяких змін в прикладних програмах, що працюють на таких системах. Схему горизонтального масштабування у Kubernetes у двох розрізах показано на рис. 2. Як видно, основними компонентами для горизонтального масштабування є поди (у розрізі горизонтального масштабування корисного навантаження) та ноди (у розрізі горизонтального масштабування інфраструктури).

Отже, горизонтальне масштабування у Kubernetes може проводитися у двох розрізах: корисного навантаження та інфраструктурного та у двох сегментах: зміні кількості под та зміні кількості нод.

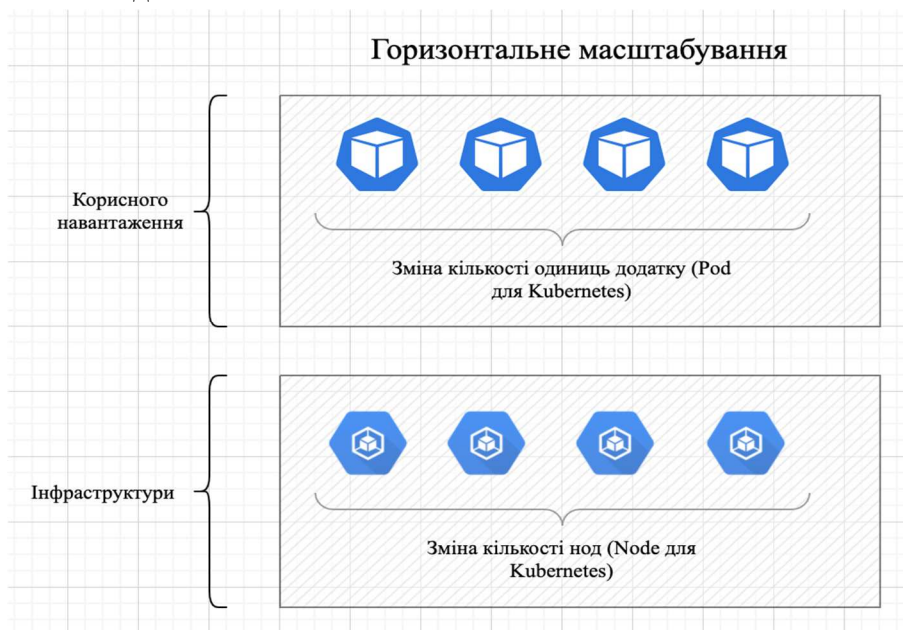


Рис. 2. Схеми горизонтального масштабування у Kubernetes

Вертикальне масштабування корисного навантаження в Kubernetes полягає у зміні кількості ресурсів, які може зайняти контейнер. Тобто, у зміні кількості дозволеного використання процесорного часу, оперативної пам'яті, мережевих та дискових ресурсів.

Вертикальне масштабування в розрізі інфраструктури полягає у зміні типу віртуальної машини, на якій виконуються контейнери, тобто, зміні потужності та кількості оперативної пам'яті на цій віртуальній машині, що дозволить змінити кількість контейнерів, що можуть бути розгорнуті.

Масштабованість у цьому контексті означає можливість замінювати в існуючій системі автоматичного компоненти більш потужними і швидкими в міру зростання вимог і розвитку технологій. Цей спосіб масштабування може вимагати внесення змін до програми, щоб програми могли повною мірою користуватися дедалі більшою кількістю ресурсів. Схему вертикального масштабування у Kubernetes у двох розрізах показано на рис. 3.

Отже, вертикальне масштабування у Kubernetes може проводитися у двох розрізах: корисного навантаження та інфраструктурного у двох сегментах: зміні ресурсів одиниці поду та зміні ресурсів одиниці ноди.

Такі схеми масштабування є основою для планування ресурсної ємності під задане навантаження в умовах контейнерної віртуалізації на платформі Kubernetes, тому можуть бути операціями для стратегій планування ресурсів та складовими у різних алгоритмах планування.





Рис. 3. Схема вертикального масштабування у Kubernetes

Підсумовуючи вищенаведені особливості масштабування, можна дійти висновку, що класичне масштабування (вертикальне та горизонтальне) у Kubernetes виконується за допомогою чотирьох незалежних операцій (схематично такі операції показано на рис. 4):

- зміна кількості под (горизонтальне);
- зміна кількості нод (горизонтальне);
- зміна розміру контейнера, та, відповідно поду (вертикальне);
- зміна розміру машин, на якій підіймається контейнери (вертикальне).

Масштабованість Kubernetes проявляється у двох розрізах: корисного навантаження та інфраструктури. Масштабованість корисного навантаження полягає у можливості додати нові вузли, тобто, поди та ноди, а вертикального – у відповідному збільшенні ресурсів вузлів.

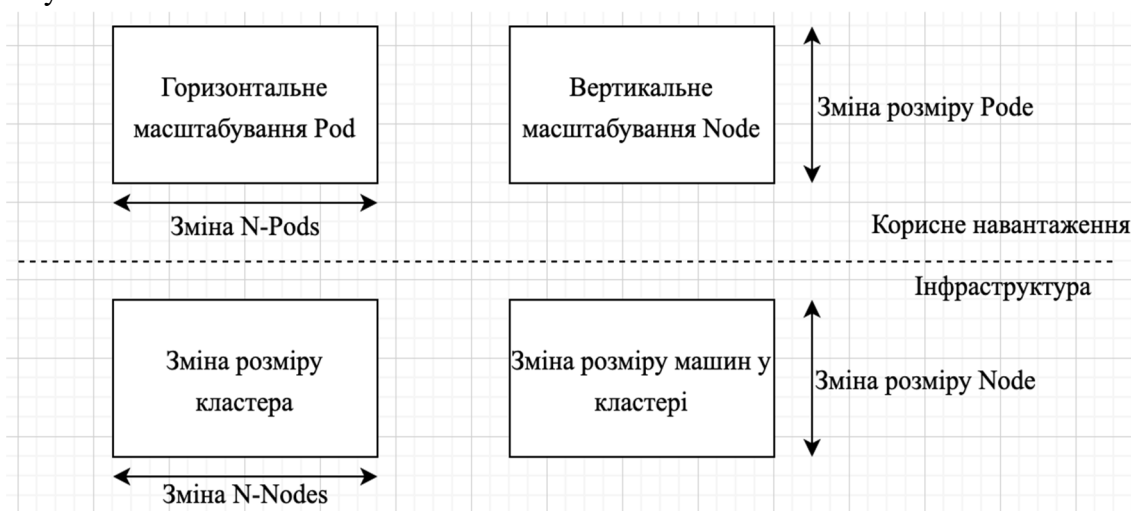


Рис. 4. Операції для досягнення масштабування у Kubernetes

**Висновки.** У цій статті були досліджені та описані особливості масштабування контейнерного навантаження на базі системи Kubernetes із розділенням концепцій масштабування інфраструктури та корисного навантаження.

Досліджено чотири основних операції масштабування у Kubernetes: у двох розрізах (корисного навантаження та інфраструктури) та у двох напрямках (горизонтально та вертикально). Горизонтальне масштабування досягається шляхом зміни кількості контейнерів, та, відповідно, под та зміни кількості машин у кластері, на яких можуть бути розгорнуті поди. Вертикальне масштабування полягає у зміні кількості ресурсів як для под, так і для машин кластера.

#### Список використаних джерел

1. Офіційний портал Kubernetes. URL: <https://kubernetes.io/>.
2. Sam Newman. Building Microservices: Designing Fine-Grained System. O'Reilly, 2015. 251 с.

3. Теленик С. Ф., Ролик А. І., Жаріков Е. В. Управление распределением виртуальных машин в под. *Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2016. № 64. С. 90-99. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20434/1/64-13-Telenyk.pdf>.
4. Жаріков Е. В., Коваль А. А., Терентьев Р. А. Динамічне розміщення віртуальних машин на основі навчання з підкріпленням в хмарних центрах обробки даних. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2017. № 13. [http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017\\_13\\_4.pdf](http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017_13_4.pdf).
5. Офіційний портал Docker. URL: <https://www.docker.com/>.
6. Конфігурація ресурсів для Docker. URL: [https://docs.docker.com/config/containers/resource\\_constraints/](https://docs.docker.com/config/containers/resource_constraints/).

### References

1. Kubernetes official portal. <https://kubernetes.io/>.
2. Sam, Newman. (2015). *Building Microservices: Designing Fine-Grained System*. O'Reilly (pp. 251).
3. Telenyk, S., Rolik, A., Jarikov, E. (2016). Managing the distribution of virtual machines in the data center. *Bulletin of NTUU "KPI" Informatics, management and computer engineering*, (64), pp. 90–99. <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20434/1/64-13-Telenyk.pdf>.
4. Jarikov, E., Koval, A., Terentiev, R. (2017). Dynamic deployment of virtual machines based on training with reinforcement in cloud data centers. *Scientific news of Daliv University*, (13). [http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017\\_13\\_4.pdf](http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017_13_4.pdf).
5. Docker official portal. <https://www.docker.com/>.
6. Docker resources configuration. [https://docs.docker.com/config/containers/resource\\_constraints/](https://docs.docker.com/config/containers/resource_constraints/).

UDC 62-503.5

*Oleksii Sopov, Anna Tsytovtseva*

### FEATURES OF SCALING CONTAINER LOAD IN KUBERNETES SYSTEM

*Today, the field of software development using container technology is becoming widespread in many areas of business, and the problem of scaling is one of the most important to achieve the expansion of the volume of tasks performed over time, so it is important to use the right scaling schemes. Kubernetes requires relatively easy-to-adapt container management mechanisms, but the problem of scaling them remains poorly described and researched, which increases the complexity of the business transition to container technologies and, in particular, the Kubernetes system.*

*Thanks to the separation of infrastructure and payload concepts in Kubernetes, the classic scaling methods – horizontal and vertical – are revealed in each component separately. Although the Kubernetes system is quite flexible, it has only recently been developed, and the features of scaling with concept separation have not yet been described.*

*Actual scientific researches and issues analysis showed that there is a general trend towards cloud migration recently. In this context, the architectural style of microservices and the use of container load has attracted considerable attention, especially based on the Kubernetes system. It can be concluded that Kubernetes has significant advantages in the speed of development and deployment of container-based applications, but the problem of scaling and features of horizontal and vertical scaling in Kubernetes has not received much attention from academia so far.*

*The aim of the work is to study the features of scaling the container load based on the Kubernetes system. To explain the basic operations to achieve horizontal and vertical scaling. To describe the scalability property of the Kubernetes system.*

*This work reveals the main architectural features of Kubernetes, the principles of working with applications in container virtualization. The main methods of regulating the resource capacity of containers are shown. The concepts of horizontal and vertical scaling in the Kubernetes system with an indication of scalability properties are revealed. The main operations for scaling in the Kubernetes system in the context of separation of payload and infrastructure concepts are given.*

*In this article the features of container load scaling based on the Kubernetes system with a separation of the concepts of payload and infrastructure scaling were investigated and described. This article is a review.*

**Keywords:** *Kubernetes; microservice; application containers; scaling; docker.*

*Fig.: 4. References.: 6.*

**Сопов Олександрівч** — студент-магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Sopov Oleksii** — master student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [sopov.alax.a@gmail.com](mailto:sopov.alax.a@gmail.com)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0389-3070>

**Цитовцева Анна Сергіївна** — студентка-магістрантка, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Tsytovtseva Anna** — master student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).



УДК 528.481

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-109-117

*Ігор Карпачев, Володимир Казимир*

## ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ДОДАТКІВ ОС АНДРОІД ПО СИГНАТУРІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЛАНЦЮЖКА

*На сьогодні операційна система Андроїд представляє собою розповсюджену мобільну платформу номер один, яка дає функціональну свободу користувачеві. Саме широке розповсюдження ОС робить її привабливим середовищем для зростаючої кількості шкідливого програмного забезпечення. У цій статті запропоновано використовувати методи із біоінформатики для прискорення пошуку збігу послідовностей шкідливих ланцюжків API функцій. Описаний комбінований метод динамічного порівняння послідовностей API викликів, в якому використовуються алгоритми локального та глобального вирівнювання. Обґрунтовані переваги запропонованого методу перед існуючими підходами.*

**Ключові слова:** СФЛД; ОС Андроїд; API функція; вирівнювання послідовностей.

*Табл.: 1. Рис.: 6. Бібл.: 12.*

**Актуальність теми дослідження.** Популярність та впровадження смартфонів сильно стимулювали розповсюдження шкідливого програмного забезпечення для мобільних пристроїв, особливо на таких популярних платформах, як Android. У світлі цього виникає нагальна потреба у розробці ефективних рішень по захисту користувача від всіх видів зовнішніх загроз. Однак захисна здатність значною мірою ускладнена обмеженим розумінням нових мобільних шкідливих програм та відсутністю своєчасного доступу до відповідних додатків. Динаміка розповсюдження шкідливих мобільних додатків операційної системи Android [1] свідчить про неймовірний рівень погіршення стану як інформаційної, так і функціональної безпеки користувачів мобільних пристроїв.

**Постановка проблеми.** Для ідентифікації та пошуку шкідливих додатків традиційно використовуються два основних способи моніторингу – статичний та динамічний. Після виходу шостої версії операційної системи Android, яка значно удосконалила систему запитів дозволів, значно ускладнився статичний аналіз додатку на етапі інсталяції. Це сприяло посиленню подальшого розвитку динамічних систем аналізу мобільних додатків. На сьогоднішній день існує багато спроб систематично охарактеризувати шкідливі додатки з різних аспектів [2; 3], включаючи способи їх встановлення, механізми активації, а також характеристики та здатність обійти виявлення з боку існуючого мобільного антивірусного програмного забезпечення. Саме остання властивість вимагає необхідності кращої розробки мобільних анти-зловмисних програмних комплексів наступного покоління. Кожен мобільний додаток взаємодіє з ОС за допомогою виклику API функцій SDK. Це дає можливість відслідкувати його дію за допомогою системи динамічного функціонального трасування. Отже, автоматична побудова сигнатури функціонального ланцюжка додатку (СФЛД) викликів API може допомогти заздалегідь визначити й повідомити користувача або розробника про потенційно-небезпечну поведінку мобільних додатків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз показав, що проблеми безпеки ОС Android пов'язані насамперед із недосконалою системою привілеїв, яка має зручний та ефективний механізм відображення дозволів при встановленні користувачами нових додатків [4], але все ж таки залишає зловмисникам доступ до функціональних вузлів та чутливих даних. Значна кількість досліджень була присвячена вивченню способів виявлення шкідливих програм перед їх встановленням. Наприклад, TaintDroid, DroidRanger, DroidScope [5] можуть контролювати поведінку програм під час виконання. Водночас такі системи, як Kirin [6], ідентифікують шкідливе програмне забезпечення за допомогою статичного аналізу. Обидва методи мають переваги і недоліки. Наприклад, динамічна ідентифікація шкідливого додатку створює навантаження для ресурсів мобільного пристрою, і не завжди може бути застосована, якщо продуктивність є критичною. Так, програмне забезпечення для статичного аналізу не спричиняє таких додаткових витрат під час вико-



Таким чином, повну вхідну СФЛД можна представити в вигляді набору псевдосимволів, які значно швидше порівнювати при використанні будь-якого алгоритму вирівнювання послідовностей, а також можна легко трансформувати в первинну форму (рис. 2).



Рис. 2. Схема генерації псевдосимволу СФЛД

Детально розглянути трансформацію вхідної функції можна на прикладі функції `android.net.ConnectivityManager.setProcessDefaultNetwork`. Побудова псевдосимволу починається в зворотному порядку, тобто спочатку знаходиться індекс функції в таблиці функцій SDK. Далі знаходиться позиція дозволу зі списку `android.permissions` в який входить дана функція, та група, до якої входить знайдений дозвіл. У результаті вхідна функція буде мати вигляд G5P9C12 (рис. 3).

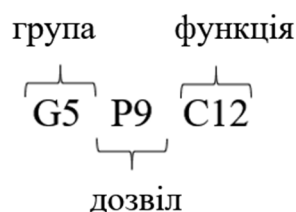


Рис. 3. Детальний опис псевдосимволу API функції SDK Android

Таким чином, будь яка вхідна послідовність буде спочатку трансформуватися в псевдосимвол для подальшої обробки з метою пошуку збігу. В наведеному прикладі початкова строкова репрезентація має 56 символів а трансформована послідовність містить лише 6 символів. Такий підхід не тільки покращить продуктивність алгоритму порівняння СФЛД а також буде використаний для нотифікації користувача, тому що такий запис одразу дає можливість зрозуміти який це тип загрози.

## 2. Побудова СФЛД на базі проекту “Malgenome”

Для побудови бази шаблонних СФЛД у межах цієї роботи було використано набір ланцюжків на базі дослідницького проекту Malgenome [7; 8]. Проект являє собою набір метаданих представлена у файлі формату `.csv` (`malgenome_dataset.csv`). Кожен стовпчик в файлі являє собою довгу комбінацію API викликів та запитів на дозволи від операційної системи Android. Рядки описують наявність виклику в бінарному форматі «0» або «1». Приклад фрагмента шкідливого додатку показано на рис. 4.

1	READ_PHONE_STATE	getBinder	ClassLoader	Landroid.content.Context.registerReceiver	Ljava.lang.Class.getField	Landroid.content.Context.unregisterReceiver
2		1	0	0	1	0

Рис. 4. Фрагмент сигнатури функціонального ланцюжку з проекту Malgenome

Перший етап в побудові бази СЛФД полягає в обробці всіх ланцюжків із проекту Malgenome шляхом зчитування та подальшої фільтрації виключно функціональних викликів Android SDK. Таким чином, після зчитування, отримуємо ланцюжок API викликів, який разом з метаданими можна зберегти у базі даних за структурою, аналогічній, що наведена в таблиці.

Таблиця. API виклики та призначені їм псевдосимволи

Номер послідовності	API виклик	Псевдо символ
1	FileInputStream.getChannel	A
2	FileChannel.map	B
3	File.delete	C
4	FileInputStream.close	D
5	Ljava.lang.Class.getField	E
6	File.exists	F
7	AlertDialog.Builder	G
8	alertDialog.setCancelable	H
9	android.os.IBinder.bindService	I

Слід зазначити, що фізична доступність арк файлу певної програми додає додаткового потенціалу для використання різних способів реверсивного інжинірингу при вивченні особливостей саме цього представника сімейства шкідливих додатків. Такий підхід дозволяє дещо розширити спектр евристичного аналізу для подальшого удосконалення методу виявлення потенційно шкідливих програм.

### 3. Порівняння СФЛД

Сама СФЛД окремо не має в собі корисної інформації без порівняння її з іншими елементами, про які наявна якась початкова інформація. СФЛД з проекту Malgenome вже класифікувались як шкідливі програмні додатки користувачами або дослідниками в галузі інформаційної та функціональної безпеки мобільних пристроїв. Таким чином, задачу порівняння двох СФЛД можна умовно звести до послідовного порівняння двох строкових послідовностей з метою пошуку повного збігу або ступеня схожості. На перший погляд задача виглядає тривіальною, але при детальнішому розгляді стає зрозуміло, що простий перебір дуже швидко перестає бути практично доцільним.

Розглянемо простий приклад пошуку, якщо база СФЛД складається з  $m$  послідовностей розміром  $n$  та цільовим розміром порівнюваного фрагмента  $d$  ( $d \geq n$ ). Згідно із заданими параметрами, може бути розроблений алгоритм „грубої сили”, який буде:

- 1) перераховувати кожен підпослідовність розміру  $d$  з кожної послідовності  $m$ ;
- 2) нумерувати та зберігати кожен підпослідовність розміру  $d$  від кожної послідовності  $m$ ;
- 3) порівнювати кожен залишок ланцюжка першої підпослідовності, починаючи з позиції збігу з кожним API викликом у тому самому положенні другої підпослідовності.

Результатом роботи даного алгоритму є набір підпослідовностей, які відповідають лише підпослідовностям з однієї шаблонної вибірки.

Можна оцінити складність даного алгоритму. Крок номер 1 буде виконаний  $m \times (n - d)$  разів, або  $O(m \times n)$ , крок 2 буде виконаний  $(m - 1) \times (n - d)$  разів, або  $O(m \times n)$  разів, крок 3 буде включати в гіршому випадку  $d$  порівнянь, тож  $O(d)$ . Таким чином, обчислювальна складність алгоритму «грубої сили» становить:

$$O(m^2 \times n^2 \times d).$$

Навіть для досить невеликого набору СФЛД, де  $n \approx 10^2$ ,  $m \approx 10^1$  і  $d \approx 10^1$  (тобто в простому випадку 10 послідовних API викликів), алгоритм вже включає  $10^7$  операцій, що створює дуже серйозні проблеми навіть для сучасних апаратних конфігурацій. Треба також зауважити, що під час виконання алгоритму «грубої сили», припускаючи гіпотетично оптимальний сценарій пошуку, кожен API виклик кожної послідовності у шаблонному наборі доведеться проходити принаймні один раз, тобто складність оптимального алгоритму становить принаймні  $O(m \times n)$  операцій. Очевидно, що алгоритми, які ґрунтуються на простому послідовному переборі, погано масштабуються та будуть чутливими до збільшення масиву оброблюваних даних [9].

Біоінформатика займається вирішенням подібних задач, а саме порівнянням послідовностей структур білків на предмет схожості або ідентичності. Оцінка подібності між біологічними послідовностями є одним із основних засобів, за допомогою якого біоінформатика сприяє розумінню біології.

Вирівнювання послідовностей – це процес порівняння різних послідовностей шляхом пошуку серії окремих символів або шаблонів символів, що мають однакове розташування в обох послідовностях. Взагалі існує три основних типи вирівнювання послідовностей: попарне вирівнювання послідовностей, багаторівневе вирівнювання послідовностей та структурне вирівнювання послідовностей. Вирівнювання парних послідовностей одночасно може використовуватися лише між двома послідовностями. Вирівнювання декількох послідовностей – це продовження попарного вирівнювання, що включає більше двох послідовностей одночасно. Структурне вирівнювання послідовностей аналізує всю структуру білкової ланцюга, на відміну від попарного та багаторівневого вирівнювання послідовностей і здебільшого візуалізується тривимірно.

Попарне вирівнювання послідовностей, у свою чергу, може бути локальним або глобальним. У той час як локальні вирівнювання знаходять найкращий збіг між двома послідовностями, глобальні вирівнювання знаходять найкращий збіг за загальною довжиною різних послідовностей, що беруть участь у вирівнюванні. Серед методів, що забезпечують попарне вимірювання найбільшу популярність отримали метод глобального вирівнювання, який базується на алгоритмі Нідлмана-Вунша, та метод локального вимірювання на основі алгоритму Сміта-Вотермана [10]. Останній, у свою чергу, є нічим іншим, як модифікацією алгоритму Нідлмана-Вунша. Незважаючи на той факт, що методи, представлені вище, були результатом еволюції різних наук, таких як інформатики, біоінформатики та інших, їх застосування не обмежується лише цими галузями. Нині вони знаходять своє застосування в ідентифікації, оцінці, розумінні та прогнозуванні змін білка, системній біології, обчислювальній еволюційній біології та інших. Найпоширенішими біоінформативними інструментами для досягнення цієї мети є базовий інструмент локального пошуку вирівнювання BLAST, та швидке вирівнювання FASTA [11], які проводять порівняння між парами послідовностей на основі регіонів локальної подібності.

#### 4. Комбінування методів вирівнювання СФЛД

Після побудови бази шаблонних шкідливих додатків та їх метаданих в першу чергу виникає проблема продуктивного пошуку по достатньо великому масиву даних. Проблему продуктивності системи потрібно розглядати комплексно використовуючи як провідні алгоритми пошуку в реляційних базах даних так і ефективні алгоритми пошуку фрагментованого співпадіння послідовностей. На сьогодні існує багато способів підвищити продуктивність пошуку строкового рядку в базі даних як наприклад Full Text Search (FTS) [12]. У межах цієї роботи було використано індексування стовпчика з функцією API виклику а також з псевдосимволом відповідного виклику, що погіршило продуктивність при побудові шаблонної бази даних, але дасть значне покращення по строковому пошуку вже після вставки (якщо проаналізувати частоту запису та зчитування інформації з шаблонної бази даних то очевидно що кількість зчитування значно перевищить кількість запису, тому ми можемо знехтувати втратами продуктивності при додаванні нової інформації).

Метод перебору разом з алгоритмом глобального вирівнювання послідовностей Нідлмана-Вунша працює достатньо швидко коли кількість порівнюваних послідовностей не велика, що не відповідає дійсності в нашому випадку. База даних складається з початкової бази шаблонних послідовностей:

$$СФЛД_{initial} = \{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\},$$

де  $C_i$  – послідовність API викликів;  $n$  – кількість ланцюжків у базі даних.

Зрозуміло, що розмір бази даних з часом буде тільки збільшуватись, у такому випадку продуктивність виконання буде погіршуватись лінійно зі збільшенням розміру бази СФЛД.

Метод глобального вирівнювання послідовностей Нідлмана–Вунша вирівнює послідовності по всій довжині ланцюжка та дає повну картину співпадіння, але використання цього методу під час отримання першої послідовності, яка буде значно менша шаблонної СФЛД, потребує, по-перше, значних обчислювальних потужностей, а по-друге, є вірогідність пропустити схожість фрагментованої послідовності на якійсь ділянці шаблонної СФЛД, що у свою чергу призведе до помилки першого роду. Тому на першому етапі (ініціалізаційному) необхідне використання більш чутливого алгоритму пошуку співпадіння послідовностей, а саме використовувати алгоритм локального вирівнювання Сміта-Ватермана, для того щоб побудувати підмножину всіх СФЛД, яка містить спільні ділянки з фрагментованою послідовністю. У процесі ініціалізаційного пошуку також необхідно зберегти набір метаданих, які будуть використані в подальшій агрегації ланцюжків:

- фрагмент клієнтської СФЛД, який використовувався в локальному пошуку;
- початкову та кінцеву позицію співпадіння в шаблонному СФЛД;
- строковий токен, який унікально ідентифікує клієнтській мобільний пристрій.

Після збереження клієнтської послідовності та всіх метаданих на сервері кожен наступний запит з таким самим токеном буде оброблений з урахуванням попередньо збережених метаданих. Оскільки клієнтський програмний додаток знімає сигнатури викликів на протязі якогось часового інтервалу  $Q$ , то послідовність функцій АРІ викликів майже завжди буде фрагментована (рис. 5), а отже, кожен клієнтський запит, у контексті сервера, повинен мати стан, який допоміг би ідентифікувати та аналізувати декілька послідовних запитів, що містять фрагментовані СФЛД від того ж самого клієнта.

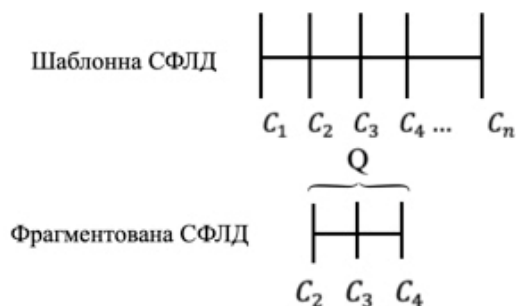


Рис. 5. Вхідна фрагментована СФЛД в порівнянні з шаблонною СФЛД

Блок-схема алгоритму обробки вхідної послідовності СФЛД представлена на рис. 6.

У контексті СФЛД викликів ключову роль відіграє саме послідовність АРІ викликів, тобто при повторному зверненні клієнтського програмного додатку з таким самим токеном потрібно зробити конкатенацію фрагментованих послідовностей:

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

де  $C_t$  – агрегація фрагментованих послідовностей клієнтського мобільного пристрою з токеном  $t$ ,  $n$  – кількість запитів.

Ідеальний показник порівняння СФЛД (показник ідентичності) повинен бути добре обґрунтованими та зрозумілими, мати одне «підсумкове» число у фіксованому діапазоні - наприклад, від 0% (повністю не збігаються) до 100% (повністю збігаються), так і вторинний показник подібності, який буде показувати можливе відхилення фрагментованого ланцюжка від шаблонної послідовності. Можливі мінімальні зміни в структурах СФЛД не повинні призводити до значних стрибків в розрахункових значеннях міри подібності. Показник повинен фіксувати подібність або відмінності між структурами СФЛД на будь-якому заданому рівні точності або подібності.

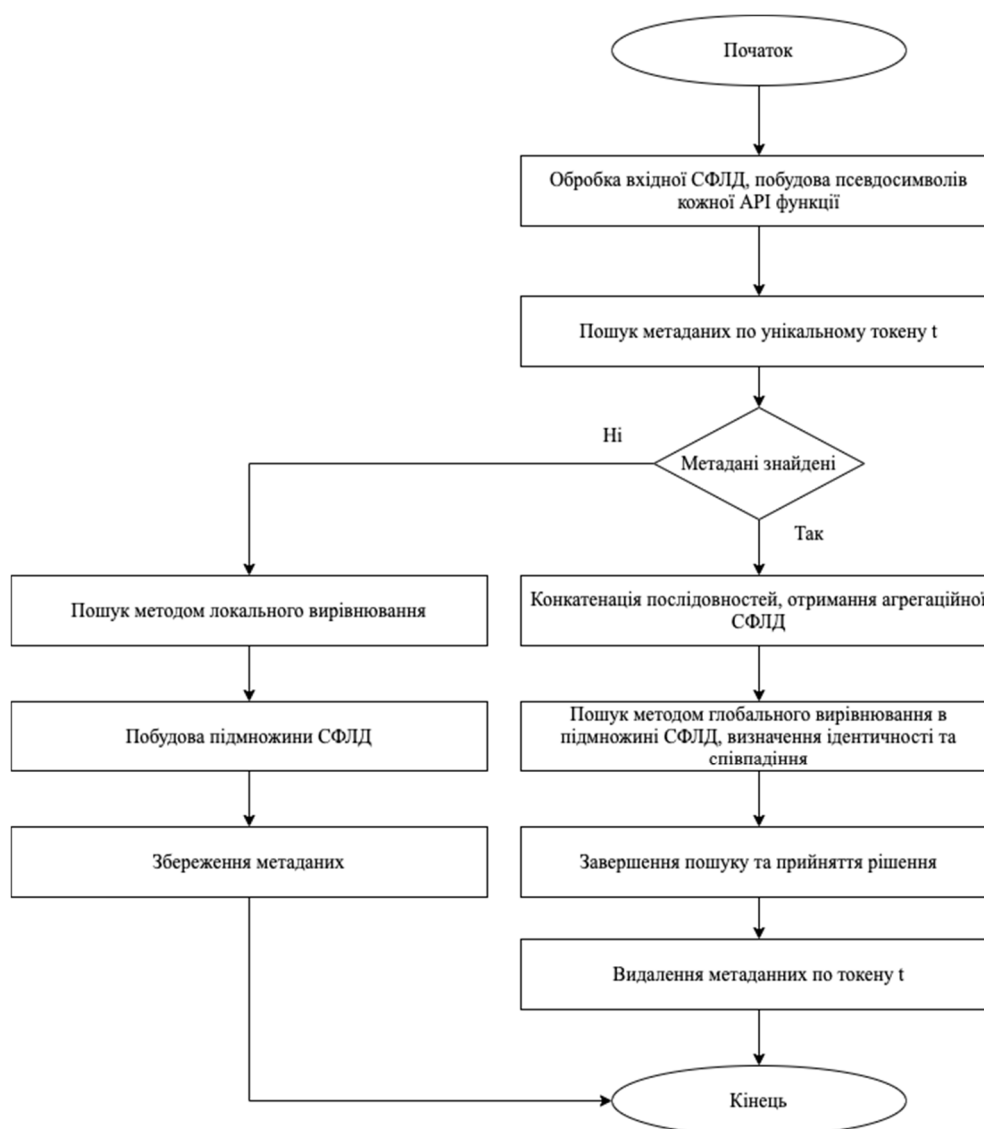


Рис. 6. Блок-схема ітеративного алгоритму пошуку співпадіння шкідливих СФЛД

Ідентичність послідовності - це кількість символів, які точно співпадають між двома різними послідовностями. Пропуски не враховуються та вимірювання стосується коротшої з двох послідовностей. Це призводить до того, що ідентичність послідовності не є транзитивною, тобто якщо послідовність  $A = B$  і  $B = C$ , то  $A$  не обов'язково дорівнює  $C$  в тому випадку, якщо в усіх трьох порівняннях використовувалося одна і та сама формула обрахунку якості порівняння. Для того щоб вирахувати ідентичність двох послідовностей, використовується формула:

$$\frac{N}{\min(\text{length}(C_1), \text{length}(C_2))}$$

де  $N$  – кількість співпадіння яка ділиться на мінімальну довжину ланцюжків  $C_1$  та  $C_2$ .

У такому випадку, якщо ідентичність пари  $(C_1, C_2) = 100\%$ , ідентичність  $(C_2, C_3) = 100\%$ , то можлива ситуація коли ідентичність  $(C_1, C_3) = 85\%$ . Отже, 100% ідентичність не означає, що дві послідовності однакові. Знаходження подібності послідовностей надає можливість ефективного узгодження двох або більше послідовностей та забезпечує мінімальну кількість операцій редагування (вставки, видалення та заміни) шляхом перетворення однієї послідовності в точну копію іншої послідовності, що вирівнюється. Наприклад, для трьох порівнюваних послідовностей:

C1: AAGGCTT

C2: AAGGC

C3: AAGGCAT

може використовувалося одна і та сама формула обрахунку якості порівняння. Використовуючи такий підхід, відсоткова подібність послідовностей  $C_1, C_2, C_3$  для наведеного прикладу становить: подібність  $(C_1, C_2) = 60\%$ , подібність  $(C_2, C_3) = 60\%$ , подібність  $(C_1, C_3) = 86\%$ .

**Висновки.** ОС Android вимагає постійних удосконалень та оновлень з погляду безпеки насамперед завдяки високому охопленню користувачів та зростаючій популярності. Системи динамічного аналізу демонструють високу ефективність та переваги у захисті операційної системи від сучасного шкідливого програмного забезпечення шляхом постійного аналізу взаємодії програми із середовищем ОС. Комбінування існуючих підходів біоінформатики до аналізу та порівняння послідовностей є ефективним засобом вирішення задачі пошуку шкідливих додатків.

#### Список використаних джерел

1. Buthaina Mohammed AL-Zadjali. A critical evaluation of vulnerabilities in Android OS (Forensic Approach). : In International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). Volume 130, No.5, 2015. P. 38-42.
2. Lasheras F., Comminello D., Krzemien A. Advances in complex systems and their applications to cybersecurity. Complexity, Hindawi, 2019. P. 1-2.
3. Allen G. Android Security and Permissions. Beginning Android, 2015. P.343–354.
4. Elenkov N. Android Security Internals: An In-Depth Guide to Android's Security Architecture. No Starch Press; 1st edition, 2014. 401 p.
5. Kathy Wain Yee Au, Yi Fan Zhou, Zhen Huang. PScout: Analyzing the Android Permission Specification. In: CCS '12: Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security, 2012. P. 217–228.
6. Arp D., Spreitzenbarth M., Hubner M., Gascon H., Rieck K. Drebin: Effective and explainable detection of android malware in your pocket. In: Proc. of Annual Symposium on Network and Distributed System Security (NDSS). The Internet Society, 2014. P. 23–26.
7. Yajin Zhou, Xuxian Jiang. Android Malware Genome Project. URL: - <http://www.malgenomeproject.org/>.
8. Suleiman Yerima. Android malware dataset for machine learning 1. URL: - [https://figshare.com/articles/dataset/Android\\_malware\\_dataset\\_for\\_machine\\_learning\\_1/5854590/1](https://figshare.com/articles/dataset/Android_malware_dataset_for_machine_learning_1/5854590/1).
9. Zahariev M, Dahl V., Chen W. Efficient algorithms for the discovery of DNA oligonucleotide barcodes from sequence databases. Molecular Ecology Resources, vol. 9, issues 1, Special Issue: Special Issue on Barcoding Life, 2009. P. 58-64.
10. Jones, N., Pevzner, P.: An introduction to bioinformatics algorithms. Massachusetts Institute of Technology. A Bradford book, 2004. – 435 p.
11. Eric S. Donkor, Nicholas T. K. D. Dayie, Theophilus K Adiku. Bioinformatics with basic local alignment search tool (BLAST) and fast alignment (FASTA). Journal of Bioinformatics and Sequence Analysis, vol. 6(1), 2014. P. 1-6.
12. Hilary Cotter. Search me: using SQL Server full-text search, 2007. URL: [https://cdn.ttgtmedia.com/searchSQLServer/downloads/insider\\_fulltextsearch\\_0121.pdf](https://cdn.ttgtmedia.com/searchSQLServer/downloads/insider_fulltextsearch_0121.pdf).

#### References

1. Buthaina Mohammed AL-Zadjali. A critical evaluation of vulnerabilities in Android OS (Forensic Approach). : In International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). Volume 130, No.5, 2015. P. 38-42.
2. Lasheras F., Comminello D., Krzemien A. Advances in complex systems and their applications to cybersecurity. Complexity, Hindawi, 2019. P. 1-2.
3. Allen G. Android Security and Permissions. Beginning Android, 2015. P.343–354.
4. Elenkov N. Android Security Internals: An In-Depth Guide to Android's Security Architecture. No Starch Press; 1st edition, 2014. 401 p.



5. Kathy Wain Yee Au, Yi Fan Zhou, Zhen Huang. PScout: Analyzing the Android Permission Specification. In: CCS '12: Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security, 2012. P. 217–228.
6. Arp D., Spreitzenbarth M., Hubner M., Gascon H., Rieck K. Drebin: Effective and explainable detection of android malware in your pocket. In: Proc. of Annual Symposium on Network and Distributed System Security (NDSS). The Internet Society, 2014. P. 23–26.
7. Yajin Zhou, Xuxian Jiang. Android Malware Genome Project. URL: - <http://www.malgenomeproject.org/>.
8. Suleiman Yerima. Android malware dataset for machine learning 1. URL: - [https://figshare.com/articles/dataset/Android\\_malware\\_dataset\\_for\\_machine\\_learning\\_1/5854590/1](https://figshare.com/articles/dataset/Android_malware_dataset_for_machine_learning_1/5854590/1).
9. Zahariev M, Dahl V., Chen W. Efficient algorithms for the discovery of DNA oligonucleotide barcodes from sequence databases. Molecular Ecology Resources, vol. 9, issues 1, Special Issue: Special Issue on Barcoding Life, 2009. P. 58-64.
10. Jones, N., Pevzner, P.: An introduction to bioinformatics algorithms. Massachusetts Institute of Technology. A Bradford book, 2004. – 435 p.
11. Eric S. Donkor, Nicholas T. K. D. Dayie, Theophilus K Adiku. Bioinformatics with basic local alignment search tool (BLAST) and fast alignment (FASTA). Journal of Bioinformatics and Sequence Analysis, vol. 6(1), 2014. P. 1-6.
12. Hilary Cotter. Search me: using SQL Server full-text search, 2007. URL: - [https://cdn.ttgtmedia.com/searchSQLServer/downloads/insider\\_fulltextsearch\\_0121.pdf](https://cdn.ttgtmedia.com/searchSQLServer/downloads/insider_fulltextsearch_0121.pdf).

UDC 528.481

*Ihor Karpachev, Volodymyr Kazymyr*

## ANDROID MALWARE DETECTION BY FUNCTIONAL CHAIN SIGNATURE

*Mobile devices are at the epicenter of modern growing demand of people staying interconnected and being able to solve their everyday tasks online. That is why, mobile devices captured more than half of the market of computing and communication systems, which led to extreme urgency of general protection of mobile applications, user data and functional security.*

*Most of existing security measures provided by OS Android are based on preventive actions and system restrictions in order to ensure platform security in general. Considering significant delay in resolving security issues and potential risk to lose private data or even disruption in functional safety of the system there is a necessity of an extra safety unit on top of existing general security system, which will help to notify user of potentially malicious software at the executing stage in runtime.*

*Development of a method for ensuring the functional safety of Android mobile device is a complex task. Every android application generates digital trace when using Android SDK in order to communicate with Android OS resources. Application execution signature chain (AESC) is a sequence of functions called from android application to Android OS via SDK. The aim of AESC is to model the chain of API calls and match it with patterns during malware detection.*

*The Niedlmann – Wunsch global alignment method aligns sequences along the entire length of the chain and gives a complete picture of the match, but using this method to obtain the first sequence, which will be much smaller than the template AESC, requires significant computing power first, and the second is the probability skip the similarity of the fragmented sequence in any part of the template AESC, which in turn will lead to an error of the first kind. Therefore, at the first stage (initialization) it is necessary to use a more sensitive sequence matching algorithm, namely to use the Smith-Waterman local alignment algorithm to build a subset of all AESC, which contains common areas with a fragmented sequence. Combining existing approaches to bioinformatics analysis is an effective means of solving the problem of finding malicious applications.*

**Keywords:** AESC; Android OS; API function; sequence alignment.

*Fig.: 6. References.: 12.*

**Карпачев Ігор Ігорович** – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Karpachev Igor** – PhD student, Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** benchakalaka@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1910-3264>

**ResearcherID:** R-3626-2016

**Казимир Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kazymyr Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vvkazymyr@gmail.com

**ORCID ID:** [orcid.org/0000-0001-8163-1119](https://orcid.org/0000-0001-8163-1119)

**Scopus Author ID:** 56644727300

УДК 62-503.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-118-127

Олександр Похиленко, Павло Катін

**ПАТЕРН «СТАН» ДЛЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ  
З МОЖЛИВІСТЮ ДИНАМІЧНОГО СТВОРЕННЯ СТАНІВ**

У сучасних технічних системах (ТС), що є вбудованими системами, які поєднують декілька технологій програмування, виникає потреба додавання станів у ході роботи за командою від головного контролера (ГК) без перезавантаження програмної частини допоміжного контролера реального часу (ДКРЧ). У статті розглядається вирішення задачі стикування програмної частини ГК, що може мати елементи штучного інтелекту, і ДКРЧ для виконавчих механізмів. Запропоноване рішення задачі з застосуванням патерну Стан, що дозволяє додавати стани в кінцевий автомат без перезавантаження програмної частини ТС реального часу.

**Ключові слова:** вбудована система; фінансово-економічна система, система реального часу, мікроконтролер, динамічне додавання станів до патерну Стан, кінцевий автомат.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** На теперішній час актуальними й поширеними є вбудовані системи (ВС) на основі складних програмних рішень, що поєднують у собі декілька технологій програмування. Наприклад, програмна частина банківського автомату (Automated teller machine) включає у себе програми управління механічними пристроями (прийом і видача грошей) і програми мережевих технологій (передача даних). До ВС зі складними програмними частинами можна віднести: фінансово-економічні системи, системи управління рухом наземних і повітряних об'єктів, медичні системи тощо.

Складну ВС умовно можна поділити на дві базові складові, одна з яких виконує роль головного контролера, що описано у [1]. Головний контролер (ГК) може вирішувати відносно складні задачі під управлінням операційної системи (ОС), а саме: забезпечувати роботи бази даних (БД), реалізовувати програмну складову штучного інтелекту, обробляти відео і аудіо інформацію, тощо.

Друга частина складної ВС опитує датчики і керує виконавчим механізмом у реальному часі. Будемо назвати цю частину допоміжним контролером реального часу (ДКРЧ) [1]. Апаратно його доцільно реалізовувати на базі мікроконтролера (МК) архітектури Advanced RISC Machine (ARM) Cortex-M [1; 2], доступні інші апаратні рішення. Програма даних МК може бути побудована у вигляді шаблону (патерна) Стан. Він реалізує роботу математичної моделі кінцевого автомату (КА). До найбільш поширених практичних рішень цього КА на теперішній час належать: нескінченні цикли опитування (Polled Loop Systems), програми на основі операційних систем реального часу (ОСРЧ) системи переривань мікроконтролера (Interrupt Driven), програми на базі простих ОСРЧ з підтримкою багатозадачності (Multi-tasking).

Потужність сучасних мінікомп'ютерів дає можливість реалізовувати функції ГК і ДКРЧ на борту одного мінікомп'ютера [3]. Апаратно він може бути реалізований на базі архітектури ARM, а саме Cortex-A. Навіть у цьому випадку програмна частина розподіляється на модулі, що забезпечують програмну складову ГК і ДКРЧ.

Оскільки сучасні вбудовані системи з ГК і ДКРЧ у багатьох випадках поєднують у себе декілька технологій програмування, їх стикування є актуальним питанням. Особливо це актуально, коли ГК виконує роль штучного інтелекту і може виникнути потреба додавання станів у програму ДКРЧ у ході роботи без перезавантаження складної програмної системи загалом.

**Постановка проблеми.** Як було зазначено вище, програмна частина ДКРЧ може бути реалізована у вигляді патерну Стан, що реалізує математичну модель кінцевого автомату. У стандартному варіанті розробки програми додавання станів у кінцевий автомат відбувається на етапі розробки програмного забезпечення [5-8] і після перепрограмування МК.

На теперішньому стані розвитку апаратної бази ГК і ДКРЧ і програмних технологій складних ВС може виникати потреба додавати у КА додаткові стани динамічно без перезавантаження.

Для вирішення цієї задачі введемо обмеження. Нехай апаратна частина ДКРЧ реалізована у вигляді мікроконтролера архітектури ARM Cortex-M. Для програмної частини ДКРЧ будемо використовувати Cortex Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS) і відповідний стиль розробки.

Потрібно розробити програмне рішення патерну Стан для програмної частини ДКРЧ, що дозволяє додавати стани динамічно під час роботи без зупинки ВС.

Рішення цієї задачі дозволить забезпечити програмне стикування ГК і ДКРЧ і додавати нові стани у КА програмної частини ДКРЧ динамічно для забезпечення працездатності ВС і керованості системи загалом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [1] проведений огляд рішень у вигляді операційних систем реального часу, запропоновано рішення у вигляді кінцевого автомату, але при цьому не було проведено досліджень щодо стикування аналогів ДКРЧ з базовою системою управління. Тобто рішення розглядалося на рівні автономної програми кінцевого автомату.

Автори роботи [2] вирішують завдання побудови програмної частини для архітектури Cortex-M для масштабованих рішень. Звичайно процес масштабування реалізується на етапі розробки ПЗ, а не під час роботи.

У [3] проведений огляд рішень на основі високопродуктивних систем, при цьому програмна система не упорядковувалася у вигляді кінцевого автомату, реалізація відбувалася на рівні стандартного фреймворку.

У роботі [4] подано реалізацію програми на основі шаблону Стан та описано дослідження щодо збільшення швидкості обмеження, але це зроблено на основі модернізації відомих рішень. У [5] описано результати дослідження програмної реалізації шаблону Стан в ООП для малопотужних МК в узагальненому вигляді, де неможливо додати новий стан під час виконання програми.

У [6-8] наведено результати дослідження і розробки програмної реалізації кінцевого автомату в різних модифікаціях програмного рішення, проте додати новий стан під час виконання роботи також неможливо.

Отже, за результатом останніх досліджень і публікацій можна зробити загальний висновок щодо відсутності готового рішення задачі додавання станів у КА на основі МК архітектури Cortex-M динамічно.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Узагальнюючи вищесказане можна зробити висновок, що дана стаття присвячена вирішенню нової перспективної задачі вдосконалення програмної частини сучасних складних ВС, що мають головний контролер і ДКРЧ. Програмна частина ДКРЧ реалізована у вигляді патерну Стан. Задача полягає у розробці програмного прототипу, що дозволить додавати нові стани у КА динамічно без перезавантаження системи у цілому.

**Мета статті.** Як було вищезазначено, складна ВС має головний контролер реального часу, що може вирішувати відносно складні задачі, а саме: обробку і накопичення даних у бази даних (БД), реалізацію штучного інтелекту, обробку великого обсягу інформації (відео, аудіо), тощо. Для керованості системи загалом програмна частина ГК і ДКРЧ має бути поєднана у одну цілу систему. У результаті роботи програмної частини ГК може виникнути потреба створення нового стану для програмної частини ДКРЧ. Саме вона управляє виконавчими механізмами технічної системи або здійснює опитування датчиків у режимі реального часу.

На теперішній час для додавання нового стану потрібно переробляти програму контролера, записувати її у ДКРЧ і перезавантажувати систему.

Метою статті є розробка й опис програмного рішення, що дає можливість додати новий стан у програмну частину ДКРЧ, під час роботи, динамічно, за командою, що надходить з ГК.

Для вирішення поставлених завдань необхідно наступне:

- розробити та протестувати прототип програми ДКРЧ у вигляді шаблону КА для мікроконтролера архітектури Cortex-M на рівні системного програмування у вигляді програмного рішення шаблону Стан, що дозволяє додавати стани динамічно;

- протестувати це рішення на практичному мікроконтролері Cortex-M.

**Виклад основного матеріалу.** У таблиці наведено результат розробки шаблону КА для мікроконтролера архітектури Cortex-M на рівні системного програмування у вигляді програмного рішення шаблону Стан. На відміну від відомих рішень [1-8], він дозволяє додавати стани динамічно та формувати переходи між станами під час виконання програми. Розроблене рішення можна адаптувати для реальної складної ВС. Це потрібно реалізувати так, щоб додавання нового стану у КА допоміжного контролера реального часу виконувалося за сигналом з ГК. Такий сигнал може генерувати ГК складної ВС у разі потреби створення нового стану для ДКРЧ. Це може бути зроблено, наприклад, у ході роботи програмної частини ГК, що реалізує функції штучного інтелекту. Розроблений код являє собою прототип програмного рішення для складних ВС, що містять головний контролер і ДКРЧ.

При розробці і тестуванні рішення використано типовий 32-розрядний МК STM32F103, тактова частота якого дорівнює 72 МГц, напруга живлення 3,3 В, температура в приміщенні під час тестування 27—30°C. Результати дослідження можна розповсюдити на широкий спектр МК архітектури ARM Cortex-M.

Результатом рішення вищеописаної проблеми є прототип програми, що показана в таблиці і реалізує ООП варіант програмного рішення КА для ДКРЧ складної ВС. У даному коді показана демонстрація динамічного створення нових станів. Наприклад, у рядку

```
SignalToggleState *s1 = new SignalToggleState...
```

показано динамічне створення одного стану s1, подальше його додавання і практичне використання у наступних рядках коду до першого програмного циклу.

Припустимо, що у ході роботи програми виникла потреба додати нові стани динамічно. Це демонструє наступний приклад динамічного створення нового стану s2, встановлення переходів між новим станом та попереднім, а також подальше використання цих станів у програмі (таблиця).

Таблиця. Вміст файлу main.cpp

main.cpp
<pre>#include "stm32fsm.h" AbstractState *currentState; int main(void) {     SignalToggleState *s1 = new SignalToggleState(GPIO_B, GPIO_Pin_6,         GPIO_Mode_Out_PP, GPIO_Speed_50MHz,         GPIO_Pin_9   GPIO_Pin_10, GPIO_Mode_IPU, false); // Create state 1      currentState = s1; // Set initial state     currentState-&gt;HandleEntry();     for (uint32_t i = 0; i &lt; 0xFF; i++) currentState-&gt;HandleDo(); // Do something</pre>

```
SignalToggleState *s2 = new SignalToggleState(GPIO_B, GPIO_Pin_7,  
GPIO_Mode_Out_PP, GPIO_Speed_50MHz,  
GPIO_Pin_11 | GPIO_Pin_12, GPIO_Mode_IPU, false); // Create state 2  
  
s1->PushTransition(0x19, s2); // State 1 to state 2 on signal from pin 9 of GPIOB  
s2->PushTransition(0x1C, s1); // State 2 to state 1 on signal from pin 12 of GPIOB  
for (uint32_t i = 0; i < 0xFF; i++) currentState->HandleDo(); // Do something  
  
SignalToggleState *s3 = new SignalToggleState(GPIO_B, GPIO_Pin_8,  
GPIO_Mode_Out_PP, GPIO_Speed_50MHz,  
GPIO_Pin_13 | GPIO_Pin_14, GPIO_Mode_IPU, false); // Create state 3  
s1->PushTransition(0x1A, s3); // State 1 to state 3 on signal from pin 10 of GPIOB  
s2->PushTransition(0x1B, s3); // State 2 to state 3 on signal from pin 11 of GPIOB  
s3->PushTransition(0x1D, s1); // State 3 to state 1 on signal from pin 13 of GPIOB  
s3->PushTransition(0x1E, s2); // State 3 to state 2 on signal from pin 14 of GPIOB  
  
while(1) currentState->HandleDo();  
}
```

Далі в кодї показаний аналогічний процес динамічного створення ще одного стану s3 і подальше його додавання до КА та практичне використання. Таким чином, у таблиці показаний прототип коду, що дозволяє динамічно створити нові стани з переходами. На рис.1 це показано у вигляді графа. Граф на рис. 1 містить три стани, що були створені поетапно, покроково.

На першому етапі був створений та працював Стан 1 у програмному рішенні для МК і показаний на рис. 1.

На другому етапі був доданий Стан 2, були сформовані відповідні переходи між станами, що показані на графі рис. 1. Кінцевий автомат програмного рішення для МК працював з двома станами.

На третьому етапі доданий Стан 3 з відповідними переходами. Таким чином, вихідний код для МК, що зображений у таблиці, реалізує граф кінцевого автомату, що показаний на рис. 1. Звичайно, що вихідний код таблиці є демонстрацією технології динамічного створення станів у КА і має суттєві спрощення.

Але він може бути застосований у як прототип під час розробки реальної програмної частини ДКРЧ для складної ВС. У цьому випадку до програми ДКРЧ можуть додаватися нові стани динамічно при отриманні команд від ГК. У такий спосіб забезпечується стикування програмної частини КГ складної ВС і допоміжного контролера реального часу. Зв'язок головного контролера і ДКРЧ можна забезпечити послідовними інтерфейсами МК, у самому простому прикладі це може бути USART.

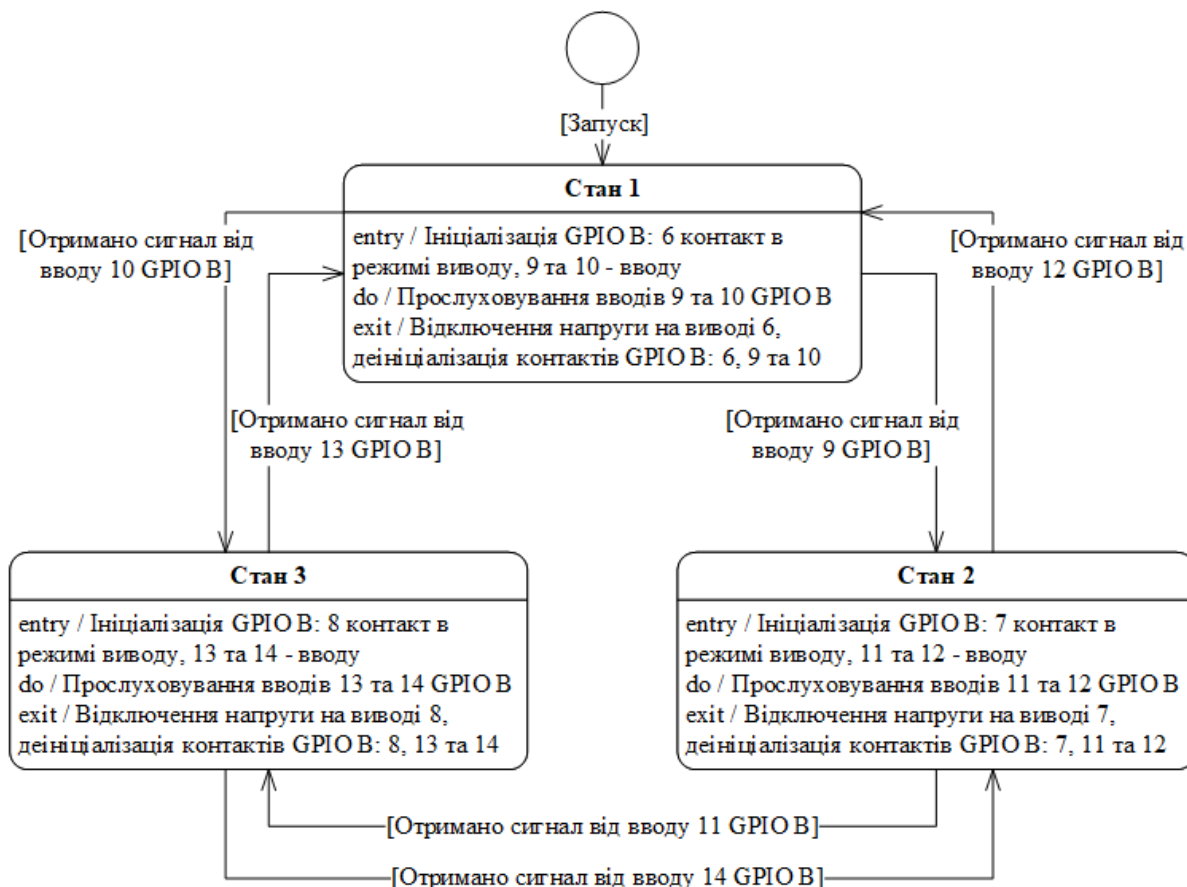


Рис. 1. Діаграма станів для тестового прикладу

Репозиторій з вихідним кодом програми був розміщений на GitHub [9]. Розглянемо програмну реалізацію динамічного додавання нових станів у програмну частину ДКРЧ. Для цього стани КА були реалізовані у вигляді класів, а переходи у вигляді структур мови програмування C++. Схема програмного рішення показана на рис. 2 у вигляді діаграми класів, що відповідає розробленому рішення.

Для більшої зручності клас стану `AbstractState` був зроблений абстрактним, але з реалізацією деяких методів, щоб уникнути дублювання коду. Цей клас є базовим для станів КА у програмній частині ДКРЧ.

Структура `TransitionInfo` відображає переходи між станами. Якщо формалізувати програмне рішення у вигляді графу переходів, то ця структура буде відповідати ребрам орієнтованого графа. Стани будуть відповідати вузлам графа.

Під час динамічного додавання неможливо визначити кількість переходів і вузлів. Для реалізації цього програмного механізму, кожна структура переходу містить у собі покажчик на наступну структуру. Структура `TransitionInfo` містить в собі інформацію про сигнал, що змушує виконати цей перехід, та наступний стан (покажчик на клас стану), до якого необхідно перейти.

Клас `AbstractState` при отриманні сигналу в методі `MakeTransition` виконує перевірку структур переходів, перебираючи всі структури. Також клас `AbstractState` містить методи `HandleEntry`, `HandleDo` та `HandleExit`, що можуть виконувати певні корисні дії при переході в цей стан. Корисний програмний функціонал передбачений також при знаходженні в цьому стані та при покиданні цього стану. Корисний програмний функціонал передбачений у вигляді методів, що реалізують частини `entry`, `do`, `exit` відповідно до рис. 1.

Оскільки розглядається динамічне додавання станів та переходів, клас `AbstractState` має методи для роботи з переходами: `PushTransition`, `MergeTransitions` та `PopTransition` – для додавання одного переходу, додавання декількох переходів та видалення останнього переходу.

Здебільшого абстрактного класу `AbstractState` недостатньо, щоб динамічно додавати нові стани. Користуючись класом `AbstractState` можна додавати нові стани шляхом створення нових нащадків цього класу. При поточної реалізації на основі класу `AbstractState` вже є працездатним механізм створення, додавання та видалення переходів між станами КА програмної частини ДКРЧ.

На першому кроці необхідно створити екземпляр структури `TransitionInfo` і передати необхідні значення через конструктор.

На другому кроці потрібно викликати відповідний метод, щоб додати новий перехід.

Оскільки стани КА програмній частині ДКРЧ створюються динамічно за командою з ГК, потрібно також, щоб стани КА виконували корисні дії для складної ВС. Це потребує додавання до нащадків абстрактного класу `AbstractState` програмну реалізацію корисних дій у відповідному віртуальному методі. Такими корисними діями можуть бути: видача команд на виконавчі механізми, подача напруги на порти вводу-виводу загального призначення, подача сигналів на послідові інтерфейси МК, прийом сигналів із датчиків, тощо. Для спрощення виконання таких дій були створені додаткові функції [9]. Наприклад, функція деініціалізації, що дозволяє скинути налаштування портів вводу-виводу МК, відключити тактування порту, якщо він більше не використовується тощо. Інші додаткові функції дозволяють керувати портами, не прив'язуючись до деталей реалізації, шляхом використання енуменатору (enum) GPIOs.

На рис. 2 показані два нащадки класу `AbstractState`: `ToggleState` та `SignalToggleState`, що дозволяють динамічно створювати нові стани. Клас `ToggleState` призначений для керування виводами портів. Клас `ToggleState` в методі `HandleEntry` виконує налаштування виводів та керує ними, а в методі `HandleExit` скидає налаштування обраних виводів.

Клас `SignalToggleState` розширює можливості класу `ToggleState`. Крім керування виводами, він також може прослуховувати вводи і подавати сигнали для зміни стану. Крім відповідних аналогічних налаштувань в методах `HandleEntry` та `HandleExit` дається можливість налаштовуються портів вводу-виводу загального призначення МК для введення і виведення інформації до програмної частини МК.

У методі `HandleDo` виконується опитування портів вводу-виводу загального призначення та перевірка їхніх станів разом із генерацією відповідного сигналу при зміні стану. Отже, створюючи екземпляри класів `SignalToggleState` та додаючи переходи між цими станами, можна динамічно збільшувати функціональність програмної реалізації КА допоміжного контролера реального часу складної ВС.

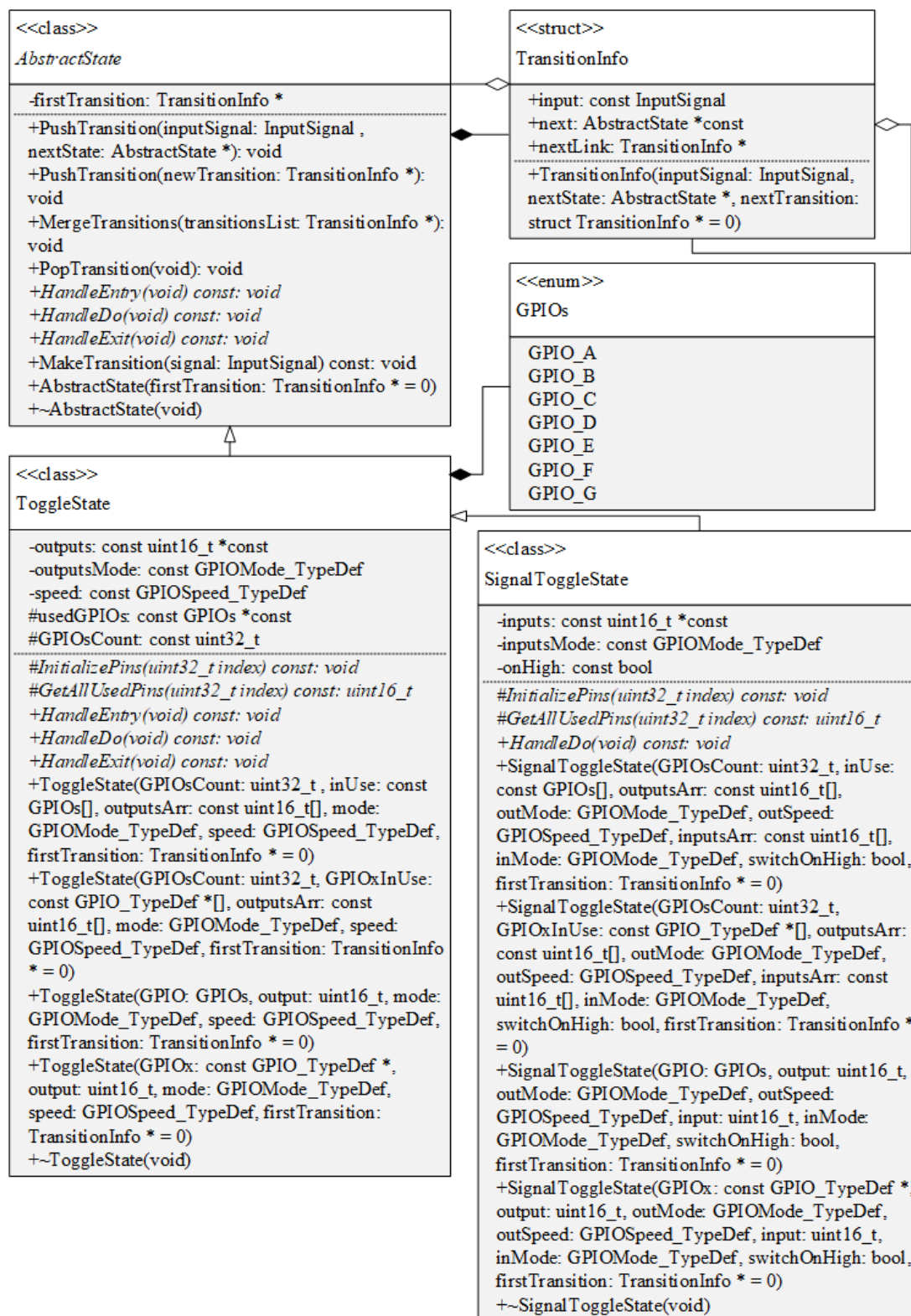


Рис. 2. Діаграма класів розробленого рішення

Працездатність розробленого рішення була перевірена за допомогою тестового коду таблиці. Рішення було успішно зібране без помилок, що підтверджує рис. 3, та перевірене на мікроконтролері Cortex-M, а саме STM32F103.



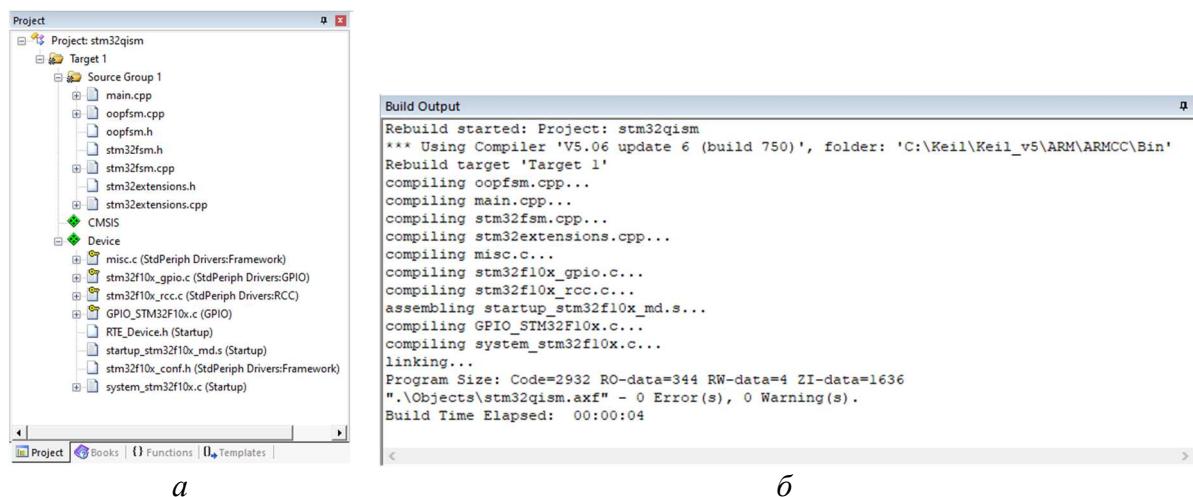


Рис. 3. Середовище розробки Keil  $\mu$ Vision:  
а – структура проекту; б – вивід при зборці

**Висновки.** Сучасні вбудовані системи, у багатьох випадках, поєднують у програмній частині декілька технологій програмування. Складну ВС умовно можна розподілити на дві базові складові: головний контролер (його програмну і апаратну частину) і ДКРЧ (його програмну і апаратну частину).

Актуальною проблемою є забезпечення програмного стикування керувальної програми ГК і програмної частини ДКРЧ. Особливо це викликає ускладнення, коли ГК може ініціалізувати створення нових станів у програмній частині ДКРЧ, що стандартно реалізована у вигляді патерна Стан і може бути формалізована у вигляді математичної моделі кінцевого автомату. Тобто може виникнути потреба додавання нових станів у ході роботи програмної частини ДКРЧ динамічно.

У статті розроблений прототип програми, що дозволяє вирішити цю задачу. Він може бути застосований у якості прототипу під час розробки реальної програмної частини ДКРЧ для складної ВС. Отримане програмне рішення дає можливість додавати нові стани динамічно при отриманні команд від ГК. Зв'язок головного контролера і ДКРЧ можна забезпечити через послідовні інтерфейси МК, у самому простому прикладі це може бути USART.

Під час роботи над статтею розроблений та протестований прототип програми ДКРЧ у вигляді патерну Стан для мікроконтролера архітектури Cortex-M на рівні системного програмування, що дозволяє додавати стани під час виконання програми.

Проведені дослідження і визначена працездатність програми. Побудовані діаграма станів і діаграма класів отриманого рішення. Прототип вихідного коду розташований на ресурсі [9].

### Список використаних джерел

1. Chmelov V. O., Katin P. Y., Shemaev V. M. Development of typical "State" software patterns for Cortex-M microcontrollers in real time. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3(9 (105)). Pp. 29-38.
2. Chen Z., Chen J., Zhou S. Embedded electronic scale measuring system based on STM32 single chip microcomputer. *Proceedings – 2019 Chinese Automation Congress* (November 22-24). Hangzhou, China, 2019. Pp. 3062-3065.
3. Zhu W., Wang Z., Zhang Z. Renovation of Automation System Based on Industrial Internet of Things: A Case Study of a Sewage Treatment Plant. *Sensors*. 2020. Vol. 20(8). P. 2175.
4. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. *Addison-Wesley*, 1994.

5. Katin P. Y. Development of variant of software architecture implementation for low-power general purpose microcontrollers by finite state machines. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2017. Vol. 3. Pp. 49–55.
6. Dietrich C., Hoffmann M. and Lohmann D. Back to the Roots: Implementing the RTOS as a Specialized State Machine. *OSPERT 2015* (Sweden, July 7, 2015). Lund, Sweden, 2015. Pp. 7-12.
7. Beynon W. On the structure of free finite state machines. *Theoretical Computer Science*. 1980. Vol. 11. Pp. 167-180.
8. Adamczyk P. The Anthology of the Finite State Machine Design Patterns, 2013. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.838&rep=rep1&type=pdf>.
9. Репозиторій з вихідним кодом на GitHub. URL: <https://github.com/AlexanderPokhilenko/STM32QISM>.

### References

1. Chmelov, V. O., Katin, P. Y., and Shemaev, V.M. (2020). Development of typical "State" software patterns for Cortex-M microcontrollers in real time. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(9(105)), pp. 29-38.
2. Chen, Z., Chen, J. and Zhou, S. (2019). Embedded electronic scale measuring system based on STM32 single chip microcomputer. *CAC 2019, Proceedings – 2019 Chinese Automation Congress, Hangzhou* (pp. 3062-3065).
3. Zhu, W., Wang, Z. and Zhang, Z. (2020). Renovation of Automation System Based on Industrial Internet of Things: A Case Study of a Sewage Treatment Plant. *Sensors*, 20(8), p. 2175.
4. Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. and Vlissides, J. (1994). *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison-Wesley. Boston, Massachusetts.
5. Katin, P.Y. (2017). Development of variant of software architecture implementation for low-power general purpose microcontrollers by finite state machines. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, pp. 49–55.
6. Dietrich, C., Hoffmann, M. and Lohmann, D. (2015). Back to the Roots: Implementing the RTOS as a Specialized State Machine. *Annual Workshop on Operating Systems Platforms for Embedded Real-Time Applications, Proceedings of OSPERT 2015* (pp. 7-12).
7. Beynon, W. (1980). On the structure of free finite state machines. *Theoretical Computer Science*, 11, pp. 167-180.
8. Adamczyk, P. (2003). The Anthology of the Finite State Machine Design Patterns. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.838&rep=rep1&type=pdf>.
9. Source code repository on GitHub. <https://github.com/AlexanderPokhilenko/STM32QISM>.

UDC 62-503.5

*Pavlo Katin, Oleksandr Pokhilenko*

### STATE PATTERN FOR EMBEDDED SYSTEMS WITH THE POSSIBILITY OF DYNAMIC CREATION OF STATES

Nowadays, embedded systems are technical systems that combine several programming technologies in the software part. A complex technical system of this type can be divided into two basic components, first – the main controller (MC). The second part is designed to control the mechanisms and is an auxiliary real-time controller (ARTC).

The urgent task is to provide software connection of the MC software and the software part of the ARTC. This is especially true when the MC plays the role of artificial intelligence and when it may be necessary to add new states during program execution without restarting the ARTC software.

The software part of the ARTC can be implemented in the form of a State pattern, which implements a mathematical model of a finite state machine. To connect the software part of the MC and ARTC and dynamically add new states to the ARTC program, the following tasks must be solved:

- to develop a software solution of the pattern State for ARTC, which will allow to add states dynamically while working without stopping and rebooting on command from the MC;
- test this solution on a practical microcontroller.

According to the results of recent researches and publications, we can draw a general conclusion about the lack of a ready-made solution to the problem of adding states to the finite state machine without rebooting.

This article is devoted to solving a new promising problem of connecting the software part of the MC with elements of artificial intelligence and ARTC for actuators. There is an unexplored part of the overall problem that needs to be solved in the context of the dynamic addition of new states to the finite state machine of the ARTC program.

To solve the tasks, it is necessary to develop and test a prototype of the ARTC program in the form of a State pattern for the microcontroller architecture Cortex-M at the level of system programming, which allows you to add states during program execution dynamically.

A prototype of the ARTC program was developed in the form of a finite state machine for the Cortex-M architecture microcontroller at the level of system programming in the form of a software solution of the State pattern, which allows to add states during program execution. The source code was developed and the formal model of the software decision in the form of the graph was constructed. The research was carried out and the work of the program was demonstrated.

The proposed software solution allows software connection of the MC software and the software part of the ARTC in complex embedded systems. This is necessary when there may be a need to add new states dynamically during execution of software program without restarting the ARTC. Such a need may arise, for example, when the MC plays the role of artificial intelligence and there is a need to add new states during execution dynamically.

**Keywords:** embedded system; financial and economic system, real-time system, microcontroller, dynamic addition of states to the State pattern, finite state machine.

Fig.: 3. Table: 1. References: 9.

**Похиленко Олександр Андрійович** – студент кафедри автоматизації та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Pokhylenko Oleksandr** – student of Department of automation and Control in Technical Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** pokhilenko.alex@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1562-2051>

**Катін Павло Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Pavlo Katin** — PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of automation and Control in Technical Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** p.katin@kpi.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2542-9976>

## РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 664.788

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-128-134

Крістіна Белінська

### ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ НАБУХАННЯ ЕКСТРУДАТИВ, РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНЦЕНТРАТИВ ДЛЯ ДИТЯЧОГО ХАРЧУВАННЯ

Досліджено кінетику набухання екструдатів у різних видах молока, вплив екструдатів на реологічні властивості каш та здатність їх до перетравлювання. З'ясовано, що процес набухання екструдатів у кобилячому молоці проходить більш інтенсивно, ніж у коров'ячому. Встановлено, що з підвищенням напружень зсуву в'язкість дослідних систем знижується. Руїнування структури відбувається за порівняно низьких напружень зсуву (700...750 Па). Зростання напружень призводить до утворення практично повністю зруйнованої структури дослідних систем, що характеризується сталим значенням ефективної в'язкості.

**Ключові слова:** каші; екструдати; кобиляче молоко; кінетика набухання; в'язкість.

Табл.: 1. Рис.: 5. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Потреба створення адаптованих продуктів для харчування дітей першого року життя сьогодні є нагальною. Як відомо, найкращою їжею для дітей грудного віку (від народження до 1 року) є материнське молоко. Вводити прикорм педіатри рекомендують лише у віці 6 місяців. Першим прикормом зазвичай є злакові молочні каші. Оскільки в Україні та і в багатьох країнах світу молочні дитячі кухні не функціонують, то найкращим харчуванням є сухі молочні каші, що не потребують варіння, а лише відновлюються теплою водою.

Згідно з нормативними документами [1] для харчування дітей віком від 6 місяців слід застосовувати каші, в яких вміст зернової сировини має становити не менше 25 %. В Україні працює лише одне підприємство – Хорольський молококонсервний комбінат дитячих продуктів, який виготовляє дитяче харчування для дітей віком до 1 року. Проте продукція цього підприємства, зокрема та, що містить зернову сировину, не відповідає вимогам щодо обов'язкового складу продуктів для дитячого харчування. Оскільки підприємство випускає продукт, який містить 12 % зернової сировини і рекомендує його до споживання з чотирьох місяців.

Згідно з традиційними технологіями як зернову сировину використовують сухі відвари круп та дієтичне борошно. Нині прогресивною технологією є використання екструдованого борошна. Його використання дає можливість отримати високозасвоюваний та швидкокорозчинний продукт [2].

**Постановка проблеми.** Для харчування дітей грудного віку в Україні виготовляються продукти лише на основі коров'ячого молока. За різними оцінками кількість дітей, що страждають на алергію до білків коров'ячого молока, становить 2–7,5 % [3]. Поява харчової алергії у 65 % дітей спостерігається у віці до 1 року [4].

Коров'яче молоко як основа продуктів для дитячого харчування має суттєві недоліки, порівняно з жіночим молоком, яке є ідеальним харчуванням для дітей грудного віку.

У коров'ячому молоці переважає казеїн (близько 80 %), в жіночому молоці, що належить до альбумінового типу, – сироваткові білки (близько 65 %). Основним сироватковим білком коров'ячого молока є  $\beta$ -лактоглобулін, жіночого молока –  $\alpha$ -лактальбумін та імуноглобуліни [5]. Казеїн та  $\beta$ -лактоглобулін є основними алергенами молока, тоді як імуноглобуліни виконують захисну функцію в організмі дитини.

Авторами [4] з'ясовано, що алергія на білок коров'ячого молока стала проблемою охорони здоров'я в усьому світі та впливає на здоров'я 8 % дітей.

Саме тому сьогодні є актуальними розробки нових продуктів для харчування дітей грудного віку, які знизять чи взагалі виключать ризик виникнення алергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує багато праць, в яких автори стверджують про користь кобилячого молока для дітей віком до 1 року і відсутність алергічної реакції при його вживанні [6; 7].

Досліджували екструдати, зокрема в технології продуктів дитячого харчування, такі науковці, як О. Ромашко, В. Ковбаса, Л. Махинько, О. Кобилінська [8].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на численні дослідження, багато питань залишаються невирішеними. Відсутні дослідження та розробки сухих молочних каш для дитячого харчування на основі кобилячого молока. Також відсутні дані щодо досліджень та розробок екструдатів з молочною основою.

**Постановка завдання.** Для вирішення недосліджених проблем необхідним є проведення досліджень поведінки екструдатів у різних відновниках. При відновленні молочно-борошняних каш водою передусім розчиняється сухе молоко, після чого починається набухання екструдатів. Таким чином, набухання екструдатів більшою мірою відбувається у відновленому молоці, а не у воді [9]. Тому завданням є дослідити кінетику набухання екструдатів у кобилячому та коров'ячому молоці.

Оскільки хімічний склад молока кобилячого та коров'ячого молока відрізняється, а також є відмінності у хімічному складі екструдатів, то необхідним є проведення дослідження з визначення в'язкості готових каш.

Зважаючи на те, що розроблені продукти призначені для дитячого харчування, необхідним є проведення досліджень здатності молочно-борошняних каш до перетравлювання в умовах *in vitro*.

**Виклад основного матеріалу.** У дослідженнях використовували сухе кобиляче молоко та сухе коров'яче молоко, отримане на напівпромисловій розпилювальній сушарці «Ниро-Атомайзер» з робочим об'ємом камери 0,9 м<sup>3</sup> і продуктивністю за випареною вологою до 5,0 кг/год. Сушіння відбувалося за таких параметрів: швидкість руху сушильного агента – 0,5 м/с, відносна вологість сушильного агента – 25 %, розмір крапель розпиленого продукту – 40...50 мкм, масова частка сухих речовин в продукті 40-43 %. Сушіння кобилячого молока проводили за температури сушильного агента 140-150 °С, коров'ячого молока – 160-170 °С. Сухе кобиляче молоко відповідало вимогам ГОСТ Р 52975-2008, коров'яче молоко – ДСТУ 4273:2003. Борошно екструдоване використовували виробництва Вінницької харчосмакової фабрики, хімічний склад якого представлено в таблиці.

Таблиця 1. Хімічний склад екструдованого борошна

Борошно екструдоване	Масова частка білків, %	Масова частка жирів, %	Масова частка вуглеводів, %
Рисове	7,1	1,0	82,1
Гречане	14,0	1,8	74,1
Кукурудзяне	1,9	12,6	78,0

Для відновлення молока використовували воду температурою 37 °С, оскільки при такій температурі рекомендується відновлювати готовий продукт. Результати досліджень залежності ступеня набухання від тривалості взаємодії з відновником представлені на рис. 1-3.

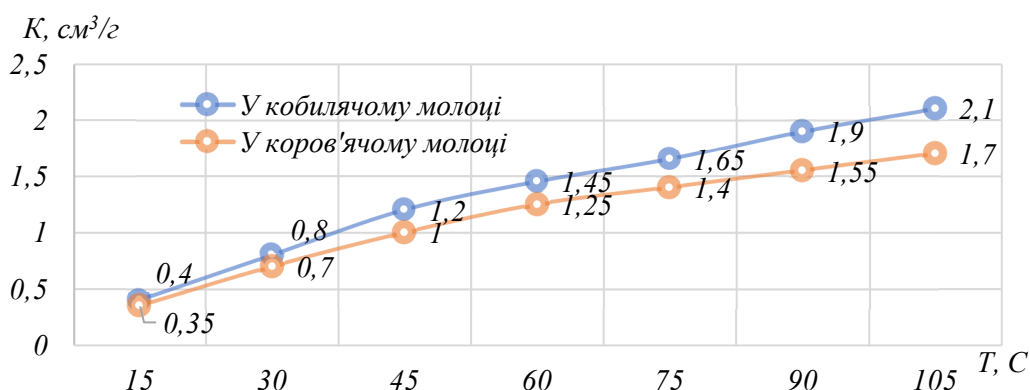


Рис. 1. Криві кінетики набухання екструдованого рисового борошна в різних відновниках ( $t = 37^{\circ}\text{C}$ )

Процес набухання екструзійних продуктів характеризується складною капілярною конденсацією, обумовленою наявністю в адсорбента дрібних пор – характерних для продуктів екструзії. Розчинник, проникаючи в пори продукту, збільшує його об'єм; потім відбувається безпосередньо процес набухання полімерів, який супроводжується збільшенням об'єму молекул білка та крохмалю.

Ступінь набухання залежить від внутрішньої будови продукту та його хімічного складу. Екструдати являють собою суцільну масу губчастої будови, в якій молекули крохмалю всією поверхнею прилягають до маси коагульованого білка, в зв'язку з чим чітко видимої межі між ними не спостерігається [2].

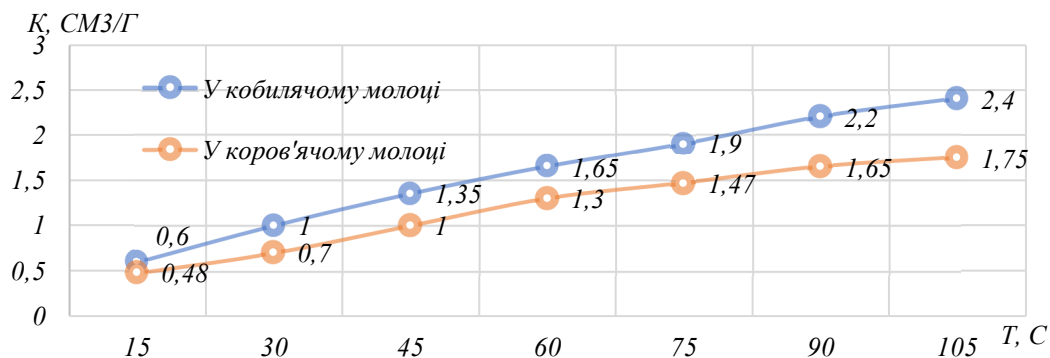


Рис. 2. Криві кінетики набухання екструдованого гречаного борошна в різних відновниках ( $t = 37^{\circ}\text{C}$ )

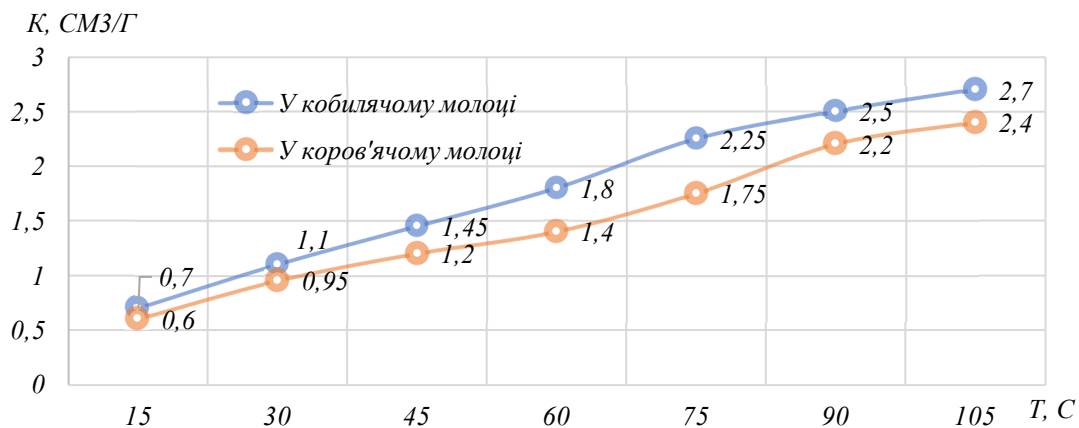


Рис. 3. Криві кінетики набухання екструдованого кукурудзяного борошна у різних відновниках ( $t = 37^{\circ}\text{C}$ )

З рисунків 1-3 видно, що ступінь набухання екструдованого борошна в кобилячому молоці вищий, ніж у коров'ячому. Ступінь набухання екструдатів рису, гречки та кукурудзи в коров'ячому молоці нижчий на 16, 21 та 15 % відповідно, порівняно з кобилячим молоком. Це пов'язано із вмістом у молоці поверхнево-активних речовин (білків, жирів), що адсорбуються на поверхні продукту, утворюючи захисний шар, і перешкоджають доступу розчинника до продукту, тим самим сповільнюючи процес набухання. Проте чим більше цих поверхнево-активних речовин, тим повільніший процес набухання [2]. Оскільки в кобилячому молоці міститься менша кількість і білків, і жирів, порівняно з коров'ячим молоком, то цим і пояснюється найвищий ступінь набухання в ньому екструдатів.

Отже, проведені дослідження дають можливість передбачити процес відновлення молочно-борошняних каш із різним екструдованим борошном.

Основні реологічні параметри каш досліджувалися на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» з системою коаксіальних циліндрів S/S<sub>2</sub> в діапазоні швидкості деформації 3-1312 с<sup>-1</sup>. Досліджувалися каші (рисова, кукурудзяна, гречана) на основі сухого кобилячого молока. Як контроль використовувалася каша «Малишка» кукурудзяна, виготовлена на основі сухого коров'ячого молока ТОВ «Хорольським заводом дитячих продуктів харчування».

Результати зміни в'язкості дослідних зразків представлено на рис. 4.

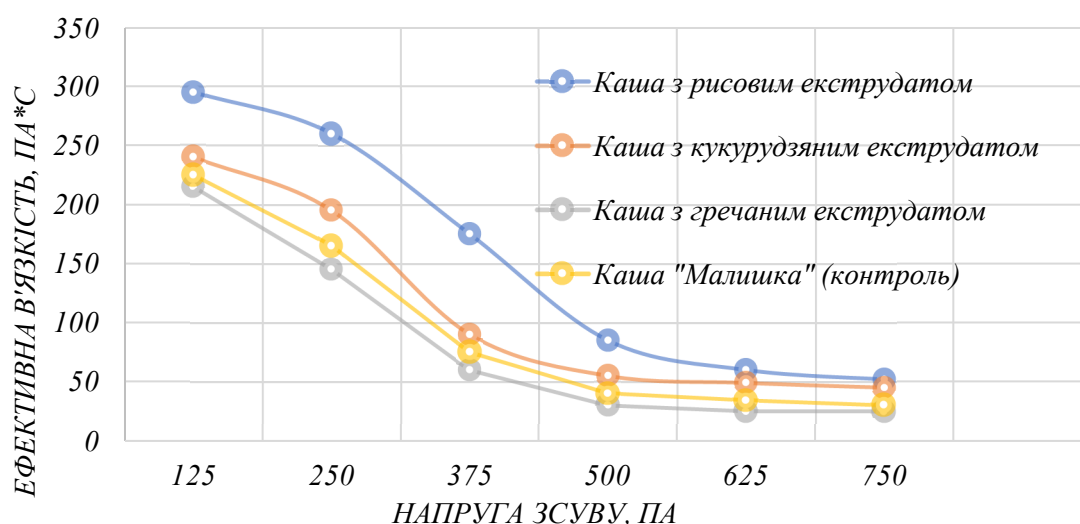


Рис. 4. Залежність в'язкості відновлених молочно-борошняних каш від напружень зсуву

Як видно з кривих руйнування структури дисперсій, структурно-механічні властивості залежать від кількісного та якісного складу продукту [10]. Для всіх зразків спостерігається подібний характер кривих в'язкості.

Результати дослідження показали, що каша з екструдатом рису в порівнянні з кашами з кукурудзяним і гречаним екструдатами зберігає високу в'язкість, що пояснюється високим вмістом декстринів у рисовому екструдаті.

В'язкість кукурудзяної каші на 6 % вища за в'язкість гречаної каші, що може пояснюватися різним вмістом крохмалю в екструдатах, його природними особливостями, а також ступенем його модифікації при обробленні.

В'язкість каші «Малишка» з гречаним екструдатом на 6,6 % вища, ніж в'язкість досліджуваної нами каші з гречаним екструдатом. Така різниця зумовлена ущільненням структури каші «Малишка», оскільки її складі міститься вдвічі більше борошна.



Отже, встановлено, що з підвищенням напружень зсуву в'язкість дослідних систем знижується. Руйнування структури відбувається за відносно низьких напружень зсуву (700...750 Па). Зростання напружень призводить до утворення практично повністю зруйнованої структури дослідних систем, що характеризується сталим значенням ефективної в'язкості.

Результати дослідження швидкості перетравлення білкових речовин у молочно-борошняних кашах представлено на рис. 5.

Особливістю дитячого організму є те, що при шлунковому травленні, окрім ферментів пепсину і трипсину, виділяється ще фермент ренін.

За результатами дослідження встановлено, що найвищим ступенем перетравлювання характеризується каша з гречаним екструдатом. Найнижчу перетравлюваність білків спостерігаємо в каші «Малишка», в якій за 3 години гідролізу на 22 % менше накопичується амінокислот порівняно з кашею з гречаним екструдатом. У каші з рисовим та кукурудзяним екструдатом накопичення амінокислот на 17 та 11 % відповідно більше, ніж у контролі.

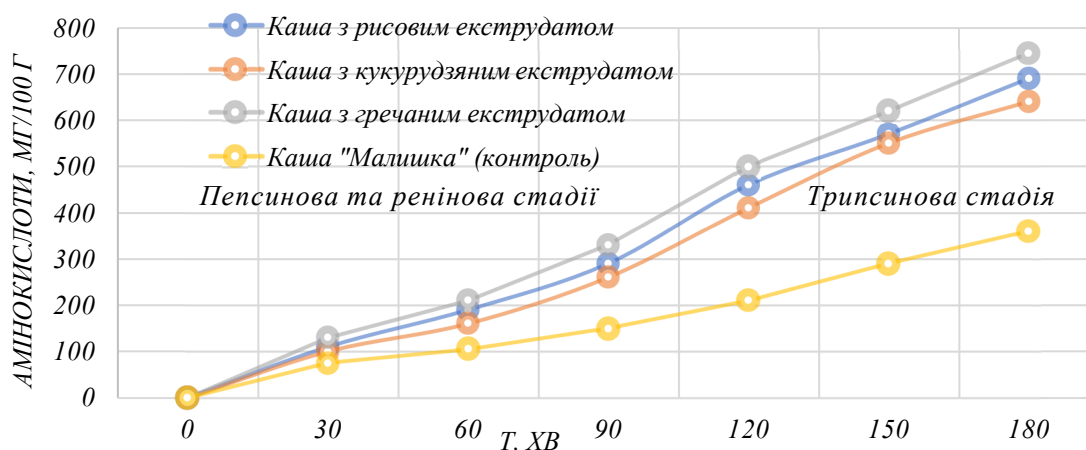


Рис. 5. Здатність білкових речовин молочно-борошняних каш до перетравлення в умовах *in vitro*

Процес перетравлювання білків у кашах відбувається з подібною інтенсивністю. Відмінність полягає лише у кількості вивільнених амінокислот, поясненням чого може бути різний вміст білка у продукті. Вартий уваги той факт, що у розроблених кашах як молочна основа використовується кобиляче молоко, а у каші «Малишка» - коров'яче молоко. Крім того, до складу каші «Малишка» входить близько 50 % зернової сировини, а у розроблених кашах – 25 % борошна згідно з вимогами [1]. Тому інтенсивність перетравлювання каш зумовлено різницею у кількісному та якісному складі продуктів.

**Висновки.** У цій роботі доведено актуальність розробки нових продуктів для харчування дітей віком від 6 місяців до 1 року. Запропоновано використання сухого кобилячого молока та екструдатів рису, гречки та кукурудзи.

Досліджено кінетику набухання екструдатів у відновленому молоці кобилячому та коров'ячому. Встановлено, що ступінь набухання екструдованого борошна в кобилячому молоці вища, ніж у коров'ячому.

Встановлено, що каша з екструдатом рису в порівнянні з кашами з кукурудзяним і гречаним екструдатами зберігає високу в'язкість, що пояснюється високою стійкістю крохмалю рису до впливу механічних напружень.

Дослідження процесу перетравлення вказують на те, що розроблені каші перетравлюються з подібною інтенсивністю, яка є вищою, ніж перетравлювання каші «Малишка».



**Список використаних джерел**

1. Про затвердження Гігієнічних вимог до продуктів дитячого харчування, параметрів безпечності та окремих показників їх якості : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 6 серпня 2013 р. № 696. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1380-13/page>.
2. Васильева Т. В. Экструзионные продукты. *Пищевая промышленность*. 2003. Вып. 12. С. 6-9.
3. Mousan G., Kamat D. Cow's milk protein allergy. *Clinical Pediatrics*. 2016. Vol. 55. Pp. 1054–1063.
4. Zeng Y., Zhang J. Assessment of Cow's milk-related symptom scores in early identification of cow's milk protein allergy in Chinese infants. *BMC Pediatrics*. 2019. Vol. 191. Pp. 1–7.
5. Barreto L., Marcell I. Equine milk and its potential use in the human diet. *Food science and technology*. 2019. Vol. 39. Pp. 1-7.
6. Mazhitova A., Kulmyrzaev A. Amino Acid and Fatty Acid Profile of the Mare's Milk Produced on Suusamyр Pastures of the Kyrgyz Republic During Lactation Period. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 195. Pp. 2683-2688.
7. Markevich-Kenshycka M., Vujtovskii J. Chemical composition and whey protein fraction of late lactation mares' milk. *International Dairy Journal*. 2013. Vol. 31. Pp. 62–64.
8. Ромашко О. В., Кобилінська О. В., Лазаренко М. В., Ковбаса В. М. Застосування ультразвуку для дослідження процесу набухання екструдатів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2003. Вып. 14. С. 57-58.
9. Ордакова А. И., Щербинин А. А., Засыпкин Д. В. Физические свойства экструдированных продуктов с использованием молочного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 1997. Вып. 4. С. 14-15.
10. Остриков А. Н., Смирных А. А., Дорохин С. В. Исследование характера изменения динамической вязкости молочно-фруктовых продуктов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2013. Вып. 2. С. 47-52.

**References**

1. Pro zatverdzhennia Hihienichnykh vymoh do produktiv dytiachoho kharchuvannia, parametriv bezpechnosti ta okremykh pokaznykiv yikh yakosti [About the statement of Hygienic requirements to baby food, safety parameters and separate indicators of their quality], Order № 696 (on August 6, 2013). <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1380-13/page>.
2. Vasyleva, T. V. (2003) Ekstruzionnye produkty [Extrusion products]. *Pyshchevaia promyshlennost – Food industry*, 12, pp. 6-9].
3. Mousan, G., Kamat, D. (2016) Cow's milk protein allergy. *Clinical Pediatrics*, 55, pp. 1054–1063.
4. Zeng, Y., Zhang, J. (2019). Assessment of Cow's milk-related symptom scores in early identification of cow's milk protein allergy in Chinese infants. *BMC Pediatrics*, 191, pp. 1–7.
5. Barreto, L., Marcell, I. (2019). Equine milk and its potential use in the human diet. *Food science and technology*, 39, pp. 1-7.
6. Mazhitova, A., Kulmyrzaev, A. (2015). Amino Acid and Fatty Acid Profile of the Mare's Milk Produced on Suusamyр Pastures of the Kyrgyz Republic During Lactation Period. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, pp. 2683-2688.
7. Markevich-Kenshycka, M., Vujtovskii, J. (2013). Chemical composition and whey protein fraction of late lactation mares' milk. *International Dairy Journal*, 31, pp. 62–64.
8. Romashko, O. V., Kobylinska, O. V., Lazarenko, M. V., Kovbasa, V. M. (2003) Zastosuvannia ultrazvuku dlia doslidzhennia protsesu nabukhannia ekstrudativ [Application of ultrasound to study the swelling of extrudates]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii – Scientific works of the National University of Food Technologies*, 14, pp. 57-58.
9. Ordakova, A.Y., Shcherbynyn, A.A., Zasyypkin, D.V. (1997) Fyzycheskie svoistva ekstrudirovannykh produktov s ispolzovanyem molochnoho syria [Physical properties of extruded products using raw milk]. *Khranenye y pererabotka selkhozsyria – Storage and processing of agricultural raw materials*, 4, pp. 14-15.
10. Ostrykov, A. N., Smyrnykh, A. A., Dorokhyn, S. V. (2013) Issledovanie kharaktera izmeneniia dynamicheskoi viazkosti molochno-fruktovykh produktov [Study of the nature of changes in the dynamic viscosity of dairy products]. *Vestnyk Voronezhskogo gosudarstvennogo unyversyteta ynzhenernykh tekhnolohii – Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2, pp. 47-52.

UDC 664.788

*Kristina Belinska***STUDY OF KINETICS OF SWELLING OF EXTRUDATES, RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CONCENTRATES FOR BABY FOOD**

*The need to develop products for infant nutrition is urgent. Cow's milk is the basis for making porridge. The number of children suffering from allergies to cow's milk protein is 2-7.5%.*

*There are studies on the possibility of using mare's milk and cereal extrudates in baby food. There are no studies on the kinetics of swelling of rice, buckwheat and corn extrudates in reconstituted mare's milk and their effect on the rheological properties and ability to digest ready-made baby food.*

*The aim of the work is to study the kinetics of swelling of extrudates in different types of milk, the influence of extrudates on the rheological properties of porridges and their ability to digest.*

*Swelling of rice, buckwheat and corn extrudates in cow's milk is 16%, 21% and 15% lower, respectively, compared to mare's milk. Rice porridge has been found to have the highest viscosity. The viscosity of corn porridge is 6% higher than the viscosity of buckwheat porridge, which can be explained by the difference in size and shape of starch grains. The process of digestion of the developed porridges proceeded with similar intensity which was higher, than in control.*

*It is proved that the development of new milk-flour porridges for feeding children aged 6 months to 1 year is relevant. The swelling of extrudates in mare's milk was found to be more intense than in cow's milk. Therefore, the recovery of the finished product will be faster. It has been found that the viscosity of the test systems decreases with increasing shear stress. The destruction of the structure occurs at a relatively low shear stress (700-750 Pa), the growth of which leads to the formation of almost completely destroyed structure of the research systems, which is characterized by a constant value of effective viscosity.*

**Keywords:** porridge; extrudates; mare's milk; swelling kinetics; viscosity.

*Table: 1. Fig.: 5. References: 10.*

**Белінська Крістіна Олександрівна** – кандидат технічних наук, асистент кафедри туризму і готельно-ресторанної справи, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка (вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300, Україна).

**Belinska Kristina** – PhD in Technical science, Assistant Department of tourism and hotel and restaurant business Kamianets Podilskyi National Ivan Ohiienko University (61 Ohiienko Str., 32300 Kamianets Podilskyi, Ukraine).

**E-mail:** kristina0612@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8765-5998>

УДК 664.66

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-135-144

*Жанна Замай, Оксана Гуменюк, Раїса Волкова, Олена Хребтань, Сергій Цибуля***ФОРТИФІКАЦІЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА ІННОВАЦІЙНИМИ ІНГРЕДІЄНТАМИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

*У роботі представлена інноваційна розробка – хліб пшеничний, фортифікований сухою овочевою сировиною – порошком цвітної капусти (8 %), порошком броколі (6 %) та лимонної цедри. Фортифікація хліба інноваційними компонентами рослинного походження є одним зі шляхів підвищення харчової цінності хліба різних сортів. Обґрунтовано вибір фортифікаційного компонента, досліджено шляхи його додавання, визначені фізико-хімічні показники готової продукції та напівфабрикатів. Розраховано харчову та енергетичну цінність збагачених продуктів.*

**Ключові слова:** хліб пшеничний; фортифікація; інноваційний компонент, порошок броколі та цвітної капусти; цедра лимона.

*Табл.: 2. Рис.: 4. Бібл.: 11.*

**Актуальність теми дослідження.** Хлібопродукти – одне з основних джерел необхідних організму людини рослинних білків, вуглеводів, вітамінів, макро- і мікроелементів, харчових волокон. Водночас технологічне перероблення зерна на борошно супроводжується значними втратами вітамінів і мінеральних речовин, які видаляються разом із висівками і зародком. Особливо це стосується виробів, виготовлених із сортового борошна. Приготування з такого борошна хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів призводить до додаткової втрати важливих біологічно активних речовин. І якщо раніше основні дослідження у сфері харчової науки були зосереджені на питаннях збільшення продуктивності праці завдяки максимальній механізації і автоматизації виробничих процесів, то сьогодні основна увага дослідників прикута до хімічного складу продуктів харчування, зокрема до питань збільшення їхньої харчової цінності. Хлібопекарська продукція останнім часом стала предметом дискусії щодо поживної цінності хліба різних сортів, а один зі шляхів її підвищення – це збагачення (або фортифікація) хлібобулочних виробів інноваційними компонентами рослинного походження. Це сировина, яку не використовували у традиційній рецептурі і яка є такою, що вирізняється підвищеним вмістом вітамінів, мінеральних речовин, незамінних амінокислот та інших есенціальних компонентів. Зокрема, актуальним є використання різних плодів та овочів, насіння або продуктів їх переробки в складі рецептури хліба. Харчова цінність такої сировини зумовлена енергетичною, біологічною, фізіологічною, лікувально-профілактичною, органолептичною цінністю та безпекою збагачувальних рослинних компонентів, а розробка нових видів хліба, фортифікованих інноваційними рослинними компонентами, є актуальною.

**Постановка проблеми.** Додавання будь-яких нетрадиційних компонентів впливає як на органолептичні показники готових виробів (часто негативно), так і на параметри перебігу технологічного процесу. Тому важливим є не тільки вибір (визначення) фортифікаційного компонента, але й дослідження шляхів його додавання, визначення фізико-хімічних показників як готової продукції, так і напівфабрикатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виробництво хліба, збагаченого дієтичними домішками рослинної сировини, є перспективним напрямом розвитку інноваційних технологій харчової галузі. Так, до борошна додають мікроелементи (залізо, кальцій), вітаміни групи В, які не розкладаються за високої температури, аскорбінову кислоту, яка прискорює дозрівання тіста та покращує його хлібопекарські властивості. Крім цього, розроблено безліч різновидів хліба з додаванням висівок, насіння (льону, гарбуза, кунжуту), круп, спецій, різноманітних видів борошна, порошоків (з кісточок винограду, каліни, гранату) та інші [1].

Суттєва роль у профілактиці недостатньої забезпеченості населення мікронутрієнтами традиційно відводиться збагаченню харчових продуктів, насамперед хліба, такими сполуками:

- вітамінами-антиоксидантами (А, Е, С і β-каротин), які запобігають пероксидному окисненню ліпідів і накопичення вільних радикалів;
- флавоноїдами;
- поліненасиченими жирним кислотами;
- мінеральними речовинами (Са, К, Zn, Se, Mg);
- харчовими волокнами [2].

Наукова стратегія і практика створення продуктів здорового харчування з використанням макро- і мікронутрієнтів включає:

- медико-біологічні аспекти – передбачають вибір носія й домішки, що коригують хімічний склад продукту, рівень і безпеку збагачення;
- технологічні аспекти – розглядають питання якості продукції, збереженості мікронутрієнтів та їх сумісність з іншою сировиною, а також взаємодію з окремими компонентами харчової системи;
- клінічну ефективність, яка повинна підтвердити на основі методів доказової медицини біологічну доступність збагачувального компонента, а також надійність корекцій дефіциту й поліпшення стану здоров'я з використанням спеціалізованих, функціональних продуктів харчування [3].

Можливість і доцільність використання овочевої сировини у виробництві борошняних та кондитерських виробів зумовлена особливостями їхнього хімічного складу та технологічними властивостями. Харчова цінність овочів визначається в основному вмістом у них цукрів, органічних кислот, азотистих речовин та харчових волокон, а також вітамінів та солей лужних металів.

За сукупністю характеристик із усього різноманіття овочевих і плодкових домішок виділяють порошки. Вони зберігають свої корисні властивості протягом усього року, що дає можливість безперервно забезпечувати виробництво харчових продуктів цінним джерелом біологічно активних речовин.

Під час розробки технологій хлібних виробів важливо враховувати функціонально-технічні властивості сушених овочів (органолептичні характеристики, дисперсність, водопоглинальну здатність у різних полярних середовищах), оскільки саме вони найбільшою мірою впливають на органолептичні, фізико-хімічні показники якості і структурно-механічні властивості готових хлібобулочних виробів.

У виробництві виробів для здорового харчування перспективними дієтичними домішками, за рахунок харчової цінності та хімічного складу є продукти переробки овочевих культур родини Капустяних.

Броколі (спаржева капуста) – перехідна форма від білокачанної до цвітної капусти. Цінність броколі – в її хімічному складі, вона багата на макро- та мікроелементи, такі як калій, кальцій, магній, натрій, манган, фосфор, залізо, цинк, селен і мідь. Вітаміни групи В, Е, А, РР, К, С, U. За вмістом і складом амінокислот білок броколі не поступається курячому, а за рядом біологічних показників рівноцінний білку м'яса та молока. У броколі містяться азотисті сполуки – індол-3-карбінол, які стримують виникнення ракових захворювань, тому її використовують у фармакології [4].

У броколі містяться антисклеротичні речовини – метіонін та холін, які перешкоджають накопиченню холестерину в організмі [5].

Популяризації та просуванню на харчові ринки країн Європи корисної овочевої сировини – капусти броколі була присвячена IV міжнародна конференція «Броколі. Смак та користь від природи», в місті Сероцьк (Польща) в 2014 році.

Порівняння хімічного складу білокачанної капусти та капусти броколі, показує, що остання перевершує білокачанну за вмістом макро- та мікроелементів, вітамінів. Вміст фосфору є вищим на 58 мг/100 г, калію – на 130 мг/100 г, натрію – на 20 мг/100 г, маг-

нію – на 16 мг/100 г, кальцію – на 507 мг/100 г. Серед мікроелементів необхідно відмітити підвищену кількість селену, заліза та йоду. Особливо цінним у складі броколі можна вважати вміст вітаміну С – в два рази більше та вітаміну Е – у шість разів більше в порівнянні з білокачанною капустою [6].

Авторами [7] вивчено вплив суміші рослинних порошоків на процеси виготовлення пшеничного хліба. Проведені спільні міжнародні дослідження вчених двох університетів: Мічуринського державного аграрного університету (м. Мічуринськ, РФ) та університету Хоенхайм (м. Штутгарт, Німеччина). Перша суміш містила порошки томату та броколі, друга – порошки топінамбура та броколі (у співвідношенні 1:1). Використання овочевих сумішей за дозування 3 та 5 % у технології виробництва пшеничного хліба підвищує об'єм, робить м'якушку більш пористою та збільшує термін зберігання [7].

Цвітна капуста одна з найсмачніших, корисних та цінних за вмістом харчових речовин рослина. Вона, порівняно з капустою білокачанною, в 1,5...2,0 рази є багатшою на білок, у 2...3 рази – на аскорбінову кислоту. Вміст сухої речовини становить від 8,0 до 11,7 %. Поживна цінність броколі пов'язана з високим вмістом вітамінів С (41,6...180 мг/100 г), групи В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, РР, А (0,5...1,6 мг/100 г), К (4 мг/100 г), вітаміну Р (22...111 мг) в менших кількостях містяться вітаміни Е, Н. В її головках міститься кальцій (25...89 мг), залізо (0,6...1,3 мг), магній, манган, калій, фтор, цинк та мідь. Фосфор у капусті, як і кальцій, знаходиться переважно у формі водорозчинних солей.

Цукри представлені глюкозою (1,0...2,7 % на сиру речовину), фруктозою (0,5...1,7 %) та сахарозою (1,1...1,3 %), в невеликих кількостях є також ксилоза, мальтоза та рафіноза. Сирого білка міститься від 1,6 до 2,5 %, в якому чистий білок складає 83 %. Енергетична цінність 100 г продукції 29 ккал або 121 кДж [8].

До складу цвітної капусти входять ненасичені жирні кислоти, вуглеводи, органічні кислоти, флавоноїди та каротиноїди [9].

Для покращення органолептичних властивостей хлібобулочних виробів з добавкою порошку броколі, та цвітної капусти а саме – для надання відповідного аромату, в цій роботі була вибрана цедра лимону. Лимон широко застосовується в харчових технологіях. У шкірці плодів містяться значні запаси аскорбінової кислоти та флавоноїдів, ефірна лимонна олія, яка зумовлює приємний аромат лимону. До складу ефірних олій шкірки входять: альдегіди (цитроль та цитронелаль), спирти (ліналол, цитронелол, гераніол), етери (ацетат меланоло), монотерпени, в тому числі лимонен, який складає близько 95 % усіх олій лимону.

Більшість поживних речовин концентрується в шкірці, а точніше у верхньому її шарі – лимонній цедрі [10].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Таким чином, аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що інноваційні шляхи додавання дієтичних домішок на основі рослинної сировини в хлібобулочні вироби широко досліджуються [11], однак можливість фортифікації хліба пшеничного порошком капусти досліджена не була. Досі не розроблена рецептура пшеничного хліба, збагаченого порошком з броколі та цвітної капусти та не досліджена можливість покращення його смакових властивостей за рахунок додавання лимонної цедри.

**Постановка завдання.** У цій роботі вирішувалось завдання розробки технології виробництва пшеничного хліба, збагаченого сухою овочевою сировиною – порошком броколі та цвітної капусти та удосконалення смакових властивостей за рахунок додавання лимонної цедри. Необхідно дослідити вплив порошку з досліджуваних видів капусти на підйомну силу тіста; на якість та кількість клейковини; на вологість та кислотність готового хліба й дослідити можливість покращення смакових властивостей фортифікованого хліба пшеничного за рахунок додавання лимонної цедри.

**Виклад основного матеріалу.** Для виготовлення пшеничного хліба та проведення органолептичних, фізико-хімічних та хімічних досліджень була використана така сировина: борошно пшеничне вищого сорту; дріжджі пресовані; сіль кухонна; порошок броколі та порошок цвітної капусти; лимонна цедра.

Порошок броколі та цвітної капусти одержували в такій послідовності: очищені овочі нарізали скибочками товщиною 5...7 мм, потім бланшували протягом 2 хв і замочували на 45 хв у 0,2%-ному розчині гідросульфїту натрію (для запобігання потемнінню). Підготовлену таким чином сировину в подальшому висушували у сушарці за температури 60°C протягом 7 годин. Висушені шматочки подрібнювали на лабораторному млині та просіювали через стандартне лабораторне сито (розмір отворів 1,4×20,1).

З метою коректного розрахунку рецептури фортифікованого хліба спочатку визначили вологість порошку броколі, цвітної капусти та лимонної цедри. Виміри проводили за методикою прискореного висушування в сушильній шафі СЕШ-3М за температури 130 °С, протягом 40 хвилин.

Так, визначена вологість порошку броколі становила 12,5 %, цвітної капусти – 17,6 %, лимонної цедри – 69,6 %.

З метою визначення оптимальної концентрації фортифікаційних компонентів було досліджено показники якості тіста за їх концентрації 6, 8 та 10 %. Контролем слугувала рецептура хліба «Пшеничного з борошна вищого сорту».

Визначення впливу добавок на якість клейковини визначали згідно ДСТУ ISO 21415-1:2009 «Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Частина 1. Визначення сирової клейковини ручним способом (ISO 21415-1:2006, IDT)

Визначення впливу порошку броколі та цвітної капусти, та з додаванням лимонної цедри на підйомну силу тіста проводили прискореним методом спливання кульки, виготовленої з борошна, дріжджів пресованих та сольового розчину.

Якість хліба оцінювали шляхом проведення пробної лабораторної випічки.

Органолептично визначали форму хліба, колір і зовнішній вигляд, стан скоринки, смак і запах за методикою згідно ДСТУ-П 8536:2015 «Вироби хлібобулочні. Органолептичне оцінювання показників якості».

Визначали якість готової хлібної продукції за її фізико-хімічними показниками, а саме вологістю та кислотністю.

Визначення вологості, пористості і кислотності хліба проводили згідно з ДСТУ 7045:2009 «Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників».

Для всіх досліджуваних зразків з додаванням порошку броколі кількість клейковини знаходиться в межах 27...29 %; її розтяжність – в межах 12...15; пружність – у межах 68...75 одиниць приладу ВДК.

Дослідження впливу порошоків броколі і цвітної капусти на кількість і якість клейковини показало, що добавки в концентраціях від 6 до 10 % не суттєво впливають на ці показники. Кількість клейковини знижується пропорційно кількості доданої капусти, а зміна пружності клейковини знаходиться в межах похибки експерименту.

Підйомну силу тіста визначали за часом спливання кульки.

Результати дослідження показані на рис. 1.

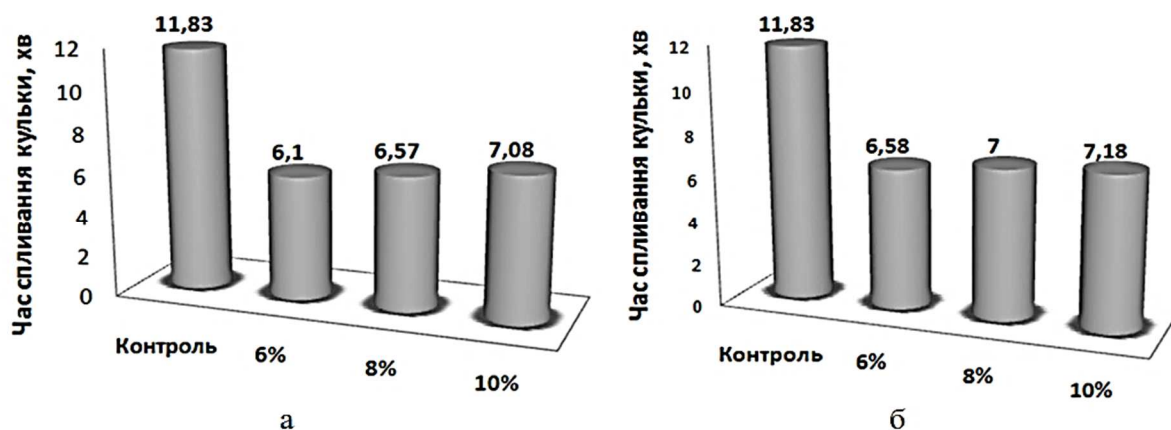


Рис. 1. Вплив додавання порошку броколі (а) та порошку цвітної капусти (б) на підйомну силу тіста

З діаграм видно, що найбільше (на 5,73 хвилини) скорочується час спливання кульки і, відповідно, чинить найкращий вплив на підйомну силу дріжджів додавання порошку броколі в кількості 6 % та порошку цвітної капусти в кількості 8 % (час спливання кульки скорочується на 5,25 хвилини). Такий вміст фортифікаційних добавок було обрано для подальших досліджень.

Для покращення смакових властивостей до зразку з порошком броколі (6 %) (контроль) додали лимонну цедру в кількості 6 % (зразок 1), 8 % (зразок 2), 10 % (зразок 3). Результати дослідження підйомної сили тіста за різного вмісту цедри показано на рис. 2.

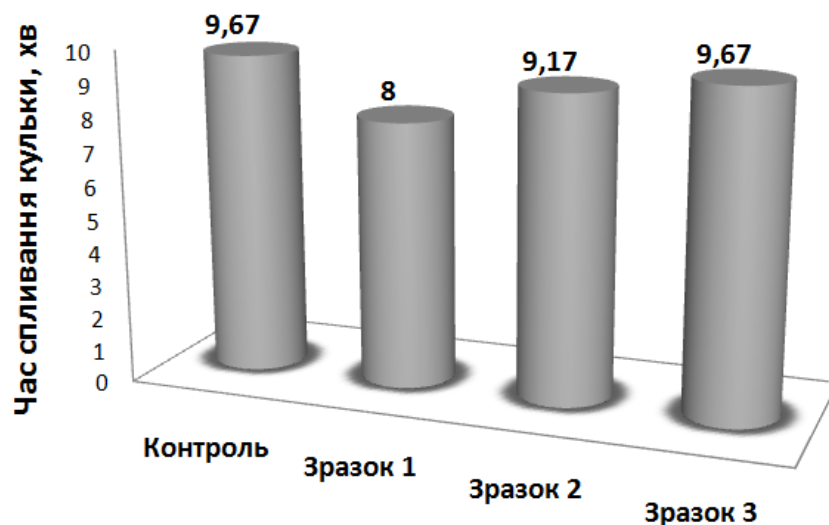


Рис. 2. Вплив лимонної цедри на підйомну силу тіста

Час спливання кульки скорочується на 1,67 хвилини у порівнянні з контрольним зразком у випадку додавання 6 % лимонної цедри, відповідно таке дозування обрано для розрахунку рецептури.

Таким чином, за результатами аналізу впливу фортифікаційних компонентів на підйомну силу тіста було обрано такі оптимальні кількості порошків: броколі – 6 %; цвітна капуста – 8 %; лимонна цедра – 6 % до маси борошна.

Розраховано рецептури і проведено пробне випікання для органолептичної та фізико-хімічної оцінки готових виробів. Використовували борошно пшеничне вищого сорту вологістю 14,5%, та з умістом сирової клейковини 28,4 %.

Таким чином, подальші пробні випічки проводили з обраними для дослідження добавками в таких кількостях до маси борошна: зразок 1 – 6 % порошку броколі; зразок 2 – 8 % порошку цвітної капусти, зразок 3 – 6 % порошку броколі та 6 % цедри лимону.

Результати визначення фізико-хімічних та органолептичних показників якості готового хліба наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Показники якості готових виробів

Фізико-хімічні показники				
Показники	Контроль	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Вологість м'якушки, %	41,3	41,7	41,8	41,3
Кислотність м'якушки, град	3,2	4,2	3,8	3,8
Пористість м'якушки, %	71	72	73	71
Органолептичні показники				
Правильність форми	Відповідає формі, в якій проводили випікання, з дещо випуклою верхньою скоринкою			
Колір скоринки	Світло-жовтий			Світло-коричневий.
Стан поверхні скоринки	Гладенька, без великих підривів і тріщини			
Колір м'якушки	Світлий	Світлий із зеленуватим відтінком	Світлий	Світлий із зеленуватим відтінком
Стан м'якушки	Пропечена, еластична, не волога на дотик, з розвинутою пористістю, без слідів непромісу й ущільнення			
Структура пористості	Пори дрібні та середні, розподілені досить рівномірно			
Смак та аромат хліба	Інтенсивно виражений, характерний хлібний	Інтенсивно виражений, властивий для хліба, з присмаком добавок		

Отримані зразки пшеничного хліба з додаванням порошоків броколі з лимонною цедрою та цвітної капусти мають приємні органолептичні властивості, пористу м'якушку, привабливий колір. Введення їх в раціон харчування сприяє поліпшенню структури харчування, розширенню асортименту пшеничного хліба.

Розрахували також харчову та енергетичну цінність фортифікованих продуктів за відомими табличними значеннями енергетичної цінності їх складових, вмісту (табл. 2) та засвоюваності. Результати розрахунків представлені на рис. 3.

Таблиця 2. Харчова цінність основної сировини

Сировина	Поживні речовини		
	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
Борошно пшеничне в/с.	10,3	0,9	74,2
Дріжджі пресовані	12,5	0,4	8,3
Сіль	-	-	-
Порошок броколі	3,0	0,2	6,0
Порошок цвітної капусти	2,0	0,28	4,0
Лимон	0,66	0,53	6,0

Розрахунки показали, що у випадку додавання рослинної сировини харчова цінність пшеничного хліба у порівнянні з контролем збільшується в усіх зразках, однак найбільше – у зразку 3 (з дозуванням 6 % порошку броколі та 6 % цедри лимону), в якому вміст білків збільшився на 0,16 г, жирів на 0,03 г, вуглеводів на 0,52 г на 100 г продукту.



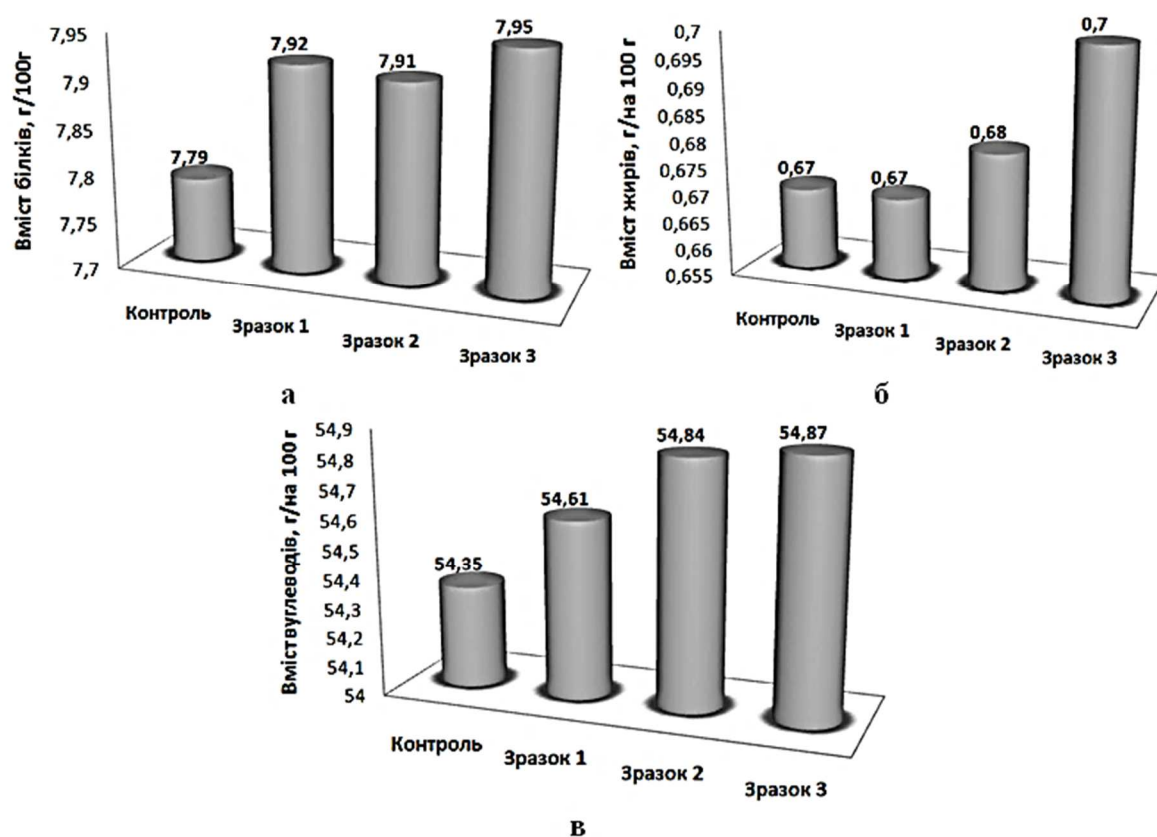


Рис. 3 – Вміст білків (а), жирів (б) та вуглеводів (в) у фортифікованому хлібі  
 Енергетичну цінність (теоретичну) розраховано за формулою 1:

$$E_{цт} = G_{білок} * K_б + G_{ж} * K_ж + G_в * K_в, \quad (1)$$

де  $K_б$ ,  $K_ж$ ,  $K_в$  – коефіцієнти енергетичної цінності білків – 16 кДж/г, жирів – 36 кДж/г, вуглеводів – 6 кДж/г.

Енергетичну цінність (реальну) розраховано за формулою 2:

$$E_{цр} = G_{білок} * K_б * Kз_б + G_{ж} * K_ж * Kз_ж + G_в * K_в * Kз_в, \quad (2)$$

де  $Kз_б$ ,  $Kз_ж$ ,  $Kз_в$  – коефіцієнти засвоюваності білків – 95,5 %, жирів – 84,0 %, вуглеводів – 94,5 %.

Результати розрахунків представлені на рис. 4.

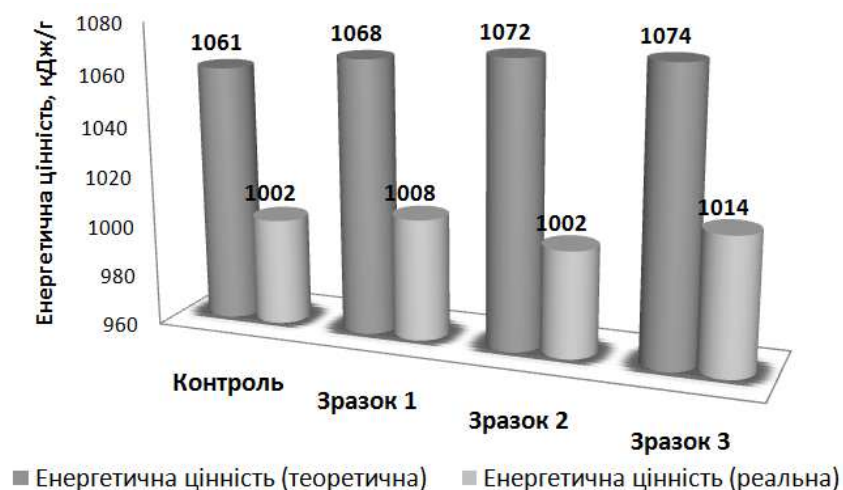


Рис. 4. Енергетична цінність фортифікованих зразків хліба

Згідно з розрахунками, у випадку додавання овочевої сировини енергетична цінність хліба збільшується. Найсуттєвіше енергетична цінність збільшилась, у порівнянні з контролем у зразка 3 на 12,5 кДж/г (теоретична) та на 11,5 кДж/г (реальна).

**Висновки.** 1. Порошки броколі та цвітної капусти позитивно впливають на підйомну силу тіста. Найкращі результати отримані за дозування 6 % порошку броколі та 8% порошку цвітної капусти до маси борошна. Тривалість спливання кульки скоротилась на 5,73 та 5,25 хвилин відповідно у порівнянні з контролем завдяки інтенсифікації процесу молочнокислого бродіння.

2. За збільшення дозування порошків досліджуваних видів капусти з 6 до 10 % зменшується кількість клейковини в середньому на 4,4 % порівняно з контролем через відсутність в добавках клейковинних білків.

3. Додавання порошку з броколі та цвітної капусти не суттєво впливає на вологість м'якшки. Проте кислотність значно підвищується на 3,0 град у випадку додавання 6 % порошку броколі до маси борошна та на 2,6 град під час додавання 8 % порошку цвітної капусти.

4. Добавка 6 % лимонної цедри до пшеничного хліба, фортифікованого порошком броколі (6 %), чинить позитивний вплив на підйомну силу тіста, час спливання кульки скорочується на 1,39 хв.

5. Обрані за результатами фізико-хімічного та органолептичного дослідження зразки 2 та 3 дозволяють рекомендувати розроблену рецептуру хліба пшеничного з додаванням порошку цвітної капусти (8% – зразок 2) та порошку броколі (6%) та лимонної цедри (6%) – зразок 3 в якості інноваційного продукту – хліба «Пшеничного з борошна вищого сорту», фортифікованого мікронутрієнтами.

#### Список використаних джерел

1. Буяльська Н. П., Гуменюк О. Л., Денисова Н. М., Челябієва В. М. Підвищення харчової цінності хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів : монографія. Чернігів : ЧНТУ, 2020. 122 с.
2. Можливості підвищення харчової цінності і якості хлібобулочних виробів з використанням вітамінних препаратів та мінеральних добавок. URL: <https://uchebnik-online.net/book/858-yakist-i-bezpechnist-zernoboroshnyanix-produktiv-navchalnij-posibnik-siroxman-iv-lozova-tm/22-19-vpliv-zhirovix-kompozicij-ta-emulgatoriv-na-polipshennya-spozhivnix-vlastivostej-xliba.html>.
3. Гончар Ю., Пукай В. Проблеми створення і виробництва функціональних продуктів. *Вісник студентського наукового товариства «ВАТРА» Вінницького торговельно-економічного інституту КНТЕУ*. 2018. Вип. 50. С. 44-46.
4. Beth Israel Deaconess Medical Center / Natural compound found in broccoli reawakens the function of potent tumor suppressor: Finding offers potential novel approach to cancer treatment and prevention // ScienceDaily. ScienceDaily, 16 May 2019. URL: [www.sciencedaily.com/releases/2019/05/190516142913.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2019/05/190516142913.htm).
5. Овощи как продукт функционального назначения / Бунин М. С. и др. Мичуринск : МичГАУ, 2007. 80 с.
6. Голубкина Н. А., Сирота С. М. Биологически-активные соединения овощей. *ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур Российской академии сельскохозяйственных наук*. Москва : ВНИИССОК, 2010. С. 133-136.
7. Перфилова О. В., Хитзман В., Неуймин Д. С. Возможность использования биопорошков томата, брокколи и топинамбура в технологии пшеничного хлеба. *Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты*. Воронеж, 2016. С. 108-111.
8. Лихацький В. І., Чередниченко В. М. Господарсько-біологічна оцінка сортів і гібридів капусти цвітної в Правобережному Лісостепу України. *Овочівництво і багтанництво*. 2007. Вип. 53. С. 407-420.
9. Тараканова Г. И., Мухина В. Д. Овощеводство. Москва : Колос, 2003. 472 с.
10. Матвеева. Н. А., Худошина А. В. Обработка лимонов для использования в производстве лимонного напитка. *Процессы и аппараты пищевых производств*. 2013. № 4. URL: <https://openbooks.itmo.ru>.

11. Дробот В. И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности. Киев : Урожай, 1988. 152 с.

### References

1. Buyalska, N. P., Humenyuk, O. L., Denysova, N. M., Chelyabiyeva, V. M. (2020). *Pidvyshchennya kharchovoyi tsinnosti khlilobulochnykh i boroshnyanykh kondyterskykh vyrobiv [Increasing the nutritional value of bakery and flour confectionery]*. CHNTU.
2. Mozhlyvosti pidvyshchennya kharchovoyi tsinnosti i yakosti khlilobulochnykh vyrobiv z vykorystannyam vitaminnykh preparativ ta mineral'nykh dobavok [Opportunities to increase the nutritional value and quality of bakery products with the use of vitamin preparations and mineral supplements]. <https://uchebnik-online.net/book/858-yakist-i-bezpechnist-zernoboroshnyanix-produktiv-navchalnij-posibnik-siroxman-iv-lozova-tm/22-19-vpliv-zhirovix-kompozicij-ta-emulgatoriv-na-polipshennya-spozhyvnyx-vlastivostej-xliba.html>.
3. Honchar, Yu., Pukay, V. (2018). Problemy stvorennia i vyrobnytstva funktsionalnykh produktiv [Problems of creation and production of functional products]. *Visnyk studentskoho naukovoho tovarystva «VATRA» Vinnytskoho torhovelno-ekonomichnoho instytutu KNTEU – Bulletin of the student scientific society "VATRA" of Vinnytsia Trade and Economic Institute KNTEU*, 50, pp. 44-46.
4. Beth Israel Deaconess Medical Center / Natural compound found in broccoli reawakens the function of potent tumor suppressor: Finding offers potential novel approach to cancer treatment and prevention. *ScienceDaily* (16 May 2019). [www.sciencedaily.com/releases/2019/05/190516142913.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2019/05/190516142913.htm).
5. Bunin, M. S., Kononkov, P. F., Gins, V. K. et al. (2007). *Ovoshchi kak produkt funktsionalnogo naznacheniya [Vegetables as a product of functional purpose]*. MichGAU.
6. Golubkina, N. A., Sirota, S. M. (2010). Biologicheski-aktivnye soedineniia ovoshchei [Biologically active compounds of vegetables]. *GNU Vserosyiskiy nauchno-issledovatel'skiy institut seleksii i semenovodstva ovoshchnykh kultur Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk – State Scientific Institution All-Russian Scientific Research Institute of Selection and Seed Production of Vegetable Crops of the Russian Academy of Agricultural Sciences* (pp. 133-136). VNISSOK.
7. Perfilova, O. V., Khitzman, V., Neuymin, D. S. (2016). Vozmozhnost ispolzovaniia bioporoshkov tomata, brokkoli i topinambura v tekhnologii pshenichnogo khleba [Possibility of using biopowders of tomato, broccoli and Jerusalem artichoke in wheat bread technology]. *Innovatsionnye pishchevye tekhnologii v oblasti khraneniia i pererabotki selskokhozyaystvennogo syria: fundamentalnye i prikladnye aspekty – Innovative food technologies in the storage and processing of agricultural raw materials: fundamental and applied aspects* (pp. 108-111).
8. Lykhatskyi, V. I., Cherednychenko, V. M. (2007). Hospodaroko-biolohichna otsinka sortiv i hibrydiv kapusty tsvitnoyi v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Economic and biological evaluation of varieties and hybrids of cauliflower in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo – Vegetable and melon growing*, 53, pp. 407-420.
9. Tarakanova, G. I., Mukhina, V. D. (2003). *Ovoshchevodstvo [Vegetable growing]*. Kolos.
10. Matveyeva, N. A., Khudoshina, A. V. (2013). Obrabotka limonov dlia ispolzovaniia v proizvodstve limonnoho napitka [Processing of lemons for use in the production of lemon drink]. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv – Processes and devices of food production*, (4). <https://openbooks.itmo.ru>.
11. Drobot, V. I. (1988). *Ispolzovaniie netraditsionnogo syria v khlebopekarnoi promyshlennosti. [The use of non-traditional raw materials in the baking industry]*. Urozhai.

UDC 664.66

Zhanna Zamai, Oksana Gumeniuk, Raisa Volkova, Olena Khrebtan, Sergii Tsybulia

## FORTIFICATION OF WHEAT BREAD WITH INNOVATIVE INGREDIENTS OF PLANT ORIGIN

*Bakery products have recently become the subject of discussion about the nutritional value of bread of different varieties, and one way to increase it is to enrich bakery products with innovative components of plant origin, so the development of new breads enriched with innovative plant components is relevant. It is important not only to choose the fortification component, but also to study the methodology of its addition, to determine the physical and chemical parameters of finished products and semi-finished products.*

*The production of bread enriched with biologically active substances of vegetable raw materials is a promising direction for the development of innovative technologies in the food industry. Currently a recipe for wheat bread enriched with broccoli and cauliflower powder has not been developed, and the possibility of improving its taste by adding lemon zest has not been studied.*

*Development of technology for the production of wheat bread enriched with dry vegetable raw materials: broccoli and cauliflower powder; improvement of taste properties by adding lemon peel.*

*The influence of additives on the quality of gluten, the lifting power of yeast, quality indicators of finished bread, and optimal dosage of fortification components. The nutritional and energy value of enriched products is calculated.*

*The samples selected according to the results of physicochemical and organoleptic research allow to recommend the developed recipe of wheat bread with the addition of cauliflower powder (8%), broccoli powder (6%) and lemon zest (6%) as an innovative product - wheat bread fortified with dried vegetables.*

**Keywords:** wheat bread; fortification; broccoli and cauliflower powder; lemon zest; recipe.

Table: 2. Fig.: 4. References: 11.

**Замай Жанна Василівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Zhanna Zamai** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2879-4677>

**E-mail:** zamaizhanna@gmail.com

**Scopus Author ID:** 6506101557; 6506148493

**Гуменюк Оксана Леонідівна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Gumeniuk Oksana** – PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of food technologies, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** gum\_ok@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9856-8635>

**ResearcherID:** F-9471-2016

**Scopus Author ID:** 9839040200

**Волкова Раїса Миколаївна** – викладач кафедри харчових технологій, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Volkova Raisa** – lecturer of food technologies department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** volkova6402@ukr.net

**Хребтань Олена Борисівна** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри харчових технологій, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Khrebtan Olena** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Food Technology, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** olenaborisovnahrebtan@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7296-7136>

**Цибуля Сергій Дмитрович** – доктор технічних наук, професор кафедри харчових технологій, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Tsybulia Sergii** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Department of food technologies, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** stcibula@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7843-6061>

**ResearcherID:** H-1391-2016

**Scopus Author ID:** 572056643285

УДК 665

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-145-151

Вікторія Воробйова, Маргарита Скіба, Інна Трус, Світлана Кирій, Світлана Сіренко

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ТА АНТИОКСИДАНТНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКСТРАКТУ ПРОДУКТУ ПЕРЕРОБКИ ТОМАТА**

Досліджено ефективність використання низькотемпературного евтектичного розчинника [холін-хлорид]/[DL-молочна кислота] для екстракції органічних сполук із продукту переробки томата (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) встановлено, що основними компонентами екстракту є *n*-кумарова та хлорогенова кислоти, кверцетин та рутин. За допомогою спектрофотометричного методу кількісно визначено в екстракті наявність фенольних сполук і флаваноїдів. Встановлено, що отриманий екстракт має відносно високу антирадикальну/антиоксидантну активність.

**Ключові слова:** екстракція; антиоксидантні властивості; жмих томата; холін хлорид-молочна кислота; поліфенольні сполуки.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні дедалі більшого розвитку у векторі «зелених» технологій у галузі хімічних технологій та інженерії набувають дослідження з отримання екологічно безпечних фітохімічних/органічних сполук із рослинної сировини та відходів їх переробки. Традиційними методами вилучення «зелених» органічних сполук із рослинної сировини є екстракція відомими прекурсорами, а саме легкими органічними розчинниками (толуол, етилацетан, гексан), що надалі обмежує їх використання у специфічних галузях, таких як косметична, фармацевтична, природоохоронна та ветеринарія [1]. З огляду на вищезазначене, особливо перспективним для хімічної технології є використання альтернативних екологічно безпечних «зелених» типів розчинників для екстракції «зелених»/фітохімічних органічних сполук [2].

З викладених вище міркувань, привабливими є так звані низькотемпературні евтектичні розчинники, що загально визнані у світі як абсолютно безпечні (Generally Recognized as Safe), які повністю відповідають принципам зеленої хімії та вважаються розчинниками 4-го покоління для хімічної технології XXI сторіччя. За результатами маркетингових досліджень світового лідера виробників розчинників для різних сфер промисловості «Asia Pacific Solvents Market», попит на «зелені» розчинники, а саме низькотемпературні іонні рідини нового покоління, як очікується, зростатиме швидкими темпами і до кінця 2027 р. досягне ринкової вартості в розмірі ~13 млрд дол. Починаючи з 2018 року серед закордонних учених бурхливого розвитку набули саме вище згадані глибоко евтектичні розчинники як «зелені» екстрагенти відходів рослинної сировини [3], що розглядаються як нове покоління дешевих та екологічно безпечних іонних рідин із низкою практично корисних властивостей, що характеризуються доступністю, варіативністю компонентів, простотою синтезу та унікальною комбінацією високої екстракційної здатності, термічної та хімічної стійкості, полярністю.

Глибоко евтектичні розчинники являють собою рідину (систему), що складається з двох/трьох компонентів, акцептора водневого зв'язку та донора водневого зв'язку, які здатні до самоасоціації, утворюючи нову евтектичну фазу (суміш), що характеризується температурою плавлення (<100 °C), значно меншою, ніж у кожного компонента індивідуально. Синтез низькотемпературних евтектичних розчинників базується на використанні біодеградабельних природних органічних сполук: карбоксильних кислот (LD-молочна, винна, оксалатна), амінокислот (аланін, гліцин, гістидин, пролін), поліолів/похідних поліол цукрів (гліцерол, карбогідрати, ксилітол, D-іzosorbід, D-сорбіт), четвертинних амонієвих солей (похідних холіну), бетаїну та ін. Саме, широкий спектр різних класів сполук, які можна використати для синтезу глибоко евтектичних розчинників, призвів до повної адаптації їх відповідних властивостей як розчинників [4]. Можливість

регулювання селективності екстракції за рахунок корегування складових системи глибоко евтектичного розчинника при синтезі, дає змогу отримати розчинник, який відповідає необхідним показникам, а також підвищити ресурсозбереження та енергоефективність процесу екстракції шляхом покращення показників якості отримуваних екстрактів рослинної сировини.

**Постановка проблеми.** Відходи харчової/рослинної промисловості є джерелом суміші органічних сполук різних класів як летких, так і високомолекулярних, що при цілеспрямованому доборі розчинника для їх вилучення, може забезпечити поліфункціональність отриманого екстракту для різних сфер хімічної технології та інженерії. Так, особливо цікавими є поліфенольні сполуки, що мають антиоксидантну, антибактеріальну активність та є широкоживаними у харчовій та косметичній галузях. Слід зазначити, що поліфенольні сполуки мають високу ефективність як відновники при синтезі наночастинок металів, композитних матеріалів та наносистем «ядро-оболонка» [5]. Тому подальший пошук перспективних джерел фітохімічних / органічних сполук та підбір ефективних «зелених» екстрагентів є актуальним питанням для сучасної галузі хімічних технологій та інженерії.

Переважає більшість усіх овочів та фруктів у своєму складі містять поліфенольні сполуки, що зумовлює наявність великої кількості досліджень щодо інтенсифікації або розробки нових методів їх екстракції. Треба зазначити, що у науковців пріоритетність досліджень при виборі типу сировини у більшості випадків пов'язана з культивуванням або з наявністю переробних підприємств у власній країні або сусідніх державах. Аналіз агропромислового сектору України свідчить, що доцільним є валоризація продуктів переробки томатів (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Так, за даними продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, у всьому Світі виробництво томатів неухильно зростає, а загальний річний обсяг виробництва з 129 млн тонн у 2015 році збільшився до 163 млн тонн у 2019 р. Україна посідає 15-е місце у світі за обсягами вирощування томатів після таких світових лідерів, як Туреччина, Марокко та Іспанія. В Україні переробку томатів здійснюють такі компанії, як «Чумак», «Сандора», «Торчин» та інші. Здебільшого продукти, які залишаються після пресування томатів, включають 13 % насіння, а крім того, 40 % складають вичавки томата [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз результатів, отриманих вітчизняними та закордонними вченими свідчить, що томат містить поліфенольні сполуки (похідні р-кумарової кислоти та кверцетину), а також сполуки не фенольної будови (бензиловий спирт, насичені та ненасичені жирні кислоти, каротиноїди та інші). За результатами досліджень традиційний процес екстракції фенольних сполук жмиха томата проведений спиртовим, або водно-спиртовим розчинником, демонструє низький вихід екстракції та великі енергозатрати [6]. Також науковцями досліджено ефективність екстракції трикомпонентними системами, в яких варіюється полярність: *n*-гексан – етанол – ацетон та етилацетат – етанол – ацетон [7]. Установлена можливість екстракції лікопіну з жому томата з використанням декількох видів рослинної олії як розчинника, а саме кокосової, оливкової, соєвої, пальмової та соняшникової олії. Багато публікацій присвячено отриманню лікопіну або пектину [8] із жмиха томату, а також методів інтенсифікації екстракції при використанні низькотемпературної плазми, ультразвукової або мікрохвильової обробки [9]. Варто зауважити, використання інноваційної гідрофобної евтектичної суміші (DL-ментол та LD-молочна кислота) для вилучення лікопіну [10].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Слід зазначити відсутність спроб використання глибоко евтектичних розчинників для екстракції поліфенольних сполук жмиха томата.

**Постановка завдання.** Викладене вище переконує про перспективність вилучення/екстракції фітохімічних/органічних сполук з жмиха томата «зеленими» глибоко евтектичними розчинниками при ультразвуковій обробці, що сприятиме більш ефективній екстракції органічних сполук, при реалізації концепції ресурсозберігаючих хімічних технологій.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі використовували подрібнений сухий жмих томата сорту «Волове серце», отриманої від компанії торговельної марки «Чумак». Жмих томата подрібнювали до  $5 \times 10^{-1}$  мм, що дозволяє підвищити ефективність масового перенесення активних компонентів з рослинного матеріалу до розчинника. Згідно з роботами Еббота та інших [11], аніон хлору здатний утворювати два водневі зв'язки з гідроксильними групами, як показано на запропонованій схемі координації молекул (рис. 1).

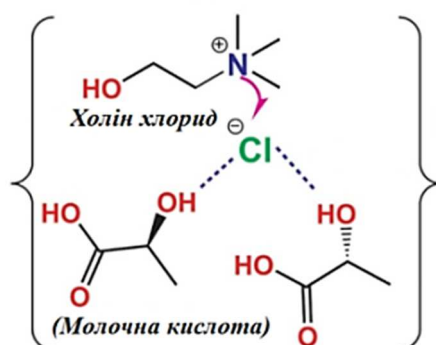


Рис. 1. Схема координації молекул холін хлориду та DL-молочної кислоти при утворенні низькотемпературного евтектичного розчинника

Глибоко евтектичний розчинник готували при постійному перемішуванні та нагріванні до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  холін хлориду ( $\geq 98,0\%$ ) (ChCl) та молочної кислоти ( $\geq 98,0\%$ ) (ChCl) в молярному співвідношенні [Ch][Cl]:LA 1 : 2. Через 2 години отримали однорідну прозору безбарвну рідину, після чого додатково вводили 30 % води.

В екстракційній посудині жмих томата масою 2 г змішували з 25 мл глибоко евтектичного розчинника ([Ch][Cl]:LA). Утворену суміш обробляли протягом 2 годин ультразвуком з частотою 27 кГц та інтенсивністю  $6\text{ Вт/см}^2$ . Екстракцію проводили при температурі  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 50 хв, після чого екстракт фільтрували через нейлоновий фільтр з діаметром пор  $0,45\text{ мкм}$ .

Фенольні сполуки визначали спектрофотометричним методом (за реактивом Фоліна-Чокальтеу) в перерахунку на галову кислоту. Загальний вміст флавоноїдів визначали за допомогою ультрафіолетового спектрофотометра UV-5800PC.

Дослідження якісного складу сполук фенольної природи проводили методом ВЕРХ на рідинному хроматографі Shimadzu LC20 Prominence в модульній системі, оснащений діодно-матричним детектором SPDМ20А і ChemStation LC20. Цей метод дозволив ідентифікувати 10 сполук, серед яких домінуючими є *p*-кумарова кислота (11,80 %) хлорогенова кислота (12,36 %), кверцетин (12,70 %), рутин (6,86 %), епікатехін (5,74 %), галова (1,21 %) та ферулова (1,13 %) кислоти. Імовірно, що гідроксикоричні кислоти, які кількісно переважають, зумовлюють антиоксиданту активність екстракту.

У процесі досліджень щодо визначення загальної суми фенольних сполук та флавоноїдів екстракту жмиха томата, отриманого системою [Ch][Cl]:LA, було встановлено, що загальна сума фенольних сполук становить  $11,12\text{ мг/г}$  еквівалента галової кислоти (ГК), а загальний міст флавоноїдів –  $7,9\text{ мг/г}$  еквіваленту кверцетину (табл. 1).

Таблиця 1. Сполуки екстракту жмиха томата отриманого системою [Ch][Cl]:LA

Сполука	Час утримання, хв	Вміст, %
р-кумарова кислота (2E) - 3- (4- гідроксифеніл) проп- 2- енова кислота	5,087	11,80
Галова кислота (3,4,5-триоксibenзойна кислота)	6,622	1,21
Ферулова кислота (3-метокси-4-гідроксикорична кислота)	6,849	1,13
Кавова кислота (3,4-діоксикорична кислота)	8,394	4,77
Хлорогенова кислота (3-кофеїлхінна кислота)	15,32	12,36
Проціанідин	27,88	5,28
Кемпферол-3-О-глюкозид	32,67	7,51
Рутин (2-(3,4-дигідроксифеніл)-5,7-дигідрокси-3-{{(2S,3R,4S,5S,6R)-3,4,5-тригідрокси-6-({(2R,3R,4R,5R,6S)-3,4,5-тригідрокси-6-метилоксан-2-ил}окси)}метил}оксан-2-ил}окси}-4Н-хромен-4-он)	33,11	6,86
Епекатехін	33,33	5,74
Кверцетин (2-(3,4-дигідроксифеніл)-3,5,7-тригідрокси-4Н-хромен-4-он)	46,760	12,7

Проведено порівняльний аналіз антирадикальної дії екстракту жмиха томата щодо радикала 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (ДФПГ) і катіон-радикала 2,2'-азіно-біс-(3-етилбензтіазоліно)-6-сульфонова кислота (АБТС). На рис. 2 наведено кількісні характеристики взаємодії екстракту жмиха томату з ДФПГ. Порівняння антирадикальної активності проводили відносно тролоксу (6-гідрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбонова кислота) та комерційного антиоксиданта бутилгідрокситолуолу (ВНТ). У діапазоні концентрацій 60–80 мг/мг спостерігається радикал-поглинальна ефективність на рівні 40 % відносно радикалу ДФПГ, та 50 % відносно катіон-радикала АБТС.

При взаємодії екстракту жому томату з ДФПГ в етанолі реакція відбувається за двома конкуруючими процесами – механізм взаємодії фенольних сполук із радикалами, що полягає у прямому переносі атома водню від фенолу до радикала і механізм взаємодії фенольних сполук із вільними радикалами, що полягає в послідовній дисоціації молекули фенолу з переносом електрона до радикала. При взаємодії із катіон-радикалом АБТС найбільш імовірним є реалізація механізму взаємодії фенольних сполук із вільними радикалами, що полягає в переносі електрона з наступним переносом протона від молекули фенолу до радикала.

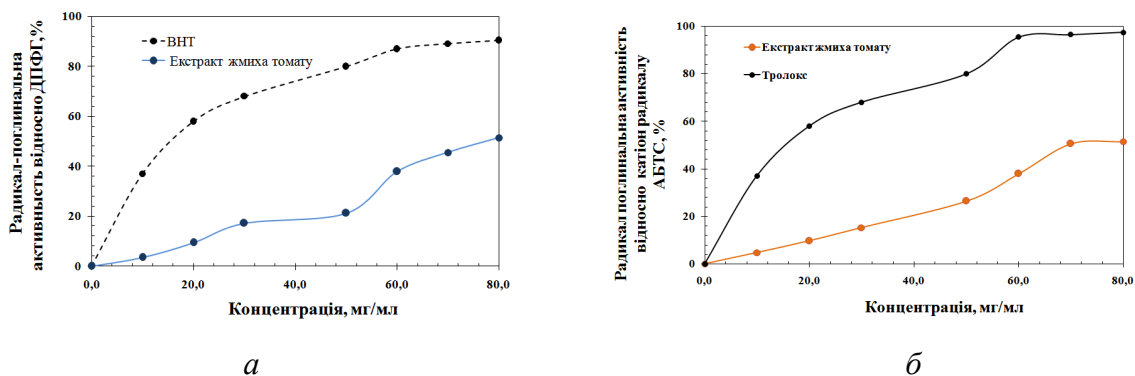


Рис. 2. Результати визначення антирадикальної активності сполук екстракту жмиха томата отриманого системою [Ch][Cl]:LA відносно радикала ДФПГ (а) і катіон-радикала АБТС (б)



Отже, ці сполуки є більш ефективними антирадикальними агентами щодо катіон-радикала АБТС ніж доДФПГ.

**Висновки.** Отримано та досліджено компонентний склад та антирадикальні/антиоксидантні властивості екстракту жмиха томату отриманого при екстракції низькотемпературним евтектичним розчинником холін хлорид-молочна кислота. За допомогою ВЕРХ та спектрофотометричних методів досліджень визначений якісний та кількісний склад фенольних сполук та флавоноїдів у екстракті. Показано, що отриманий екстракт має відносно високу антирадикальну/антиоксидантну активність.

#### Список використаних джерел

1. Islam T., Yu X., Bad-wal, T. S. & Xu B. Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (*Lycium barbarum*) and black goji berry (*Lycium ruthenicum*). *Chemistry Central Journal*. 2017. № 11. 59. Pp. 1–8.
2. Alrugaibah M., Yagiz Y., & Gu L. Use natural deep eutectic solvents as efficient green reagents to extract procyanidins and anthocyanins from cranberry pomace and predictive modeling by RSM and artificial neural networking. *Separation and Purification Technology*. 2021. № 255. Pp. 117720.
3. Bi W., Tian M., Row K.H. Evaluation of alcohol-based deep eutectic solvent in extraction and determination of flavonoids with response surface methodology optimization. *J. Chromatogr. A*. 2013. № 1285. Pp. 22–30.
4. Bubalo M.C. Curko N., Tomašević M., Ganić K.K., Redovniković I.R. Green extraction of grape skin phenolics by using deep eutectic solvents. *Food Chem*. 2016. 200. Pp. 159–166.
5. Chyhyrynets, O. E., Fateev, Y. F., Vorobiova, V. I. et al. Study of the Mechanism of Action of the Isopropanol Extract of Rapeseed Oil Cake on the At-mospheric Corrosion of Copper. *Mater Sci*. 2016. № 51. Pp. 644–651.
6. Knoblich M., Anderson B., & Latshaw D. Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. № 85. Pp. 1166–1170.
7. Zuorro A. Enhanced Lycopene Extraction from Tomato Peels by Optimized Mixed-Polarity Solvent Mixtures. *Molecules*. 2020. № 25(9). C. 2038.
8. Sengar A. S., Rawson A., Muthiah M., & Kumar Kalakandan, S. Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2020. № 61. Pp. 104812.
9. Bao Y., Reddivari L., & Huang J.-Y. Development of cold plasma pretreatment for improving phenolics extractability from tomato pomace. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. № 65. Pp. 102445.
10. Silva Y. P. A., Ferreira T. A. P. C., Jiao G., & Brooks M. S. Sustainable approach for lycopene extraction from tomato processing by-product using hydrophobic eutectic solvents. *Journal of Food Science and Technology*. 2019. № 56. Pp. 1649–1654.
11. Abbott AP, Capper G, Davies DL, Munro HL, Rasheed RK, Tambyrajah. Preparation of novel, moisture-stable, Lewis-acidic ionic liquids containing quaternary ammonium salts with functional side chains. *Chem Commun*. 2001. № 19. Pp. 2010–2011.

#### References

1. Islam, T., Yu, X., Bad-wal, T. S., & Xu, B. (2017). Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (*Lycium barbarum*) and black goji berry (*Lycium ruthenicum*). *Chemistry Central Journal*, 11(59), pp. 1–8.
2. Alrugaibah, M., Yagiz, Y., & Gu, L. (2021). Use natural deep eutectic solvents as efficient green reagents to extract procyanidins and anthocyanins from cranberry pomace and predictive modeling by RSM and artificial neural networking. *Separation and Purification Technology*, 255, pp. 117720.
3. Bi, W., Tian, M., Row, K.H. (2013). Evaluation of alcohol-based deep eutectic solvent in extraction and determination of flavonoids with response surface methodology optimization. *J Chromatogr*, 1285, pp. 22–30.
4. Bubalo, M.C. Curko N., Tomašević M., Ganić K.K., Redovniković I.R. (2016). Green extraction of grape skin phenolics by using deep eutectic solvents. *Food Chem.*, 200, pp. 159–166.

5. Chyhyrynets, O. E., Fateev, Y. F., Vorobiova, V. I. et al. (2016). Study of the Mechanism of Action of the Isopropanol Extract of Rapeseed Oil Cake on the At-mospheric Corrosion of Copper. *Mater Sci.*, 51, pp. 644–651.
6. Knoblich, M., Anderson, B., & Latshaw, D. (2005). Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, pp. 1166–1170.
7. Zuurro, A. (2020). Enhanced Lycopene Extraction from Tomato Peels by Optimized Mixed-Polarity Solvent Mixtures. *Molecules*, 25(9), pp. 2038.
8. Sengar, A. S., Rawson, A., Muthiah, M., & Kumar Kalakandan, S. (2020). Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. *Ultrasonics Sonochemistry*, 61, pp. 104812.
9. Bao, Y., Reddivari, L., & Huang, J.-Y. (2020). Development of cold plasma pretreatment for improving phenolics extractability from tomato pomace. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65, pp. 102445.
10. Silva, Y. P. A., Ferreira, T. A. P. C., Jiao, G., & Brooks, M. S. (2019). Sustainable approach for lycopene extraction from tomato processing by-product using hydrophobic eutectic solvents. *Journal of Food Science and Technology*, 56, pp. 1649–1654.
11. Abbott, AP, Capper, G, Davies, DL, Munro, HL, Rasheed RK, Tambyrajah. (2001). Preparation of novel, moisture-stable, Lewis-acidic ionic liquids containing quaternary ammonium salts with functional side chains. *Chem Commun*, 19. pp. 2010–2011.

UDC 665

*Viktoriia Vorobyova, Margarita Skiba, Inna Trus, Svitlana Kyrii, Svetlana Sirenko*

### RESEARCH OF COMPONENT COMPOSITION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF TOMATO PROCESSED PRODUCT EXTRACT

*Nowadays in the field of chemical technologies and engineering, research on obtaining ecologically safe phytochemicals / organic compounds from plant raw materials and waste from their processing is gaining more and more development in the vector of “green” technologies.*

*The search of promising sources of phytochemical / organic compounds and the selection of effective “green” extractants is a topical issue for the modern industry of chemical technology and engineering.*

*Recent publications that tomato contains polyphenolic compounds (p-coumaric acid and quercetin derivatives), as well as non-phenolic compounds (benzyl alcohol, saturated and unsaturated fatty acids, carotenoids, etc.) were considered, and extraction processes of these compounds were considered.*

*Information on the use of deep eutectic solvents for the extraction of polyphenolic compounds of tomato pomace.*

*To study the component composition of the tomato processing product extract obtained with a deep eutectic solvent and to establish its antioxidant / antiradical capacity.*

*The efficiency of using a low-temperature eutectic solvent [choline chloride] / [DL-lactic acid] for the extraction of organic compounds from the tomato processing product (*Lycopersicon esculentum*. Mill.) was investigated. The composition of the extract was studied by high performance liquid chromatography (HPLC). The main components of the extract are p-coumaric and chlorogenic acids, quercetin and rutin. The presence of phenolic compounds and flavonoids in the extract was quantified by spectrophotometric method. The phenolic compounds in the test extract were determined using Folin-Chocolteu reagent and expressed as gallic acid equivalent (mgGC / g of extract). The flavonoid content of the extract was determined by the spectrophotometric method with aluminum chloride and expressed in quercetin equivalent (mgKV / g of extract). The antioxidant activity of the obtained extract was also determined by a method using an ethanolic solution of the stable free radical DPPH and a cation radical ABTS. Antiradical activity is expressed as a percentage of inhibition.*

*The work uses an environmentally friendly, ionic solvent for the extraction of organic compounds from tomato pomace. The component composition and antiradical/antioxidant properties of tomato pomace extract obtained by extraction with low-temperature eutectic solvent based on the choline chloride and lactic acid were studied. Polyphenolics compounds are the main class of extracted compounds. It was found that at concentrations of 60–80 ml/mg extract radical-absorbing efficiency against the radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and the cation radical 2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzthiazolino)-6-sulfonic acid (ABTS) is at the level of 40 % and 50 %, respectively. Thus, tomato pomace extract obtained by using DES has a high antiradical / antioxidant activity.*

**Keywords:** extraction; antioxidant properties; tomato juice; choline chloride-lactic acid.

Fig.: 2. Table: 1. References: 11.

**Воробйова Вікторія Іванівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Vorobyova Viktoriia** – PhD in Technical Science, associate professor, associate professor of Physical Chemistry Department, National Technical University of Ukraine National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** vorobyovavika1988@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7479-9140>

**ResearcherID:** J-5678-2017

**Scopus Author ID:** 55808771000

**Скіба Маргарита Іванівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології неорганічних речовин, Український державний хіміко-технологічний університет (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

**Sciba Margarita** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Ecology and Technology of Inorganic Substances, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).

**E-mail:** margaritaskiba88@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4634-280X>

**ResearcherID:** AАН-8410-2019

**Scopus Author ID:** 57198771281

**Трус Інна Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Trus Inna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** inna.trus.m@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

**ResearcherID:** I-3204-2017

**Scopus Author ID:** 56152219600

**Кириї Світлана Олександрівна** – кандидат технічних наук, асистент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).

**Kyrii Svitlana** – PhD in Technical Sciences, assistant of the Department of Inorganic Substances, Water Purification and General Chemical Technology, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** kysvit@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2805-7821>

**ResearcherID:** I-3848-2018

**Scopus Author ID:** 57201580657

**Сіренко Світлана Олександрівна** – студентка кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Sirenko Svetlana** – student of the Department of Physical Chemistry, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

УДК 664.682.9

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-152-161

Інна Данилюк, Любов Струтинська

**ТЕХНОЛОГІЯ МЛИНЦІВ ІЗ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

*Розроблення технології млинців смажених із використанням морквяного соку та начинки яблучно-горіхової, і визначення показників якості є актуальним. Досліджено оптимальну кількість морквяного соку для начинки млинців смажених з яблуками та волоськими горіхами. Проаналізовано вплив добавок на органолептичні властивості модельно-харчових композицій, розроблено рецептуру та технологічну схему борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою», визначено харчову цінність, розраховано комплексний показник якості та побудовано моделі якості контрольного та дослідного зразка борошняних страв.*

**Ключові слова:** морквяний сік; ядра волоський горіх; якість; харчова цінність; начинка; млинці смажені; органолептичні показники.

*Рис.: 2. Табл.: 5. Бібл.: 15.*

**Актуальність теми дослідження.** У сучасних умовах актуальним завданням вітчизняних харчових технологій є розширення асортименту страв та виробів за рахунок виробництва високоякісних харчових продуктів підвищеної харчової та біологічної цінності [1].

Перспективним шляхом вирішення проблеми покращення харчування населення України є введення до складу харчових продуктів масового споживання вітчизняної рослинної сировини, яка характеризується доступністю, особливостями хімічного складу та технологічними властивостями [2].

Актуальність пов'язана з тим, що борошняні страви є групою харчових продуктів широкого асортименту, які споживаються майже всіма категоріями населенням. Вони значно відрізняються між собою за складом і споживчими властивостями та займають значну частку в раціоні харчування людини й користуються сталим попитом, насамперед завдяки смаковим властивостям.

Млинці – борошняні страви, які є одним із багатьох напрямів, що потребують покращення харчової та біологічної цінності. Відомо, що вони належать до висококалорійних продуктів за рахунок значного вмісту вуглеводів та незбалансованих за вмістом білків, жирів, харчових волокон, вітамінів та мінеральних речовин, що робить перспективним удосконалення технологій млинців смажених із начинкою із використанням локальної рослинної сировини для покращення їхньої харчової цінності [3].

**Постановка проблеми.** Борошняні страви з млинцевого тіста характеризуються незначним вмістом макро- і мікронутрієнтів, тому є необхідність вносити зміни до традиційних рецептур, проводити взаємозаміну інгредієнтів з метою покращення харчової цінності напівфабрикатів. Значно урізноманітнити хімічний склад, харчову та біологічну цінність цих страв можливо завдяки використанню локальної рослинної сировини. Нетрадиційна рослинна сировина в технологіях борошняних страв є безпечною і здатна підвищити харчову та біологічну цінність виробів завдяки багатому хімічному складу.

Протягом останніх кількох років, коли постало питання про покращення нутрієнтного складу продукції харчування, почали розглядати всі можливі варіанти рослинної сировини. Не є винятком і морква – локальний овоч, який раніше не вважали провідним. Проте за своїм хімічним складом морква перебуває на одному з найвищих місць серед усіх культур в Україні. Багатий вітамінний склад та практично ідеальний набір мікро- і макроелементів робить її найбільш корисним овочем, товарознавчі властивості якого дозволяють вживати його протягом усього року. Продукти її переробки є незамінними у харчуванні молодого покоління, використовуються як лікувальні засоби завдяки своїй харчовій цінності та легкозасвоюваності. Морква низькокалорійний харчовий продукт, який містить 32,0 ккал на 100 г, білків – 1,3 г, жирів – 0,1 г, вуглеводів – 6,9 г, харчових волокон – 2,4 г, органічних кислот – 0,3 г, золи – 1,0 г, вітаміни групи В, А, С, Е, РР, мікро-

та макроелементи: Fe, K, Ca, Mg, Na, S, P, I, F, Zn. У поєднанні з рослинною олією підвищується засвоєння вітаміну А та виведення радіонуклідів, харчові волокна спільно з Калієм і Натрієм утворюють сечогінні та жовчогінні сполуки [4; 5].

Волоський горіх – локальний продукт, який вирощують різноманітних сортів, що різняться зовнішнім виглядом, хімічним складом та властивостями. Хімічний склад ядер волоських горіхів містить (%): білки – 18,5 – відрізняються високим рівнем засвоюваності та збалансованості амінокислотного складу; жири – 63,2 (характеризуються вмістом  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3 есенційних жирних кислот); вуглеводи – 11,1; клітковину – 7,6; макро- та мікроелементи (Калій, Кальцій, Залізо, Магній, Фосфор, Цинк, Селен, Йод); вітаміни групи В, Е, К, РР, А. Олія ядер волоського горіха переважно складається із тригліцеридів, вільних жирних кислот та різноманітних нежирових речовин, її вміст становить 67,3 %. Незамінна поліненасичена жирна кислота  $\omega$ -3 при взаємодії з фолієвою кислотою створює умови для вироблення організмом унікального коферменту Q10 [6-8].

Саме така комбінація інгредієнтів дозволить отримати млинці з покращеною харчовою цінністю порівняно з традиційною технологією.

Перспективним напрямом досліджень є вивчення органолептичних властивостей модельно-харчових композицій на основі морквяного соку й подрібнених ядер волоського горіха та розробка технології виробництва млинців смажених (напівфабрикат) на основі морквяного соку й начинки яблучно-горіхової (напівфабрикат) та борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою».

Розробка технології напівфабрикатів та борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою» буде базуватися на визначенні оптимальної кількості добавок до рецептурного складу та дослідження їх впливу на органолептичні показники, харчову цінність та якість готової страви.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вдосконалення та покращення харчової цінності борошняних страв внесли: Н. Кравчук, І. Антонюк, М. Кравченко, В. Гніцевич, Н. Дзюба, М. Кашкано, М. Калугіна, Н. Петришин, О. Ільницька, у роботах яких викладено проблему щодо вдосконалення харчової цінності борошняних страв за рахунок використання харчових добавок і сухих сумішей [9].

Українськими науковцями [10] досліджено можливість використання порошку з капусти в технології млинцевого тіста та його структурно-механічні властивості.

Іжевська І. П. проводила дослідження щодо впливу шроту насіння кунжуту на органолептичні показники млинця смаженого (напівфабрикат) та розробила технологію млинців оздоровчої дії для закладів ресторанного господарства в умовах сучасності [11].

Проблему отримання натуральних поліфункціональних продуктів із вітчизняної сировини – моркви – досліджували науковці Національного університету харчових технологій. Авторами [12] запропонована технологія комплексної переробки моркви, згідно з якою одержували біологічно активні добавки заданого хімічного складу: збагачувач «Каротинка» (тверда фаза) характеризується високим вмістом  $\beta$ -каротину (130-140 мг/100г) та клітковини (70 г/100 г); наповнювач «Морквяний мед» (рідка фаза) одержували стабілізацією та концентруванням до вмісту сухих речовин 70 % в умовах вакууму та знижених температурних режимів – відрізняється високим вмістом цукрів (62-65 г/100 г), пектинових речовин (3-4 г/100 г),  $\beta$  – каротину (до 10-11 мг/100 г) і стабільністю цих показників протягом 6 місяців зберігання. Обґрунтовано можливість широкого використання багатофункціональних добавок у виробництві желейних продуктів.

Авторами [13] розроблено патент на виробництво млинців з використанням морквяного пюре із вареної моркви, у технології якого не обґрунтовано оптимальну кількість внесеного пюре та зміни якісних характеристик млинцевого напівфабрикату залежно від внесеної сировини.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на велику кількість досліджень та викладених робіт щодо удосконалення технології борошняних страв, проблема застосування морквяного соку та ядер волоських горіхів у технології млинців у літературних джерелах відсутня.

Важливим є дослідження впливу морквяного соку на органолептичні показники модельно-харчових композицій млинцевого напівфабрикату та додавання подрібнених ядер волоських горіхів на якість начинки для млинців. Тому доцільним є дослідження оптимальної кількості добавок до млинцевого тіста та начинки для забезпечення їхньої якості, а також визначення харчової цінності борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою».

**Метою статті** є розроблення технології напівфабрикату млинці смажені з використанням морквяного соку та начинки яблучно-горіхової для млинців, і визначення показників якості отриманої борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою».

**Постановка завдання.** Дослідити оптимальну кількість заміни молока на морквяний сік для млинцевого тіста та крупи манної на подрібнені ядра волоських горіхів для начинки. Розробити рецептуру і технологію виробництва та дослідити якість борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою», розширити асортимент млинців підвищеної харчової цінності за рахунок використання локальної рослинної сировини. Поставлена задача вирішується тим, що в дослідних млинцях смажених (напівфабрикат), які містять: борошно пшеничне вищого сорту, яйця, молоко, сіль, цукор, олію рослинну, на етапі тістоутворення частково замінюють молоко на морквяний сік та на етапі приготування начинки, яка містить: яблука свіжі, цукор, крупу манну замінюють на подрібнені ядра волоських горіхів та зменшують кількість цукру.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення досліджень використовували моркву сорту «Нантська» зібрану восени на території Чернівецької області. Ядра волоського горіху сорту «Чернівецький». За контроль обрано рецептуру 1.456 млинці смажені (напівфабрикат) та 1.491 начинка з яблук [14].

У розробленій технології передбачено використання на етапі тістоутворення морквяного соку, що дасть змогу поліпшити хімічний склад млинцевого напівфабрикату завдяки присутності в ньому вітамінів, мінеральних речовин, а високий вміст вітаміну А дасть змогу використовувати страву в раціонах людей під час гіпо- і авітамінози А. Використання волоського горіха в начинці для млинців додатково збагатить страву комплексом біологічно активних речовин.

На першому етапі досліджень визначено оптимальну кількість морквяного соку для млинцевого тіста та подрібнених ядер волоського горіха для начинки, які дозволили отримати модельно-харчові композиції напівфабрикатів для борошняної страви.

Оптимальну кількість морквяного соку для млинцевого напівфабрикату визначали з урахуванням органолептичної оцінки смаженої млинцевої оболонки та зміни її структури залежно від кількості заміненого молока.

Під час приготування модельних тістових композицій частково замінювали молоко на морквяний сік у кількості: 10, 20, 30, 40 та 50 %. Заміна молока менше ніж 10 % є нецільною з погляду підвищення харчової та біологічної цінності, а більше ніж 50 % – призводить до суттєвого погіршення якості і структури млинцевого напівфабрикату. У рецептурі начинки крупу манну замінювали на подрібнені ядра волоських горіхів (дисперсності 50-100 мкм) в кількості 50, 100, 150 та 200 % до маси крупи та зменшення кількості цукру відповідно до розрахунку.

Для органолептичної оцінки показників якості дослідних модельно-харчових композицій розроблено 5-балу шкалу. Загальну органолептичну оцінку визначали, як сума окремих органолептичних показників: зовнішній вигляд, смак, запах, колір, консистенція, кожен з яких відповідав коефіцієнту вагомості.

За контроль обрано млинцевий напівфабрикат та начинку виготовлені за традиційними технологіями. Результати органолептичної оцінки модельно-харчових композицій для борошняної страви із частковою заміною молока на морквяний сік у концентраціях від 10 до 50 % наведені в табл. 1, начинки із заміною крупи манної на подрібнені ядра волоських горіхів у кількості до маси крупи від 50 до 200 % наведені в табл. 2.

Таблиця 1. Органолептична оцінка модельно-харчових композицій млинців смажених

Показник	Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4	Дослід 5
Колір	Натуральність	0,2	5,0	4,95	4,9	5,0	3,8	3,75
	Насиченість	0,2	5,0	4,9	4,85	4,9	4,5	4,4
	Рівномірність	0,3	5,0	4,8	4,8	4,9	4,2	4,1
	Відповідність використаній сировині	0,3	5,0	4,9	4,9	5,0	3,8	3,65
Середня оцінка			5,0	4,89	4,86	4,95	4,08	3,98
Запах	Вираженість	0,3	5,0	5,0	4,9	5,0	4,6	4,5
	Інтенсивність	0,2	5,0	4,9	4,9	4,95	4,3	4,2
	Чистота	0,2	5,0	4,95	4,9	5,0	4,2	4,0
	Відповідність використаній сировині	0,3	5,0	4,9	4,8	4,94	4,53	4,33
Середня оцінка			5,0	4,94	4,89	4,98	4,43	4,3
Консистенція	Однорідність	0,3	5,0	5,0	4,9	5,0	4,7	4,7
	Пружність	0,3	5,0	4,8	4,7	4,85	4,5	4,1
	Щільність	0,2	5,0	4,9	4,8	4,9	4,3	4,0
	Відповідність використаній сировині	0,2	5,0	4,9	4,8	5,0	4,6	4,5
Середня оцінка			5,0	4,9	4,8	4,94	4,53	4,33
Смак	Збалансованість	0,3	5,0	5,0	4,7	5,0	4,3	4,0
	Насиченість	0,2	5,0	4,9	4,8	4,95	4,7	4,6
	Чистота	0,2	5,0	4,95	4,9	5,0	4,2	4,1
	Відповідність використаній сировині	0,3	5,0	4,9	4,85	4,95	4,6	4,4
Середня оцінка			5,0	4,94	4,81	4,98	4,45	4,28
Комплексна сенсорна оцінка			5,0	4,92	4,84	4,96	4,37	4,22

*Примітка.* Контроль – млинець смажений (напівфабрикат); дослід 1 – 10 % заміна молока на морквяний сік; дослід 2 – 20 % заміна молока на морквяний сік; дослід 3 – 30 % заміна молока на морквяний сік; дослід 4 – 40 % заміна молока на морквяний сік; дослід 5 – 50 % заміна молока на морквяний сік.

Аналізуючи органолептичну оцінку дослідних зразків модельно-харчових композицій для борошняної страви, можна зробити висновок, що при додаванні морквяного соку до рецептури млинців смажених (напівфабрикат) замість молока в кількості 10-50 %, виріб набуває приємного жовтуватого кольору з ніжним присмаком моркви, під час збільшення концентрації морквяного соку понад 30 % спостерігається зниження показників органолептичної оцінки, смакові показники та структура напівфабрикату погіршуються.

Кількість волоських горіхів для начинки визначено доцільною 150 %, що дозволяє отримати начинку, яка за смаковими показниками значно перевищує контрольний зразок. Внесення подрібнених ядер волоських горіхів більше ніж 150 % від маси крупи манної та з частковим зменшенням вмісту цукру призводить до погіршення якості начинки та є економічно не вигідним, адже підвищується собівартість страви загалом.

Таблиця 2. Органолептична оцінка модельно-харчових композицій яблучно-горіхової начинки

Показник	Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Колір	Натуральність	0,2	5,0	4,6	4,9	5,0	5,0
	Інтенсивність	0,2	5,0	4,5	4,85	4,9	4,3
	Рівномірність	0,3	5,0	5,0	4,95	4,8	4,2
	Відповідність використаній сировині	0,3	5,0	4,89	4,9	4,95	4,96
Середня оцінка			5,0	4,75	4,9	4,91	4,62
Запах	Вираженість	0,3	5,0	5,0	4,9	5,0	4,6
	Насиченість	0,2	5,0	4,9	4,9	4,95	4,3
	Чистота	0,2	5,0	4,95	4,9	5,0	4,2
	Відповідність використаній сировині	0,3	5,0	4,9	4,85	4,95	4,96
Середня оцінка			5,0	4,89	4,93	4,97	4,52
Консистенція	Однорідність	0,3	5,0	5,0	4,75	5,0	4,0
	В'язкість	0,3	5,0	4,8	4,7	4,85	4,3
	Крихкість	0,2	5,0	4,78	4,82	4,9	4,7
	Відповідність використаній сировині	0,2	5,0	4,9	4,8	5,0	4,9
Середня оцінка			5,0	4,87	4,81	4,94	4,48
Смак	Збалансованість	0,3	5,0	5,0	4,5	5,0	3,8
	Насиченість	0,2	5,0	4,9	4,7	4,95	4,65
	Чистота	0,2	5,0	4,95	4,85	5,0	4,2
	Відповідність використаній сировині	0,3	5,0	4,9	4,85	4,95	4,68
Середня оцінка			5,0	4,94	4,73	4,98	4,33
Комплексна сенсорна оцінка			5,0	4,86	4,84	4,95	4,49

*Примітка:* Контроль – начинка яблучна; дослід 1 – 50 % заміна крупи манної на подрібнені ядра волоських горіхів; дослід 2 – 100 % заміна крупи манної на подрібнені ядра волоських горіхів; дослід 3 – 150 % заміна крупи манної на подрібнені ядра волоських горіхів та зменшення цукру; дослід 4 – 200 % заміна крупи манної на подрібнені ядра волоських горіхів та зменшення цукру.

На основі отриманих результатів органолептичної оцінки модельно-харчових композицій визначено оптимальну кількість добавок: для млинцевого напівфабрикату – морквяний сік – 30 % заміна молока; для начинки – подрібнені ядра волоських горіхів – 150 % від маси крупи манної та з частковим зниженням кількості цукру відповідно до норми закладки сировини, що забезпечує технологічно необхідну якість без застосування додаткових поліпшувачів для млинцевого напівфабрикату та начинки. Розроблено рецептуру борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою» (табл. 3).

Таблиця 3. Рецептура борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою»

№ з/п	Найменування продукту	Контроль	Дослід
1	2	3	4
1	Борошно пшеничне вищого сорту	41,6	41,6
2	Морквяний сік свіжовичавлений	-	41,6
3	Молоко коров'яче	104,0	62,4
4	Яйця курячі	8,3	8,3
5	Цукор	2,5	2,5
6	Сіль	0,8	0,8
7	Олія соняшникова	1,6	1,6



Закінчення табл. 3

1	2	3	4
Вихід млинця смаженого (напівфабрикат)		100	100
8	Яблука свіжі очищені	47,9	47,9
9	Цукор	8,75	5,25
10	Крупа манна	3,5	-
11	Ядра волоських горіхів (подрібнені)	-	7,0
Вихід начинки		50	50
Маса напівфабрикату з начинкою		150	150
Вершкове масло		6	6
Маса смажених млинців з начинкою		135	135
Цукрова пудра		5	5
Вихід з цукровою пудрою		140	140

На рис. 1. наведено технологічну схему розробленої борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою».

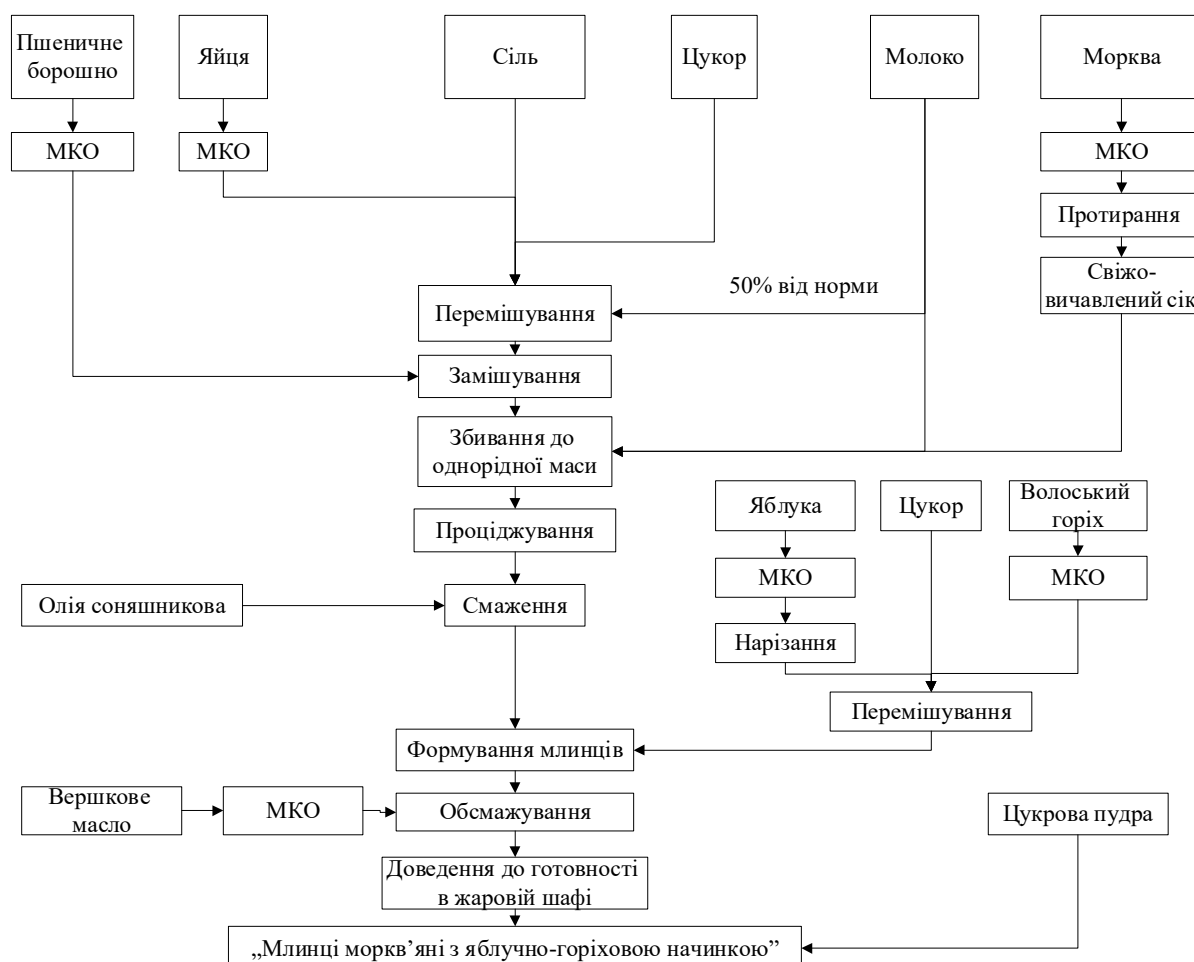


Рис.1. Технологічна схема виробництва борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою»

У табл. 4 наведено порівняльну характеристику хімічного складу контрольного та дослідного зразків борошняної страви – «Млинці з яблучною начинкою» та «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою» [15].

Таблиця 4. Хімічний склад контрольного та дослідного зразків борошняних страв

Показники	Контрольний зразок	Дослідний зразок	Різниця, +/-	Відхилення, %
Білки, г	6,5	7,77	+1,27	19,53
Жири, г	4,8	9,95	+5,15	107,29
Вуглеводи, г	32,0	29,7	-2,3	7,18
Харчові волокна, г	1,7	2,14	+0,44	25,88
Мінеральні речовини				
Калій, мг	199,2	216,3	+17,1	8,58
Кальцій, мг	101,1	93,4	-7,7	7,62
Магній, мг	16,9	25,75	+8,85	52,37
Натрій, мг	61,4	53,28	-8,12	13,22
Фосфор, мг	103,6	123,84	+20,24	19,54
Залізо, мг	0,755	0,855	+0,1	13,25
Марганець, мг	0,164	0,256	+0,092	56,10
Цинк, мг	0,58	0,741	+0,161	27,76
Вітаміни				
А, мкг	40,5	80,18	+39,68	97,98
РР, мг	1,522	1,866	+0,344	22,60
С, мг	0,95	1,18	+0,23	24,21
Е, мг	0,9	0,918	+0,018	2,00
В <sub>1</sub> , мг	0,073	0,097	+0,024	32,88
В <sub>2</sub> , мг	0,209	0,218	+0,009	4,31
В <sub>4</sub> , мг	49,2	49,52	+0,32	0,65
В <sub>5</sub> , мг	0,427	0,437	+0,01	2,34
В <sub>6</sub> , мг	0,33	0,385	+0,055	16,67
В <sub>9</sub> , мкг	11,3	15,66	+4,36	38,58

Використання морквяного соку та ядер волоських горіхів у технології дослідної борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою» дозволяє значно покращити харчову цінність порівняно контрольного зразка, за рахунок збільшення вмісту білку, жирів, харчових волокон, мінеральних речовин.

На основі показників, які найбільше змінилися за рахунок додавання морквяного соку та ядер волоських горіхів у технології борошняної страви – «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою» розраховано комплексний показник якості (табл. 5) і побудовано моделі якості контрольного та дослідного зразка борошняних страв (рис. 2).

Таблиця 5. Комплексний показник якості контрольного та дослідного зразків борошняної страви

Показник	Вагомість показника	Контроль	Дослід
Органолептична оцінка якості	0,2	4,88	4,98
Білки, г	0,2	6,5	7,77
Жири, г	0,2	4,8	9,95
Мінеральні речовини, мг	0,15	483,69	514,42
Вітаміни, мг	0,15	53,65	54,7
Харчові волокна, г	0,1	1,7	2,14
<b>Разом</b>	<b>1,0</b>		

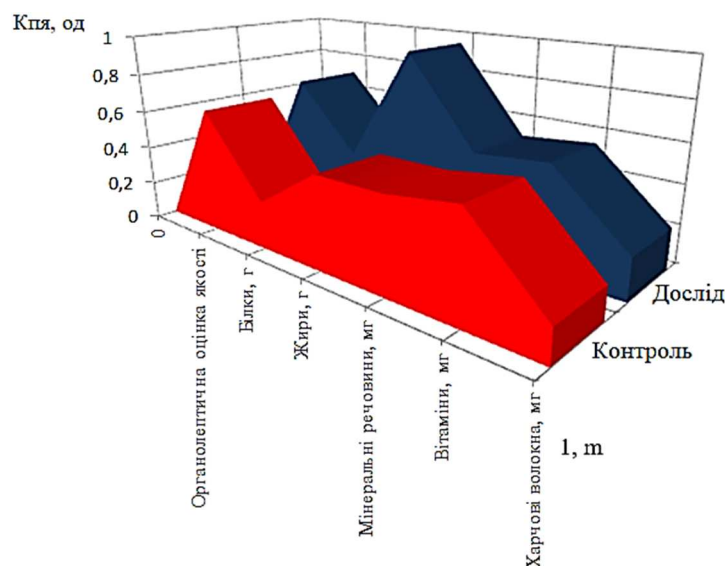


Рис. 2. Модель якості контрольного та дослідного зразків борошняної страви

Отже, за розробленою рецептурою і технологією млинців смажених (напівфабрикат) на основі морквяного соку і начинки яблучно-горіхової (напівфабрикат), поставлена мета досягнута – визначені оптимальні концентрації добавок на основі органолептичної оцінки модельно-харчових композицій, отримана борошняна страва «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою» має покращені показники якості та підвищену харчову цінність порівняно з традиційною стравою.

На основі вищенаведеного, робимо висновок, що використання морквяного соку та подрібнених ядер волоських горіхів у рецептурі борошняної страви «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою», дозволило значно покращити їх харчову цінність, що дасть змогу розширити асортимент борошняних страв підвищеної харчової цінності.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень, робимо висновок, що 30 % заміна молока на морквяний сік у рецептурі млинців смажених (напівфабрикат) та 150 % внесення подрібнених ядер волоських горіхів від маси крупи манної та часткове зниження вмісту цукру дозволило отримати борошняну страву «Млинці морквяні з яблучно-горіховою начинкою» із високими органолептичними показниками, підвищеної харчової цінності, зокрема збільшеним вмістом білку (на 19,53 %), жирів (на 107,29 %), харчових волокон (на 25,88 %), мінеральних речовин (Калію, Магнію, Натрію, Марганцю, Фосфору, Заліза), вітамінів (групи В, А, РР, С) та дало змогу розширити асортимент борошняних страв покращеної харчової цінності.

#### Список використаних джерел

1. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я населення. *Проблеми старення и долголетия*. 2016. Вип. 25 (№ 2). С. 204–214.
2. Основи харчування : підручник / М. І. Кручаниця та ін. Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2019. 252 с.
3. Захарчук В. Г., Кунділовська Т. А., Гайдукович Г. Є. Технологія продукції ресторанного господарства : навчальний посібник. Одеса : ОНЕУ, Атлант ВОІ СОІУ, 2016. 479 с.
4. Сирохман І. В., Завгородня В. М. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 544 с.
5. Бандуренко Г. М., Левківська Т. М., Бондаренко Д. Ю., Люлька С. Перспективи створення нових продуктів з використанням сучасних сортів моркви. *Науковий тиждень у Крутах : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (у рамках II наукового форуму)*. Ніжин, 2017. С. 30-38.
6. Бірта Г. О., Бургу Ю. Г., Горячова О. О., Ковальчук Х. І. Сортowa ідентифікація та аналіз безпечності волоського горіха. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки»*. 2019. № 1 (91). – С. 81–86.

7. Nosenko T., Koroluk T., Usatuk S., Vovk G., Kostinova T. Comparative study of the biological value and oxidative stability of walnut and pumpkin – seed oils. *Food science and technology*. 2019. Vol. 13, Issue 1. P. 60-65.
8. Тюрікова І. С. Технологія харчової продукції з використанням волоського горіха: теорія і практика : монографія. Полтава : ПУЕТ, 2015. 203 с.
9. Технологія харчових продуктів функціонального призначення : монографія / А. А. Мазаракі та ін. ; за ред. М. І. Пересічного. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. 1116 с.
10. Структурно-механічні характеристики млинцевого тіста з порошком з капусти / В. В. Євлаш та ін. *Хлебопекарське і кондитерське дело*. 2012. № 4 (43). С. 20-22.
11. Іжевська О. П., Косінова Я. Р., Козяр І. В. Млинці оздоровчої дії для закладів ресторанного господарства в умовах сучасності. *Технічні науки і технології*. 2020. № 2(20). С. 269–277.
12. Левківська Т. М., Бандуренко Г. М., Безусов А. Т. Комплексна ресурсозберігаюча переробка моркви з отриманням поліфункціональних харчових добавок. *Наукові праці ОНАХТ*. 2010. № 37. С. 211-214.
13. Струтинська Л. Т., Адамович О. С. (2020) *Спосіб виробництва млинців смажених морквяних з яблучно-горіховою начинкою* (Український патент № 143967) / Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України.
14. Шалимінов О. В. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів, правових, нормативно-правових та інших актів для закладів ресторанного господарства. Київ : Арії, 2013. 1008 с.
15. Химический состав пищевых продуктов. Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина, М. Н. Волгарева. Москва : ВО «Агропромиздат», 1987. Ч. 1. 223 с.

#### References

1. Simakhina, G. O., Naumenko, N. V. (2016). Kharchuvannia yak osnovnyi chynnyk zberezhennia stanu zdorovia naseleennia. [Nutrition as the main factor in maintaining the health of the population]. *Problemy starenia i dolgoletia – Problems of aging and longevity*, 25 (№ 2), pp. 204–214.
2. Kruchanytsia, M. I., Mironyik, I. C., Rozumikova, N. V., Kruchanytsia, V. V., Brich, V. V., Kish, V. P. (2019). *Osnovy kharchuvannia [Basics of nutrition]*. Uzhhorod National University «Hoverla».
3. Zakharchuk, V. G., Kundilovska, T. A., Gajdukovich, G. Ye. (2016). *Tekhnolohiia produktsii restorannoho hospodarstva [Technology of restaurant business products]*. ONEU, Atlant VOI SOIU.
4. Sirohman, I. V., Zavgorodnya, V. M. (2009). *Tovarovnavstvo kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia [Commodity of food products for functional purposes]*. Center for Educational Literature.
5. Bandurenko, G. M., Levkivska, T. M., Bondarenko, D. Yu., Lyulka, S. (2017). Perspektyvy stvorennia novykh produktiv z vykorystanniam suchasnykh sortiv morkvy [Prospects for creating new products using modern varieties of carrots]. *Naukovyi tyzhden u Krutakh: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (u ramkakh II naukovo forumu) – Scientific week in Kruty: materials of the International scientific-practical conference*] (pp. 30-38).
6. Birta, G. O., Burgu, Yu. G., Goryachova, O. O., Kovalchuk, Kh. I. (2019). Sortova identifikatsiia ta analiz bezpechnosti voloskogo horikha. [Varietal identification and safety analysis of walnut]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli. Seriia «Tekhnichni nauky» – Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade. «Technical Sciences» series*, 1(91), pp. 81–86.
7. Nosenko, T., Koroluk, T., Usatuk, S., Vovk, G., Kostinova, T. (2019). Comparative study of the biological value and oxidative stability of walnut and pumpkin – seed oils. *Food science and technology*. 13, pp. 60-65.
8. Tyurikova, I. S. (2015). *Tekhnolohiia kharchovoi produktsii z vykorystanniam voloskogo horikha: teoriia i praktyka [Technology of food products with the use of walnut: theory and practice]*. PUET.
9. Peresichnyi, M. I. (Ed.). (2012). *Tekhnolohiia kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia [Technology of food products for functional purposes]*. Kyiv. nat. trade and economy University.
10. Yevlash, V. V. (2012). Strukturno-mekhanichni kharakteristyky mlinctsevoho tista z poroshkom z kapusty [Structural and mechanical characteristics of pancake dough with cabbage powder] *Khlebopekarskoe i konditerskoe delo – Bakery and confectionery*, 4 (43), pp. 20-22.

11. Izhevskaya, O. P., Kosinova, Ya. R., Kozyar, I. V. (2020). Mlyntsi ozdorovchoi dii dlia zakladiv restorannoho hospodarstva v umovakh suchasnosti [Pancakes of health-improving action for establishments of restaurant economy in the conditions of the present]. *Tekhnichni nauky i tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 2 (20), pp. 269–277.

12. Levkivska, T. M., Bandurenko, G. M., Bezusov, A. T. (2010). Kompleksna resursozberihaiucha pererobka morkvy z otrymanniam polifunksionalnykh kharchovykh dobavok [Complex resource-saving processing of carrots to obtain multifunctional food additives]. *Naukovi pratsi ONAKhT – Scientific works of ONAHT*, 37, pp. 211–214.

13. Strutynska, L. T., Adamovych, O. S. (2020). *Sposib vyrobnytstva mlyntsyv smazhenykh morkvianykh z yabluchno-horikhovoiu nachynkoiu* [A method of producing fried carrot pancakes with apple and nut filling] (Ukrainian patent № 143967).

14. Shaliminov, O. V. (2013). *Zbirnyk retseptur natsionalnykh strav ta kulinarnykh vyrobiv, pravovykh, normatyvno-pravovykh ta inshykh aktiv dlia zakladiv restorannoho hospodarstva* [Collection of recipes of national dishes and culinary products, legal, regulatory and other acts for restaurants]. Arius.

15. Skurikhin, I. M., Volgareva, M. N. (1987). *Khimicheskii sostav pishhevykh produktov. Spravochnye tablitsy sodержaniia osnovnykh pishhevykh veshhestv i energeticheskoi tsennosti pishhevykh produktov* [Chemical composition of food products. Reference tables for the content of basic nutrients and energy value of food products]. VO «Agropromizdat».

UDC 664.682.9

*Inna Danyliuk, Lyubov Strutynska*

## TECHNOLOGY OF PANCAKES FROM FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS

*Urgency of the research lies in the development of technology for semi-finished pancakes fried using carrot juice and apple-nut filling with chopped walnut kernels. A ready-made flour dish based on such pancakes has an increased nutritional value.*

*Flour dishes occupy a significant place in human diet, the main disadvantage of which is the high content of carbohydrates and relatively low – of nutrient content.*

*Many domestic scientists have dealt with the problem of improving the technology of flour dishes, but the technology of pancakes fried with stuffing using local vegetable raw materials is insignificant.*

*There are no studies on the use of the optimal amount of carrot juice in the technology of fried pancakes and walnuts for apple filling in the production of flour dishes with predetermined properties.*

*Development of technology of pancakes fried with the use of carrot juice and apple-nut filling, and determination of quality indicators of the obtained flour dish "Carrot pancakes with apple-nut filling".*

*A study to determine the optimal amount of additives based on the assessment of the effect of different amounts of carrot juice and walnuts on the organoleptic properties of model food compositions, a recipe and technological scheme of flour dish "Carrot pancakes with apple-nut filling" were developed, nutritional value and quality of flour dishes were analyzed.*

*Replacement of milk with carrot juice (30 %) in the recipe of fried pancakes and the introduction of crushed walnut kernels (150 %) by weight of semolina allowed to obtain a flour dish "Carrot pancakes with apple and nut filling" of high nutritional value, including high protein content 19.53 %, fats (107.29 %), dietary fiber (25.88%), minerals (potassium, magnesium, sodium, manganese, phosphorus, iron), vitamins (groups B, A, PP, C).*

**Keywords:** carrot juice; walnut kernels; quality; nutritional value; filling; fried pancakes; organoleptic parameters.

Fig.: 2. Table: 5. References: 15.

**Данилюк Інна Петрівна** – кандидат технічних наук, Чернівецький торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету (Центральна площа, 7, м. Чернівці, 58002, Україна).

**Danyliuk Inna** – PhD in Technical Sciences, Chernivtsi Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (7 Central Square, 58002 Chernivtsi, Ukraine).

**E-mail:** cherep\_inna@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3407-8813>

**ResearcherID:** AAA-1473-201

**Струтинська Любов Тодорівна** – старший викладач, Чернівецький торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету (Центральна площа, 7, м. Чернівці, 58002, Україна).

**Strutynska Lyubov** – Senior Lecturer, Chernivtsi Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (7 Central Square, 58002 Chernivtsi, Ukraine).

**E-mail:** strutynska.l011182@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5811-9766>

УДК 502.36

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-162-174

Наталія Урум, Микола Литвин, Оксана Рященко, Оксана Бабере

**МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ РІДКИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН  
НА СУДНАХ ЗМІШАНОГО ПЛАВАННЯ**

У статті виділено основні напрями удосконалення методів очищення стічних вод: інтенсифікація окисних процесів; включення до технологічного процесу обробки кавітації як одного із сучасних методів очищення стічних вод. Розроблено рекомендації щодо удосконалення методів переробки рідких небезпечних речовин на суднах змішаного (ріка-море) плавання.

Завдяки високій інтенсивності вібрації та температурі в окремій точці кавітацією активно руйнуються органічні сполуки, колоїди, клітинні мембрани мікроорганізмів і навіть знищуються віруси. У зв'язку з цим кавітаційну обробку можна використовувати як на стадії первинного очищення рідких речовин, так і для їх доочищення та знезаражування.

**Ключові слова:** екологічність; кавітація; окислення; переробка; рідкі забруднювачі; стічні води.

Табл.: 5. Рис.: 8. Бібл.: 15.

**Актуальність теми дослідження.** Інтенсивний розвиток судноплавства у світі призвів до будівництва якісно нового флоту: з потужними енергетичними установками, високою вантажопідйомністю, пасажировмісністю та швидкістю. Кожне судно під час рейсу генерує забруднюючі речовини, значна частина яких відноситься до рідин, які підлягають нейтралізації та видаленню. Водні ресурси – найвразливіший у відношенні антропогенного впливу компонент навколишнього середовища. Річки Дніпро, Дністер, Південний Буг є досить забрудненими, а для деяких ділянок водного шляху по Дніпру вони набувають рівня екологічного лиха. Сьогодні на флоті застосовуються переважно два способи вирішення проблеми відходів суден внутрішнього та змішаного (ріка-море) плавання.

Перший спосіб – окреме накопичення всіх видів відходів для здачі на берег. Недоліком є необхідність наявності на борту ємностей, що вимагає додаткових приміщень та зменшує провізну спроможність, а також використання допоміжних суден для доставки відходів на берег до підприємств переробки, спеціальних причалів, іншої інфраструктури, що призводить до підвищення вартості послуг комплексного обслуговування флоту. Крім того, система комплексного обслуговування флоту розвинена слабо та представлена, в основному, у великих портах і транспортних вузлах.

Другий спосіб – переробка відходів на борті судна за допомогою спеціальних систем очищення стічних та нафтовмісних вод, а також інснераторів. До недоліків належать складність та висока вартість спеціальних систем та їх технічного обслуговування.

**Постановка проблеми.** Задача дослідження полягає у вирішенні зазначених недоліків існуючої системи комплексного обслуговування. Проблему необхідно вирішити для удосконалення методів переробки рідких небезпечних речовин на суднах змішаного плавання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанню утилізації речовин на суднах присвячено низку наукових робіт вітчизняних та закордонних вчених, до яких відносяться: Бойченко С.В. [1], Зеркалов Д.В., Ткачук К.Н., Саєнко Т.В. [2], Баранов А.Л., Васильєв А.Л. [3], Волков Л.С. [4], Макаров В.Г. [5], Найденко В.В. [6], Решняк В.І. [7], Мизгирев Д.С. [8], Баадер В. (V. Baader) [9], Бойлс Д. (D. Bouls) [10], Г. Лофрано (Guisi Lofrano) [11], Соуфер С. (S. Soufer), Райндольф Р. (R. Raindolf), Ямамото Акихиро [12] та інші. В цих працях увагу сфокусовано на тому, що для генерації кавітації застосовуються механічні, електромеханічні, гідродинамічні, віброакустичні та інші пристрої. Описано потребу подальших розробок щодо удосконалення судових систем очищення стічних вод у напрямку механічних та фізико-хімічних методів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що розробки та дослідження, які проводяться вченими, орієнтовані не на рішення загальної проблеми утилізації відходів, а на часткові технічні питання.

**Метою роботи** є розробка рекомендацій щодо удосконалення методів переробки рідких небезпечних речовин на суднах змішаного (ріка-море) плавання.

**Виклад основного матеріалу.** Масова експлуатація суден з потужними судновими енергетичними установками, значною вантажопідйомністю супроводжується зростанням негативного впливу на навколишнє середовище внаслідок утворення при їх експлуатації різноманітних відходів, які повинні підлягати нейтралізації та видаленню. Уже сьогодні в багатьох районах планети спостерігаються труднощі щодо забезпечення водопостачання та водокористування внаслідок якісного та кількісного виснаження водних ресурсів. Це пов'язано із забрудненням та нераціональним використанням води. Водні ресурси – найбільш уразливий по відношенню до антропогенного впливу компонент навколишнього середовища. До  $\frac{2}{3}$  поверхневих вод України вже не відповідає нормативним вимогам за екологічністю.

За останні роки збільшилося забруднення води Дніпра нітритним азотом, солями міді, формальдегідом, Сіверського Донця – нафтопродуктами, солями заліза, Дністра – фосфатами. Найбільш вразливі до антропогенного впливу малі річки (довжиною менш 100 км), на долю яких приходить  $\frac{1}{3}$  багаторічного сумарного поверхневого стоку України. У деяких водоймах забруднення настільки велике (5 клас), що відбулася їх повна деградація як джерел водопостачання і водокористування. Усі водойми пов'язані з навколишнім зовнішнім середовищем. На нього впливають умови формування поверхневого або підземного водного стоку, природні явища, індустрія, промислове та комунальне будівництво, транспорт, господарська й побутова діяльність людини. Наслідком цих впливів є внесення у водне середовище нових, невластивих їй речовин – забруднювачів, які погіршують якість води.

Забруднення навколишнього середовища з боку конкретного судна не є постійним та залежить від призначення, режимів роботи, технічного стану та терміну експлуатації цього транспортного засобу.

У процесі експлуатації судна при проведенні виробничих і загальносуднових робіт на борту постійно утворюється ряд твердих, рідких та газоподібних відходів, що підлягають нейтралізації та видаленню [1; 8].

Відповідно до прийнятої на даний час класифікації суднових відходів, закріпленої міжнародними нормативними документами [14; 15], можна виділити три їхні основні групи (рис. 1):

1. Рідкі відходи, до складу яких входять стічні води (СВ), нафтовмісні води (НВ), забруднені води, які вимагають спеціального очищення.

2. Тверді відходи (сміття).

3. Газоподібні відходи (відпрацьовані гази (ВГ) двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) та газотурбінних установок; димові гази (ДГ) котлоагрегатів та печей-інсинераторів).

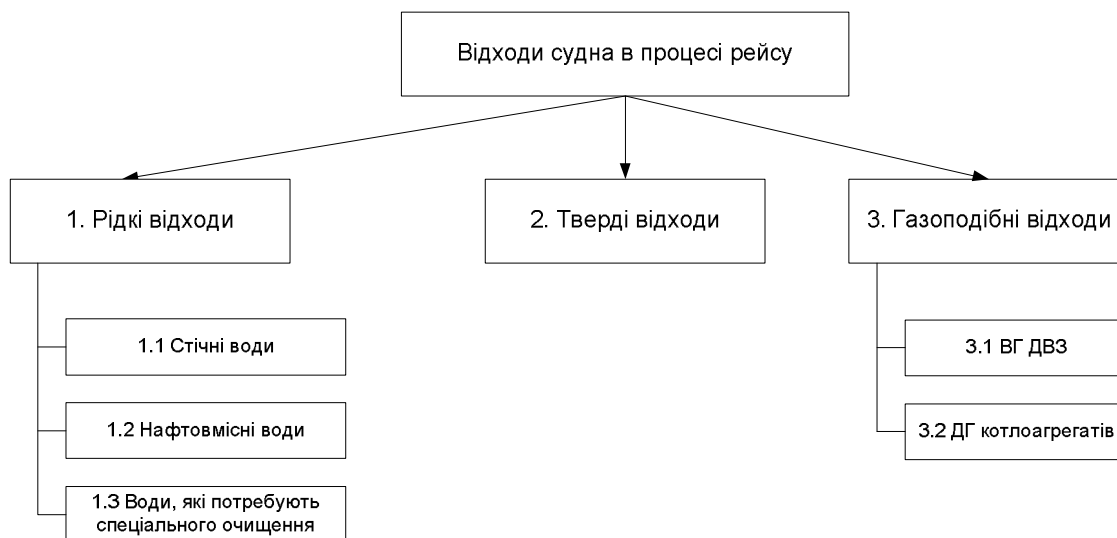


Рис. 1. Класифікація відходів судна в процесі рейсу

Види відходів безпосередньо пов'язані з особливостями експлуатації, призначенням судна та викликані вантажем, пасажирями або використанням технічного засобу.

Нині переважно застосовуються два способи рішення проблеми судових відходів (рис. 2).

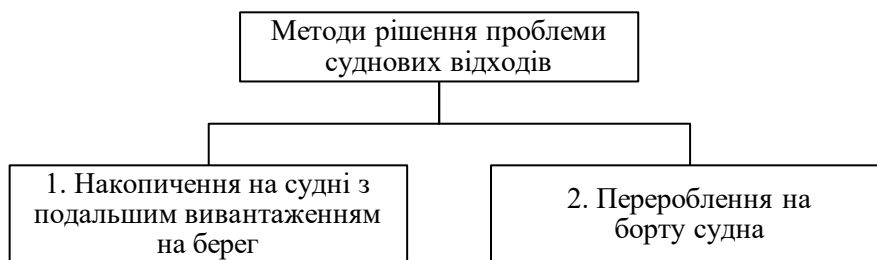


Рис. 2. Варіанти рішення проблеми судових відходів

1. Роздільне накопичення усіх видів відходів на судні з подальшим вивантаженням на берег.

Перевагами цього методу є висока ступінь очищення та реутилізації відходів при переробці на великих берегових підприємствах. На судні необхідний мінімум спеціального обладнання.

Недоліком є необхідність наявності на борту ємностей, що вимагає додаткових приміщень та зменшує провізну спроможність. Цей спосіб застосовується на малих суднах з короткими маршрутами та частими зупинками, але є неприйнятним для великих транспортних суден.

Як варіант цього способу можна виділити роздільне накопичення всіх видів відходів для подальшого вивантаження на спеціальні судна [2; 8].

2. Переробка відходів на борту судна за допомогою спеціальних систем для очищення СВ та НВ, а також інсинераторів.

Перевагами цього методу є: велика автономність плавання, скорочення простоїв, мінімальні накопичувальні ємності і, як наслідок, ефективність таких суден. До недоліків належать: складність та вартість подібних систем, а також їх професійного обслуговування, необхідність додаткових витрат енергії. Це рішення поширилося переважно на морських суднах та суднах типу “ріка”-“море”.

Усі спеціальні засоби, призначені для переробки судових відходів, можна поділити на такі види (рис. 3).



1. Суднові засоби: станції очищення і знезаражування СВ, станції очищення НВ, системи для збору, збереження та переробки судового сміття, системи комплексної переробки відходів.

2. Позасуднові засоби, до складу яких входять: судна-збирачі, спеціальні причали, станції очищення НВ, баржі-комори, судна комплексної переробки відходів.

Аналіз цього питання показує, що остаточний вибір того або іншого способу видалення забруднень із суден залежить від багатьох факторів: району плавання, кількості та пропускної здатності приймальних пунктів на березі, відстані між ними, типу судна та кількості людей на його борту, вимог до скидання СВ і сміття, наявності та кількості суден-збирачів, суден комплексної переробки відходів.

Проведемо аналіз рідких судових відходів та методів їх переробки.

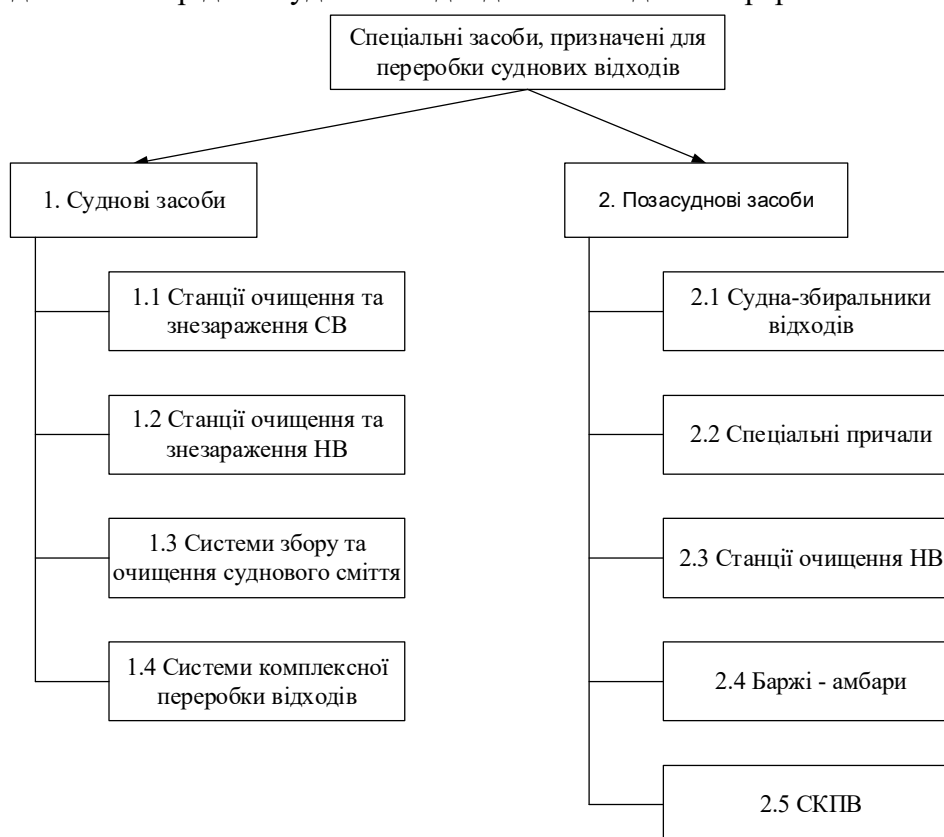


Рис. 3. Класифікація спеціальних засобів, призначених для переробки судових відходів

**Стічні води.** У процесі експлуатації при використанні води для харчових і господарських потреб на судні накопичуються СВ [5; 6]. У загальному випадку їх можна класифікувати за основними ознаками згідно зі схемою, наведеною на рис. 4 [8].

Стічними водами є:

- стоки та інші відходи з усіх видів туалетів, пісуарів, унітазів;
- стоки з раковин, ванн та шпигатів, що знаходяться в медичних приміщеннях (лазаретах, амбулаторіях тощо);
- стоки з приміщень, в яких утримуються тварини;
- інші стоки, якщо вони змішані з перерахованими вище стоками.

При скиданні господарсько-побутових стічних вод найбільшу шкоду навколишньому середовищу наносять стоки з пральні, оскільки до їх складу входять поверхнево активні речовини (ПАР), включаючи синтетичні (СПАР). Останні відносять до отруйних речовин як у міжнародних, так і у вітчизняних нормативних документах.



Рис. 4. Класифікація стічних вод [8]

Це викликано тим, що основний компонент СПАР – акилбензолсульфат гнітить розвиток живих клітин та личинок риб. Ці стоки становлять 15...22 % від загального об'єму господарсько-побутових стічних вод, а концентрація акилбензолсульфату в них перевищує небезпечну для живих організмів межу 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Склад камбузних стічних вод визначається раціоном харчування. Основними компонентами забруднюючих речовин є рослинні і тваринні жири. Їх кількість становить (1,8...6,0) г/(чол. діб) [8]. Скидання камбузного стоку є періодичним та збігається за часом з режимом прийому їжі.

Мильні стічні води є результатом виконання людиною гігієнічних процедур та надходять від умивальників, душових кімнат та бань. До складу забруднюючих речовин входять жири, частки епітелію та мило. Кількість забруднень від однієї людини є величиною практично постійною. Характер надходження такого забруднення є періодичним та відповідає змінному режиму роботи екіпажу.

Суднові господарсько-фекальні СВ являють собою висококонтровану водну композицію, яка відрізняється високим ступенем бактеріального забруднення та сталістю хімічного складу забруднень [1]. Скидання неочищених господарсько-фекальних СВ на внутрішніх водних шляхах заборонено.

У загальному випадку, характер надходжень господарсько-фекальних СВ та господарсько-побутових СВ можна вважати періодичним [11]. У зв'язку з тим, що переважна більшість річкових суден має єдину систему для даних типів стічних вод, доцільно розглядати загальні стоки, які складаються із суміші зазначених СВ.

Для гігієнічної оцінки вихідних та очищених СВ прийняті такі основні контрольні показники:

- концентрація зважених речовин, мг/дм<sup>3</sup>;
- біохімічне споживання кисню, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;
- (колі-індекс) кількість лактопозитивних кишкових паличок, шт/ дм<sup>3</sup>;
- залишковий активний хлор, мг/дм<sup>3</sup>.

До додаткових показників ступеня забруднення СВ відносять:

- хімічне споживання кисню,  $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$ ,
- рН – водневий показник;
- кількість мікробів, шт/ $\text{dm}^3$ ;
- прозорість, см;
- кольоровість, град.

Також визначають: нафтопродукти, ПАР (СПАР), азот, фосфор, загальні та термото-лерантні колиформні бактерії.

У загальному випадку суднові СВ містять органічні та мінеральні речовини, різні мікроорганізми та зважені домішки (див. рис. 4).

За агресивністю СВ характеризуються залежно від величини рН. Порівняльні значення основних інгредієнтів СВ, що приходяться на одну людину, отримані в результаті випробувань річкових суден та ДБН 2.04.03-85, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Маса забруднень СВ на одну людину за добу

Інгредієнти	Маса забруднень, г/(чол.діб.)	
	ДБН 2.03.03-85	Суднові випробування
Суспензії (ВВ)	65	72
Біологічне споживання кисню	35	45
Хімічне споживання кисню	не визначено	82
Азот амамонійних солей	8	7,5
Фосфати ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	3,3	не визначено
в т.ч. від миючих засобів	1,6	не визначено
Хлориди	9	не визначено
ПАР	1,9	3,5

Об'єм середньодобових накопичень СВ можна визначити, виходячи з таких показників: по вантажному флоту (0,20...0,25)  $\text{m}^3/(\text{люд. діб})$ , по пасажирському флоту (0,25...0,30)  $\text{m}^3/(\text{люд. діб})$ .

**Нафтовмісні води.** При експлуатації судових механізмів у машинних приміщеннях (МП) накопичуються НВ, що являють собою суміш води, палив, мастил та механічних домішок. НВ утворюються в результаті нещільності дейдвудного пристрою, трубопроводів, насосів та арматури, продувки балонів стиснутого повітря, при ремонтах, аварійних ситуаціях, конденсації парів води на забруднених поверхнях тощо [8].

Отже, НВ – це суміш води з будь-яким вмістом нафти. Основними забруднюючими речовинами, наявність яких не дозволяє робити скидання НВ без глибокого очищення, є нафтопродукти. Вміст нафти в НВ знаходиться в межах (200... 1 500)  $\text{mg}/\text{dm}^3$  [11]. Забруднення нафтопродуктами є дуже стійким. Вони утворюють на поверхні води плівку, у товщі знаходяться в емульгованому та розчиненому видах, важкі фракції забруднюють дно водойми. Флора й фауна, і насамперед риба з її кормовими об'єктами – планктоном і бентосом, випробують сильну токсикацію [1].

Суднові НВ є багатокомпонентними та багатофазними водними системами. Практично завжди одночасно з нафтопродуктами утримуються механічні частки, ПАР, органічні сполуки та важкі метали.

При розробці технології очищення НВ необхідно враховувати стан і ступінь агрегативної стійкості нафтопродуктів у них (рис. 5) [8].



Рис. 5. Характеристика стану нафтопродуктів у суднових нафтовмісних водах

Залежно від умов утворення, концентрації домішок та складу НВ у них переважають нафтопродукти в різних фазово-дисперсних видах. При високих концентраціях нафти та відсутності в НВ стабілізуючих речовин (ПАР), основна кількість нафтопродуктів знаходиться у вигляді великих крапель (від 0,01 мм) добре спливаючих з утворенням поверхневої плівки. При низьких концентраціях – практично всі вони знаходяться в тонкоемульгованому прошарку (40...50 нм), що ускладнює процес їх видалення [4].

Джерела та кількісні втрати нафти у НВ при експлуатації суден зазначені в табл. 2 [1; 2; 8]. На відміну від СВ, добові накопичення НВ важко прогнозувати. Підрахунок накопичень НВ виконується, виходячи з нормативів для різних груп суден (табл. 3) або за залежностями (1) для оцінки втрат нафти в НВ на ходовому та стояночному режимах, кг/доба.

$$G_{\text{м,ход}} \approx (55 \div 65) \times 10^{-3} N_e; \quad (1)$$

$$G_{\text{м,сп}} \approx (0,5 \div 0,7) \times G_{\text{м,ход}},$$

де  $N_e$  – потужність головного двигуна.

Таблиця 2. Джерела та кількісні втрати нафти в НВ суден

Джерела втрат	Кількісні втрати нафти, %
Прийом палива	30,5
Перекачування палива із судна на судно	27,0
Відкачка льяльних вод за борт	18,5
Вантажно-розвантажувальні операції танкерів	13,5
Несправності шлангів	3,0
Відмовлення механізмів і арматури	2,0
Переповнення паливних цистерн	2,0
Випадкові зіткнення, зв'язані з ушкодженням корпусу	1,0
Інші причини	2,5

Таблиця 3. Нормативи накопичення нафтовмісних вод на річкових суднах

Номер групи суден	Потужність головних двигунів, кВт	Розрахункове добове накопичення, м <sup>3</sup> /доба	
		На транспортних суднах	На рейдових, допоміжних, роз'їзних суднах, технічному флоті
1	74...220	0,05... 0,12	0,03...0,08
2	220...440	0,12...0,18	0,08...0,14
3	440...660	0,18...0,24	0,14...0,20
4	660...890	0,24...0,30	0,20...0,25
5	Більше 890	0,32	0,27

Порівнюючи значення в таблицях 2 та 3, можна зробити важливий висновок: на судах об'єм накопичень нафтовмісних вод складає (0,01...0,05) об'єму стічних вод, що можна використовувати при проектуванні об'єднаної системи очищення НВ та СВ.

**Баластові води.** Водний баласт – вода, прийнята на судно в спеціальні відсіки подвійного дна для покращення морехідних якостей судна (остійності, стійкості на курсі), заглиблення гребного гвинта, тощо. Відповідно до Конвенції МАРПОЛ 73/781, існують правила скидання рідкого баласту за борт та поділ баластових вод на основні види.

Основними забруднювачами баластових вод є нафтопродукти в різному фазово-дисперсному стані, механічні домішки, живі організми, які внесені у флору та фауну судноплавних басейнів і там акліматизувалися. На відміну від інших видів відходів, об'єм баластних вод легко спрогнозувати, виходячи з режиму експлуатації судна та параметрів його баластової системи.

Основні методи очищення СВ перераховані на рис. 6, а їх принципи дії і характеристики докладно розглянуті в літературних джерелах [1; 3; 8; 9]. З усього різноманіття найбільший інтерес представляють ті методи (виділені на рис. 6), що використовуються або можуть бути використані на судах і відповідають судовим вимогам.

Засоби очищення судових вод (ЗОСВ) класифікують за методом обробки СВ: механічний, біохімічний і фізико-хімічний.

Механічний метод заснований на відділенні зі СВ великих забруднювачів з подальшим їх здрібнюванням. Для цієї мети використовуються фільтруючі сітки або ґратки, які затримують забруднювачі, що потім періодично віддаляються (звичайно – вручну, що вимагає значних трудовитрат та є неприємною операцією). Також використовують фільтри барабанного типу з механізованим або гідродинамічним очищенням фільтруючої поверхні. Очищена вода перед зливом за борт знезаражується.

При цьому зі стоків видаляється до 80 % забруднюючих речовин. Механічні фільтри не в змозі забезпечити необхідний ступінь очищення СВ від розчинених органічних речовин та дрібних суспензій. Ступінь очищення в них не задовольняє вимогам нормативних документів, тому цей метод комбінують з іншими.

За механічним методом працюють ЗОСВ типу "HL-CONT" та "HAMANN" (Німеччина) (рис. 7). Останні встановлені на ряді суден змішаного плавання. Недоліком тут є відсутність фінішної фільтрації.



Рис. 6. Класифікація водоочисного обладнання

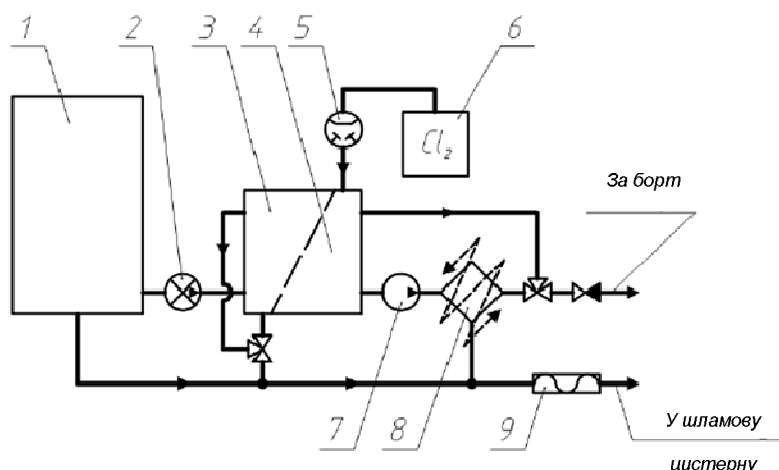


Рис. 7. Технологічна схема засобу очищення стічних вод зі станцією типу "HAMANN":  
 1 – цистерна СВ; 2 – насос-змільчувач; 3 – відстійна камера; 4 – реакційна камера;  
 5 – насос-дозатор; 6 – видаткова ємність незаражуючого реагенту;  
 7 – насос-змішувач; 8 – камера вихрова; 9 – насос шламівий

Біохімічний метод заснований на аеробних біохімічних процесах при життєдіяльності мікроорганізмів (активного мулу) у робочих відсіках засобів очищення стічних вод із примусовою аерацією – аеротенках (рис. 8).



Рис. 8. Основні методи очищення стічних вод

В активному мулі утримуються різні групи бактерій, цвілеві та дріжджові гриби, найпростіші, коловертки, хробаки, личинки, водні кліщі, тобто усі види мікроорганізмів, що звичайно присутні у СВ і харчуються речовинами, які в цих водах утримувалися. Швидкість процесу очищення досить низька: для перетворення органічних речовин СВ в органічні речовини мікроорганізмів, а потім самоокислення активного мулу, потрібно близько 50 годин. Далі очищені СВ незаражуються та видаляються за борт або на повторне використання.

Основні переваги та недоліки біологічного очищення стічних вод наведено в табл. 4.

Фізико-хімічний метод очищення СВ на судах використовується частіше. У суднових СВ до 60% органічних забруднювачів знаходяться в колоїдному стані, що не дозволяє видалити їх фільтрацією або відстоюванням.

Таблиця 4. Основні переваги та недоліки біологічного очищення стічних вод

Переваги	<ul style="list-style-type: none"> <li>- високий ступінь очищення стічних вод;</li> <li>- можливість повторного використання очищеної води;</li> <li>- простота установок, невисока вартість і простота обслуговування;</li> <li>- можливість повної автоматизації процесу очищення стічних вод;</li> <li>- малі витрати хімічних реагентів у процесі експлуатації засобів очищення стічних вод (тільки для незаражування очищених стоків)</li> </ul>
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> <li>- для виведення засобів очищення стічних вод на нормальний режим при вирощуванні активного мулу на судні потрібно від 10 до 25 доби, однак у портах можливо організувати зарядку установок активним мулом;</li> <li>- засоби очищення стічних вод чутливі до гідравлічних коливань навантаження, змін солемісту та температури СВ;</li> <li>- висока чутливість процесу до зміни складу, концентрації органічних речовин та солоності СВ;</li> <li>- вплив на процес очищення жирів, мастил, ПАР надходять зі стічними водами;</li> <li>- значний час обробки СВ (18...24 години);</li> <li>- високі масо-габаритні характеристики;</li> <li>- загибель мулу у випадку припинення подачі СВ на (20...30) годин;</li> <li>- припинення процесу при температурі менш 10 °С та більш 30 °С;</li> <li>- кожен типорозмір розрахований на визначену витрату СВ</li> </ul>

На базі цього методу розроблений ряд способів очищення. Переваги та недоліки подібних систем зведені до табл. 5.

Технологія очищення нафтовмісних вод визначається, насамперед, вимогами, які застосовуються до глибини очищення. За міжнародними вимогами до складу засобів очищення нафтовмісних вод входять: збірна цистерна; обладнання для перекачування та збору; стандартні з'єднання для здачі нафтовмісних вод у позасудові прийомні пристрої; станція очищення, що містить сепаратор та різні види фільтрів.

Важливим методом очищення нафтовмісних вод є їх знищення – спалювання в складі водо-паливної емульсії (ВПЕ). Дослідження довели можливість використання нафтовмісних вод як води для ВПЕ котлоагрегатів та інсенираторів.

Доцільне застосування такої ВПЕ для допоміжних котлоагрегатів на великих пасажирських судах, де час їхньої роботи становить до 50 % від часу експлуатації головних двигунів. Частку води у такій ВПЕ можна підняти до 38 %, що приведе до незначного зниження коефіцієнту корисної дії котлоагрегату, але весь об'єм нафтовмісних вод зможе бути утилізований. Біохімічні засоби очищення нафтовмісних вод забезпечують більш глибоке очищення, однак процес обробки в них є тривалим. Крім того, вони мають потребу в додатковому матеріалі – біологічному мулі, що збільшує експлуатаційні витрати.

Таблиця 5. Переваги та недоліки засобів очищення стічних вод зі станціями фізико-хімічного очищення

Переваги	<ul style="list-style-type: none"> <li>- мала чутливість до коливань гідравлічних характеристик потоку води;</li> <li>- можливість повної автоматизації процесів;</li> <li>- швидкий вихід на номінальний режим роботи установки після введення її в дію;</li> <li>- можливість обробки всіх видів СВ.</li> </ul>
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> <li>- високі будівельні та експлуатаційні витрати;</li> <li>- частка шламу, який утворюється - до 2...5% від об'єму оброблених СВ;</li> <li>- необхідність частого виведення з дії для очищення пристроїв;</li> <li>- складність системи управління та контролю за роботою;</li> <li>- необхідність посиленої вентиляції;</li> <li>- токсичність хімічних реагентів;</li> <li>- потреба в хімічних реагентах та спеціальних електродах, що викликає додаткові експлуатаційні витрати;</li> <li>- інтенсивна корозія металу обладнання через роботу в агресивних середовищах;</li> <li>- необхідність постійної участі обслуговуючого персоналу для контролю за роботою засобів очищення стічних вод.</li> </ul>

**Висновки.** Отже, можна виділити основні напрями удосконалення методів очищення стічних вод:

- інтенсифікація окисних процесів;
- включення до технологічного процесу обробки кавітації як одного із сучасних методів очищення стічних вод.

Завдяки високій інтенсивності вібрації та температурі в окремій точці кавітацією активно руйнуються органічні сполуки, колоїди, клітинні мембрани мікроорганізмів і навіть знищуються віруси. У зв'язку з цим кавітаційну обробку можна використовувати як на стадії первинного очищення рідких речовин, так і для їх доочищення та знезаражування.

Таким чином, подальші розробки щодо удосконалення суднових систем очищення стічних вод доцільно вести в напрямку механічних та фізико-хімічних методів. Правильні послідовності технологічних прийомів обробки суднових відходів дозволять виключити недоліки окремих методів перевагами інших (синергетичний ефект), скоротити час обробки небезпечних рідин, знизити енерговитрати та кількість реагентів.

#### Список використаних джерел

1. Бойченко С. В., Саєнко Т. В. Екологічна освіта – основа сталого розвитку суспільства. Київ : Видавництво університету «Україна», 2013. 502 с.
2. Зеркалов Д. В., Ткачук К. Н., Ткачук К. К. Інженерна екологія: проблеми, моніторинг, управління : монографія. Київ : Основа, 2011. 209 с.
3. Васильев А. Л., Васильев Л. А., Бокова И. В. Биологическая предочистка в технологиях водоподготовки для питьевых целей : монография. Н. Новгород : Изд-во ННГАСУ, 2011. 118 с.
4. Опыт и перспективы применения УФ-обеззараживания. Часть I / С. В. Волков, С. В. Костюченко и др. *Экология и промышленность России*. 2000. Сентябрь. С. 30-34.
5. Макаров В. Г., Никитин В. С., Симоненко А. С. Общесудовые и специальные системы и устройства / под общ. ред. В. Г. Макарова. *Машиностроение : Энциклопедия в 40 томах*. Т. IV (20). Корабли и суда. Книга 1. Санкт-Петербург : Политехника, 2003. С. 526-607.
6. Найдено В. В., Губанов Л. Н., Чернышева В. Н. Технология очистки промышленных сточных вод: метод. указания к выполнению курсового и дипломного проектов по разделу «Очистка промышленных сточных вод». Напорные гидроциклоны. Горький : Изд-во ГИСИ им. В. П. Чакова, 1981. 64 с.
7. Решняк В. И. Автономные плавучие и береговые сооружения для очистки нефтесодержащих и подсланевых вод. *Сб. трудов СПбГУВК*. Санкт-Петербург : ФБОУ ВПО «СПбГУВК», 1996. С. 37-48.



8. Мизгирев Д. С. Проектирование специальных систем судов комплексной переработки отходов : автореф. ... дис. канд. техн. наук / Волжская государственная академия водного транспорта. Н. Новгород, 2009. 24 с.
9. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз, теория и практика / пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного. Москва : Колос, 1982. 148 с.
10. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки / пер. с англ. М. Ф. Пушкарёва ; под ред. Е.А. Бирюковой. Москва : Агропромиздат, 1987. 152 с.
11. Guisi Lofrano. Green Technologies for Wastewater Treatment. Energy Recovery and Emerging Compounds Removal. Springer Netherlands, 2012. 92 p.
12. Ямамото Акихиро. Экологические мероприятия и переработка отходов на транспорте. *Yuso tenbo = Quart. J. Distrib. and Transp.* 2005. № 244. С. 21–28.
13. Сагайдак А. И. Проблема водяного балласта и пути ее решения. *Вестник ОДМА.* 2008. № 2. С. 81-94.
14. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. Москва : Моркнига, 2005. 120 с.
15. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. (МАРПОЛ) и Протокол 1978 г. [Введ. 02.10.1973]. Москва : ЦРИА «Морфлот», 1980. 364 с.

### References

1. Boichenko, S. V. (2013). *Ekolohichna osvita – osnova staloho rozvytku suspilstva [Environmental education is the basis of sustainable development of society]*. Ukraine University Press.
2. Zerkalov, D. V., Tkachuk, K. N., Tkachuk, K. K. (2011). *Inzhenerna ekolohiia: problemy, monitoringh, upravlinnia Autonomous floating and onshore facilities for the treatment of oily and undershaft waters [Engineering ecology: problems, monitoring, management]*. Osnova.
3. Vasylev, A. L. (2011). *Biologicheskaiia predochistka v tekhnologiiakh vodopodgotovki dlia pitevykh tcelea [Biological pretreatment in water treatment technologies for drinking purposes]*. Izd-vo NNGASU.
4. Volkov, S. V. (2000). *Opyt i perspektivy primeneniia UF-obezzarazhivaniia. Chast I [Experience and prospects for the use of UV disinfection. Part I]*. Sentiabr. pp. 30-34.
5. Makarov, V. H., Nykytyn, B. C., Symonenko, A. S. (2003). *Obshchesudovye i spetsialnye sistemy i ustroistva [General ship and special systems and devices]* (pp. 526-607). Polytekhnika.
6. Naidenko, V. V., Gubanov, L. N., Chernysheva, V. N. (1981). *Tekhnologiia ochistki promyshlennykh stochnykh vod [Industrial wastewater treatment technology]*. Izd-vo GISI im. V. P. Chkalova.
7. Reshniak, V. I. (1996). *Avtonomnye plavuchie i beregovye sooruzheniia dlia ochistki neftesoderzhashchikh i podslanovykh vod [Autonomous floating and onshore facilities for the treatment of oily and undershaft waters]* (pp. 37-48).
8. Mizgirev, D. S. (2009). *Proektirovanie spetsialnykh sistem sudov kompleksnoi pererabotki otkhodov [Design of special systems for vessels for complex waste processing]*.
9. Baader, V., Done, E., Brennderfer, M. (1982). *Biogaz, teoriia i praktika [Biogas, theory and practice]*. Kolos.
10. Boils, D. (1987). *Bioenergiia: tekhnologiia, termodinamika, izderzhki [Bioenergy: technology, thermodynamics, costs]*. Agropromizdat.
11. Guisi Lofrano. (2012). *Green Technologies for Wastewater Treatment. Energy Recovery and Emerging Compounds Removal*. Springer Netherlands.
12. Yamamoto Akikhiro. (2005). *Ekologicheskiiye meropriiatiiia i pererabotka otkhodov na transporte [Environmental measures and waste recycling in transport]*, (244), pp. 21-28.
13. Sagaidak, A.I. (2008). Problema vodianogo ballasta i puti ee resheniia [Ballast water problem and solutions]. *Vestnik ODMA* (pp. 81-94).
14. Diplomaticheskaia konferentsiia (2005). *Mezhdunarodnaia Konventsiia o kontrole sudovykh ballastnykh vod i osadkov i upravlenii imi [International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments]*. Morknyha.
15. *Mezhdunarodnaia konventsiia po predotvrashcheniiu zagriazneniia s sudov 1973 g. (MARPOL) i Protokol 1978 g. [International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 (MARPOL) and Protocol 1978]*. TsRIA «Morflot».

UDC 502.36

Nataliia Urum, Mykola Lytvyn, Oksana Riashchenko, Oksana Babere

**METHODS OF PROCESSING LIQUID DANGEROUS SUBSTANCES ON MIXED SWIMMING VESSELS**

After being used on a ship, polluted water and air enter the environment, deteriorating its ecological condition. Therefore, it is necessary to provide such characteristics of the vessel that will bring it closer to an environmentally safe object, which impact on nature meets the established norms and requirements. Today, the navy uses mainly two ways to solve the problem of waste ships of inland and mixed (river-sea) navigation. On the one hand, this is the economic use of water resources, and on the other - the development (improvement) of engineering methods for processing liquid hazardous substances (neutralization, purification, etc.). The task of the study is to address these shortcomings of the existing system of integrated services. The problem needs to be solved to improve the methods of processing liquid hazardous substances on vessels of mixed navigation. The analysis of recent research and publications has shown that the developments and research conducted by scientists are focused on partial technical issues, but not on solving the general problem of waste disposal. The aim of the work is to develop recommendations for improving the methods of processing liquid hazardous substances on ships of mixed (river-sea) navigation. The main directions of improvement of methods of sewage treatment are allocated in article: - intensification of oxidative processes; - inclusion in the technological process of cavitation treatment as one of the modern methods of wastewater treatment. Due to the high intensity of vibration and temperature at a single point, cavitation actively destroys organic compounds, colloids, cell membranes of microorganisms and even viruses. In this regard, cavitation treatment can be used at the stage of primary purification of liquid substances, and for their purification and disinfection. Thus, further developments to improve ship wastewater treatment systems should be conducted in the direction of mechanical and physico-chemical methods. The correct sequence of technological methods of wastewater treatment processing will eliminate the disadvantages of some methods by the advantages of others (synergistic effect), reduce the processing time of hazardous liquids, reduce energy consumption and the number of reagents.

**Keywords:** environmental friendliness; cavitation; oxidation; processing; liquid pollutants; sewage.

Table: 5. Fig.:8. References: 15.

**Урум Наталія Степанівна** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін. Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Urum Natalia** – PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor of Natural Sciences, Mathematics and Engineering. Danube Institute of Water Transport of the State University of Infrastructure and Technologies (7 Fanagoriyska Str., 68600 Izmail, Ukraine).

**E-mail:** ,urum\_n@mail.ru

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2493-9314>

**Литвин Микола Лукич** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін. Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Lytvyn Mykola** – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Social Sciences and Humanities. Danube Institute of Water Transport of the State University of Infrastructure and Technologies (7 Fanagoriyska Street, Izmail, 68600, Ukraine).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1010-2329>

**Рященко Оксана Іванівна** - старший викладач кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін. Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Riashchenko Oksana** - senior lecturer of the department of natural-mathematical and engineering-technical disciplines. Danube Institute of Water Transport of the State University of Infrastructure and Technologies (7 Fanagoriyska Str., 68600 Izmail, Ukraine).

**E-mail:** ,oksanaivanovna561@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9242-0752>

**Бабере Оксана Сергіївна** – асистент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін. Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Babere Oksana** – Assistant of the Department of Social Sciences and Humanities. Danube Institute of Water Transport of the State University of Infrastructure and Technology (7 Fanagoriyska Str., 68600 Izmail, Ukraine).

**E-mail:** ksuchaburlak@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8711-8495>

## РОЗДІЛ IV. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 624:622.012

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-175-187

Ярослав Ляшок, Сергій Подкопаєв, Олексій Повзун,  
Валерій Калиниченко, Кирило Деменко

### БУДІВЕЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОРУДНОГО ВИРОБНИЦТВА

У роботі доведено доцільність використання відходів залістистих кварцитів (хвостів) I стадії збагачення як кремнеземистий компонент газобетонних сумішей. Уперше встановлено нові й уточнено наявні закономірності зміни активності взаємодії залізородних відходів мокрої магнітної сепарації ПрАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат» та ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» з в'язучими речовинами газобетону автоклавного тверднення на їх основі.

**Ключові слова:** газобетон; кремнеземистий компонент; відходи збагачення залістистих кварцитів.

Рис.: 1. Табл.: 7. Бібл.: 26.

**Актуальність теми дослідження.** Розширення мінеральної сировинної бази для виготовлення будівельних матеріалів може бути забезпечено не лише шляхом пошуку нових родовищ нерудних корисних копалин, але й у результаті використання вторинних продуктів виробництва (техногенних відходів). Це дозволяє значно підвищити економічну ефективність виробництва і знизити собівартість сучасних матеріалів. Навіть часткова заміна природних сировинних матеріалів відходами виробництв може дати значний економічний ефект. Тому розроблення теоретичних основ модифікації будівельних матеріалів за рахунок реалізації ефективної дії вторинних продуктів виробництва є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Вирішення проблеми утилізації промислових відходів має велике науково-практичне значення, що дасть змогу здобути нові відомості про структуру і властивості модифікованих будівельних матеріалів, дозволить розширити сировинну базу і сприятиме екологічному оздоровленню навколишнього середовища. До вторинних продуктів виробництва належать великотоннажні відходи збагачення залістистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі виробничого технологічного циклу на гірничо-збагачувальних і перероблювальних підприємствах України утворюється щороку близько 600 млн м<sup>3</sup> (або понад 1 млрд т) мінерально-сировинних відходів, у тому числі 75-80 млн м<sup>3</sup> відходів збагачення [1]. За різними оцінками, у хвостосховищах гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізородного басейну, який є одним із найбільших гірничодобувних регіонів світу, міститься до 6 млрд т відходів збагачення бідних залізних руд [2], які використовують незначною мірою [3].

Розроблення технологічних рішень щодо переробки й використання тонкодисперсних хвостів здійснюється (переважно) за двома напрямками [4]:

1) дозбагачення з метою додаткового вилучення залізозмісних мінералів і виробництва додаткової кількості концентрату;

2) виготовлення будівельних матеріалів і закладних сумішей для заповнення техногенних пустот при підземній розробці корисних копалин.

Нині в Україні відомо лише два проекти, де дозбагачуються відходи залістистих кварцитів: переробка лежалих пісків шламсховища Центрального гірничо-збагачувального комбінату (м. Кривий Ріг) і виробництво концентрату з хвостів на потужностях дослідно-промислового комплексу «Жовті води» (Дніпропетровська область) [4].

Відходи мокрої магнітної сепарації застосовують (обмежено) для виробництва будівельних матеріалів.

Порошкоподібні відходи збагачення залізистих кварцитів (вміст фракції менше  $71 \cdot 10^{-6}$  м не менше ніж 60 %) у глиняній масі є не лише спіснювальною добавкою, а й підвищують спікльованість черепка керамічної цегли, а також її міцність до марки не менше М150 та морозостійкість з F15 до F50 [5].

Хвости збагачення можуть бути використані як сировина для виробництва скла (чистий кварцовий пісок є важливим стратегічним компонентом у скляній промисловості) [4].

Відходи збагачення залізних руд при активації їх вапном і цементом дозволяють одержати композиційні в'язучі міцністю до 10 МПа. При активації силікатами натрію – до 40 МПа, а при активації силікатами натрію і техногенним склом – до 60 МПа. Роль в'язучого в таких матеріалах виконують активатори тверднення, дисперсні складові хвостів і продукти окислення сульфідів [6].

Під час підземної розробки залізної руди в надрах землі утворюються техногенні пустоти – камери, кожна об'ємом 50-120 м<sup>3</sup>. Закладення виробленого простору твердіючими сумішами не лише дозволить залишати в *цїликах* мінімальну кількість корисної копалини, але й поліпшить екологічну ситуацію залізородного регіону, якщо в їхніх складах застосовувати техногенні відходи. *Цїлики* – частини пластів корисних копалин, які не витягнуто з надр землі або такі, що тимчасово не видобуваються під час розробки родовища. Найвищі значення міцності на стиск у віці 7 діб та 28 діб мала закладна суміш на композиційному в'язучому з використанням цементу (40 % за масою), відходів збагачення залізистих кварцитів (30 % за масою), доменного гранульованого шлаку (30 % за масою) та пластифікатора (0,7 % від маси цементу) – 16,1 МПа і 30,1 МПа відповідно [7].

За водоцементного відношення В/Ц = 0,23 водопоглинання за масою бетону становить 2,5 %. Стираність на лабораторному колі ЛКС становить до 7,4 кг/м<sup>2</sup>. Міцність на стиск зростає до 69,5 МПа. Після 30 і 45 циклів заморожування-відтавання (що є еквівалентним морозостійкості F150 та F200 відповідно) зовнішніх ознак руйнування бетону не виявлено [8]. Склад дрібнозернистої бетонної суміші для виготовлення тротуарної плитки такий: портландцемент М500, відходи збагачення мокрої магнітної сепарації залізистих кварцитів, відсів гранітної фракції 2,5-0,16 мм, добавка – суперпластифікатор С-3 [8].

Зі збільшенням крупності кварцово-залізистого піску (хвостів збагачення) водоспоживання цементного бетону зменшується. Витрата цементу на одиницю міцності бетону на збагачених відходах менша, ніж на природному кварцовому піску аналогічного складу [9]. При тужавленні за природних умов бетону на збагачених відходах питома витрата цементу становить 85-95 % від питомої витрати цементу в бетоні на природному піску; після термовологісної обробки – 74-93 %. Застосування класифікованих відходів дозволяє економити 50-100 кг цементу на 1 м<sup>3</sup> бетону порівняно з дрібнозернистими природними пісками. Опір розтягненню бетону на заповнювачі з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів на 30 % більший, ніж бетону на заповнювачі з піску [9].

Легкі бетони на актипорориті (штучному пористому заповнювачі на основі техногенних відходів збагачення залізистих кварцитів зі хвостосховищ Кривбасу) в порівнянні з керамзитобетоном мають більшу частку умовно закритих пор при більшому значенні загальної пористості. Тому і водопоглинання актипороритобетону на 19-20 % менше, ніж керамзитобетону [10]. Витрати цементу у складах таких легких бетонів класів міцності В3,5 – В7,5 менші за нормативні на 50-60 %. Морозостійкість конструкційно-теплоізоляційного легкого бетону на актипорориті коливається від F35 до F150. Коефіцієнт теплопровідності актипороритобетону на 15-20 % менший, ніж для керамзитобетону. Такий матеріал має істотні переваги в застосуванні в житловому будівництві [10].

Несуча здатність залізобетонних конструкцій із бетонів на хвостах на 10-12 % вища за розрахункову несучу здатність залізобетонних елементів. Для залізобетонних балок на бетоні з використанням відходів збагачення залізистих кварцитів (порівняно з бетоном

на кварцовому піску): руйнівний згинальний момент на 15,3 % вищий; момент утворення тріщин на 20 % вищий; ширина розкриття тріщин в елементах на 27 % менша, прогини балок на 20 % менші, зчеплення з арматурою на 15-20 % краще [9; 11].

Хвости збагачення можна використовувати у виробництві щільних і поризованих силікатних матеріалів гідротермального тверднення як альтернативу природному кварцовому піску, запаси якого є небезмежні [4].

При неповній заміні річкового піску рядовими (всі фракції) хвостами збагачення залізистих кварцитів (а лише частковій з добавкою поліспирту), можна досягти значного підвищення міцності будівельних розчинів [6].

Водопоглинання дрібнозернистого бетону на основі відходів мокрої магнітної сепарації (ММС) залізистих кварцитів в укріплених основах автомобільних доріг методом укочення з використанням тонкомеленого цементу й суперпластифікатора С-3 майже у 2,2 раза менше, ніж бетону на портландцементі. Межа міцності на стиск становить 6,2 МПа. Витрата клінкерної складової знижується майже вдвічі за одночасного підвищення якості такого бетону. Загальний вміст відходів ММС залізистих кварцитів досягає 1850 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону [12].

Коефіцієнт адгезійної стійкості бітуму нафтового дорожнього (за методом адсорбції барвника) до відходів ММС залізистих кварцитів значно вищий, ніж такий до кварцового піску (0,89 проти 0,72). Міцності на стиск асфальтобетону на мінеральному порошку з відходів ММС залізистих кварцитів при температурах 50 °С і 20 °С вищі, ніж на кварцовому піску (1,85 МПа проти 1,40 МПа та 5,15 МПа проти 4,00 МПа відповідно); а при температурі 0 °С навпаки – міцність менша (9,9 МПа проти 10,2 МПа), що свідчить про вищу деформативність асфальтобетону на хвостах збагачення порівняно з асфальтобетоном на кварцовому піску [13].

Із хвостів збагачення залізистих кварцитів можна одержати дешевий пігмент з різною кольоровою гамою і використовувати як товари народного споживання, наприклад, у побілках, шпаклівках, лакофарбових матеріалах, для фарбування цементу, силікатної цегли, бетонів, як пігменти-наповнювачі при виробництві лінолеуму, кольорового асфальтобетону тощо. Утворювана плівка хромоформу (гетит FeOOH) на поверхні частинок SiO<sub>2</sub> настільки міцна, що не змивається водою, не розчинюється в кислотах, світло- і термостійка. Термостійкість, визначена як втрата за масою після прожарювання при 1200 °С впродовж двох годин, становить 0,098 %. Кислотостійкість, визначена як втрата маси під час обробки 1 г пігменту, наприклад, 75 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, дорівнює 0,0023 % [14].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутні дослідження впливу гранулометричного складу відходів мокрої магнітної сепарації залізних руд гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу на фізико-механічні властивості газобетону автоклавного тверднення з їх використанням.

**Постановка завдання.** Метою роботи є встановлення нових і уточнення існуючих закономірностей зміни активності взаємодії відходів збагачення залізистих кварцитів ПрАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат» та ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» з в'язучими речовинами газобетону автоклавного тверднення на їх основі.

**Виклад основного матеріалу.** На всіх гірничо-збагачувальних комбінатах способи збагачення залізних руд принципово однакові. За допомогою магнітної сепарації з послідовно подрібнюваної залізної руди видаляється порода, залишаючи максимальний відсоток заліза. При збагаченні залізистих кварцитів методом мокрої магнітної сепарації виділяється велика кількість дрібнодисперсних відходів. Вони являють собою суспензію твердих частинок у воді й поділяються на відходи поточного виходу, які після збагачення руди не викинуто у відстійники, і хвости, що направляються у вигляді пульпи гідротранспортом у сховища, де відбувається осадження твердих частинок [9].

Для приготування газобетонної суміші використовували такі матеріали, як кремнеземистий компонент – відходи збагачення залізистих кварцитів (хвости), портландцемент М500, вапно кальцієве комове негашене, газоутворювач – пудра алюмінієва ПАП-1 (пігментна), поверхнево-активна речовина – сульфанол; вода відповідала вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011.

Вапняно-кремнеземисте в'язуче готували в лабораторному млині сумісним помелом вапна та відходів збагачення у співвідношенні 1:1, активність якого визначали за [15]. Підбір і розрахунок газобетону проводили для марки D600 за середньою густиною (згідно з [16]) і коригували на основі характеристик бетону, виготовленого при пробних замісах. Оптимальним є склад ніздрюватого бетону (газобетону) заданої марки за середньою густиною, що забезпечує необхідний клас бетону за міцністю і марку за морозостійкістю при мінімальній витраті в'язучих. Відношення маси кремнеземистого компонента до в'язучого (цемент, вапно) приймали відповідно до табл. 2 [16].

Алюмінієву суспензію готували в змішувачі шляхом безперервного перемішування алюмінієвої пудри, поверхнево-активної речовини й води. Витрати алюмінієвої пудри (0,08-0,1 % від витрати сухих компонентів), сульфанолу (4 % від маси алюмінієвої пудри) та співвідношення вміст алюмінієвої пудри: вода (1:6) відповідали вимогам [16]. Газобетонну суміш готували в лабораторному змішувачі, перемішуючи компоненти впродовж 2-3 хвилин при водотвердому відношенні В/Т = 0,50-0,52. Текучість газобетонної суміші визначали за діаметром розпливу конуса на вискозиметрі Суттарда [17] за методикою [18].

Температура газобетонної суміші на цементно-вапняному в'язучому в момент вивантаження у форму (при ударному способі формування) відповідала вимогам [16] і становила 40 °С. Формували зразки-куби з ребром 0,07 м, які при досягненні необхідної пластичної міцності сирцю піддавали автоклавній обробці за режимом: прогрів та підйом тиску пари до 1 МПа – 3 години; витримання при тиску пари 1 МПа – 6 годин; зниження тиску пари – 2 години (загальна тривалість автоклавної обробки – 11 годин). Перед випробуванням зразків-кубів 0,07×0,07×0,07 м на середню густину в сухому стані та міцність на стиск їх висушували в електрошафі за температури (105±10) °С до постійної маси (п. 3.1.13 [19]).

### Дослідження відходів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу за стадіями їх збагачення

Методом сухого розсіву на лабораторних ситах з діаметрами отворів від 3,0 мм до 0,05 мм визначено гранулометричні склади відходів збагачення залізистих кварцитів за стадіями збагачення (табл. 1–5).

Таблиця 1. Гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів (часткові залишки на ситах, %) 1-10 секцій РЗФ\*-1 ПівдГЗК

Назва продукту	Класи крупності*, мм						
	-3,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,3	3,0	8,6	11,2	5,7	7,2	84,0
Хвости I стадія, II прийом	0,1	4,1	11,2	7,6	7,8	5,6	63,6
Хвости II стадія	-	1,2	8,6	15,8	6,8	5,1	62,5
Хвости III стадія, I прийом	-	0,2	1,4	15,2	13,4	11,4	58,4
Хвости III стадія, II прийом	-	0,3	1,6	14,8	13,5	12,0	57,8
Хвости IV стадія	-	-	0,2	0,8	7,6	8,2	83,2
Злив дешламатора, I прийом	-	-	0,2	0,3	0,4	2,4	95,7
Злив дешламатора, II прийом	-	-	-	0,2	0,4	0,6	98,8
Хвости загальні	0,1	1,3	6,3	8,1	6,0	8,1	70,1

Примітки: \*РЗФ – рудозбагачувальна фабрика;

\*\*класи крупності – це продукти з точно визначеними розмірами зерен, які позначають зі знаком плюс "+" або мінус "-", а також двома числовими показниками, що означають мінімальний і максимальний розміри зерен у цьому класі [20]. Матеріал, що пройшов через отвори сита, позначають зі знаком "-"; матеріал, що залишився на ситі, позначають зі знаком "+".

Таблиця 2. Гранулометричний склад відходів збагачення залізістих кварцитів (часткові залишки на ситах, %) 1-4 секцій РЗФ\*-2 ПівдГЗК

Назва продукту	Класи крупності**, мм						
	-3,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,9	2,4	7,3	11,0	8,3	6,1	64,0
Хвости I стадія, II прийом	0,5	2,7	6,1	13,0	10,2	5,5	62,0
Хвости II стадія	-	2,8	10,9	16,0	19,0	6,3	45,0
Хвости III стадія, I прийом	-	0,1	2,8	14,2	11,9	9,0	62,0
Хвости III стадія, II прийом	-	0,1	3,0	15,0	12,9	8,0	61,0
Хвости IV стадія	-	-	0,2	1,4	7,1	13,8	77,5
Злив дешламатора, I прийом	-	-	0,2	1,0	2,9	7,9	88,0
Злив дешламатора, II прийом	-	-	-	0,2	0,4	0,4	94,0
Хвости загальні	0,5	1,5	5,4	12,1	9,5	8,2	62,8

Таблиця 3. Гранулометричний склад відходів збагачення залізістих кварцитів (часткові залишки на ситах, %) 5-10 секцій РЗФ\*-2 ПівдГЗК

Назва продукту	Класи крупності**, мм						
	-3,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,1	2,4	12,7	9,4	5,3	6,3	63,9
Хвости I стадія, II прийом	0,1	3,1	12,1	7,4	4,5	5,1	67,8
Хвости II стадія	-	0,8	8,6	11,3	7,0	7,4	64,9
Хвости III стадія, I прийом	-	0,1	3,0	14,9	11,6	11,6	58,9
Хвости III стадія, II прийом	-	0,2	4,3	18,3	12,4	11,2	53,6
Хвости IV стадія	-	0,1	1,0	8,4	8,8	9,7	72,0
Хвости V стадія	-	-	0,2	2,9	9,0	13,1	74,8
Злив дешламатора, I прийом	-	0,1	0,3	0,4	0,9	5,6	92,7
Злив дешламатора, II прийом	-	-	0,2	0,8	1,2	5,0	92,8
Хвости загальні	0,1	1,5	7,5	8,2	6,2	7,7	68,8

Встановлено, що поточні відходи збагачення на Південному ГЗК представлені (у відсотках за масою) на 0,2-15,4 % фракцією розміром >0,25 мм; на 0,2-18,3 % – фракцією 0,25-0,16 мм; на 0,4-19,0 % – 0,16-0,071 мм; на 51,33 % – розміром <0,071 мм; на 45,0-98,8 % – розміром <0,05 мм (табл. 1-3).

Хвости на Інгулецькому ГЗК мають такий гранулометричний склад (у відсотках за масою): частинок розміром >0,25 мм – 0,1-5,2 %; частинок фракції 0,25-0,16 мм – 0,1-11,0 %; частинок фракції 0,16-0,071 мм – 0,4-20,2 %; частинок розміром <0,071 мм – 61,7-98,6 %; частинок розміром <0,05 мм – 53,6-95,6 % (табл. 4, 5).

Таблиця 4. Гранулометричний склад відходів збагачення залізістих кварцитів (часткові залишки на ситах, %) РЗФ\*-1 ІнГЗК

Назва продукту	Класи крупності**, мм						
	+1,0	-1,0 +0,56	-0,56 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,8	2,6	13,0	8,0	10,0	6,1	59,5
Хвости I стадія, II прийом	0,6	3,0	11,2	2,6	9,9	5,4	62,3
Хвости II стадія	-	1,2	8,5	11,0	17,6	8,1	53,6
Хвости III стадія, I прийом	-	0,5	1,0	8,0	19,6	13,0	57,9
Хвости III стадія, II прийом	-	0,1	0,6	7,1	20,2	12,6	59,4
Хвости IV стадія	-	0,1	0,2	1,3	8,5	10,0	79,9
Хвости V стадія, I прийом	-	-	-	0,4	2,7	5,3	91,6
Хвости V стадія, II прийом	-	-	-	0,1	1,9	5,0	93,0
Злив дешламатора, I прийом	-	0,1	0,1	0,1	1,8	9,0	88,9
Злив дешламатора, II прийом	-	-	0,1	0,1	1,6	4,2	94,0
Хвости загальні	2,8	0,6	1,8	2,8	6,7	8,9	77,1

Таблиця 5. Гранулометричний склад відходів збагачення залізистих кварцитів (часткові залишки на ситах, %) РЗФ\* - 2 ІнГЗК

Назва продукту	Класи крупності**, мм					
	+0,56	-0,56 +0,25	-0,25 +0,16	-0,16 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
Хвости I стадія, I прийом	0,6	4,7	4,2	8,1	8,0	74,4
Хвости I стадія, II прийом	0,6	4,6	5,0	8,2	7,0	74,6
Хвости II стадія	0,1	0,5	1,4	3,0	5,4	89,6
Хвости III стадія, I прийом	-	0,1	0,5	3,8	8,0	87,6
Хвости III стадія, II прийом	-	0,2	0,2	2,2	8,0	91,4
Хвости III стадія, III прийом	-	0,1	0,2	1,1	3,0	95,6
Злив дешламатора	-	0,1	0,1	0,4	1,8	92,6
Хвости загальні	0,4	1,7	2,7	7,3	7,2	80,7

Таким чином, відходи збагачення залізистих кварцитів на Південному ГЗК крупніші за такі на Інгулецькому ГЗК. Починаючи з фракції 0,16-0,071 мм, кількість частинок якої на обох комбінатах є однаковою (0,4-19,0 % і 0,4-20,2 % відповідно), частка зерен розміром <0,071 мм та <0,05 мм на Інгулецькому ГЗК на 10 % більша. Розподіл матеріалу за фракціями визначений мінеральним складом, розміром зерен та характером зростків магнетиту з іншими нерудними мінералами у вихідних залізистих кварцитах, а також ступенем подрібнення мінеральної сировини на збагачувальних фабриках [21].

Спостерігається чітка закономірність: чим пізніша стадія збагачення, тим суттєво вищий відсоток частинок хвостів найдрібнішого розміру (<0,05 мм) у пробах обох гірничо-збагачувальних комбінатів (табл. 1–5). Максимальна кількість зерен найдрібнішого розміру (<0,05 мм) міститься у хвостах останньої стадії збагачення і коливається від 95,6 % (табл. 5) в пробах Інгулецького ГЗК до 74,8 % (табл. 3) в пробах Південного ГЗК.

#### Розроблення складу газобетону на основі хвостів збагачення Південного та Інгулецького гірничо-збагачувальних комбінатів

Питома поверхня вапняно-кремнеземистого в'язучого (що визначена на приладі системи Ходакова ПСХ-2 за методикою [22]) становила 510 м<sup>2</sup>/кг. Його активність (відповідно до [15]) дорівнювала 38 %.

Портландцемент прийнято марки М500 з питомою поверхнею 320 м<sup>2</sup>/кг; строки тужавлення (згідно з ДСТУ Б В.2.7-185:2009): початок тужавлення – 3 год 20 хв, кінець тужавлення – 5 год 05 хв.

Активність вапна кальцієвого комового негашеного становила 76 % (вапно III сорту [15]); час гашення – 15 хв (вид вапна за тривалістю гашення – середнього гашення; індекс часу гашення – Б).

Текучість газобетонної суміші, що визначена на віскозиметрі Сутгарда [17; 18] при ударному способі формування становила 170 мм для марки ніздрюватого бетону за середньою густиною D600 відповідно до [16].

Склади сировинних сумішей (розраховані за методикою [16] і кориговані пробними замісами) та вологість газобетону з використанням відходів збагачення залізистих кварцитів наведено в табл. 6, 7.

Як показано в табл. 6, 7, витрати компонентів на 1 м<sup>3</sup> газобетонної суміші майже однакові. Оскільки крупність відходів Інгулецького ГЗК менша, ніж таких Південного ГЗК (кількість частинок <0,071 мм дорівнює 61,7-98,6 % проти 51,3-99,4 % відповідно (табл. 1–5), то на цих відходах утворено більше новоутворень (гідросилікатів 2CaO·SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O, гідроалюмінатів 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, гідроферитів 4CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·4·nH<sub>2</sub>O кальцію тощо) з більшою кількістю хімічно залученої води. Отже, незв'язаної води в бетонах на відходах Інгулецького ГЗК залишилось менше порівняно з Південним ГЗК. Тому вологість газобетону на хвостах Південного ГЗК більша за таку бетону на хвостах Інгулецького ГЗК (у середньому на 4,4 %).



Таблиця 6. Склади сировинних сумішей і вологість газобетону на основі хвостів Південного ГЗК

№ з/п	Витрати компонентів, кг на 1 м <sup>3</sup> газобетонної суміші			Водотверде відношення, В/Т	Вологість газобетону, % за масою
	вапно	портландцемент	відходи збагачення		
1	131	110	369	0,5	29
2	136	113	382	0,5	29
3	127	106	357	0,5	28
4	125	105	352	0,52	30
5	129	108	364	0,52	31

Таблиця 7. Склади сировинних сумішей і вологість газобетону на основі хвостів Інгулецького ГЗК

№ з/п	Витрати компонентів, кг на 1 м <sup>3</sup> газобетонної суміші			Водотверде відношення, В/Т	Вологість газобетону, % за масою
	вапно	портландцемент	відходи збагачення		
1	128	107	375	0,5	24
2	132	110	388	0,5	21
3	122	102	357	0,51	24
4	124	105	355	0,5	25
5	133	84	393	0,5	31

Середня густина досліджуваних газобетонів із використанням хвостів ГЗК Кривбасу становила від 580 до 630 кг/м<sup>3</sup> (рис. 1).

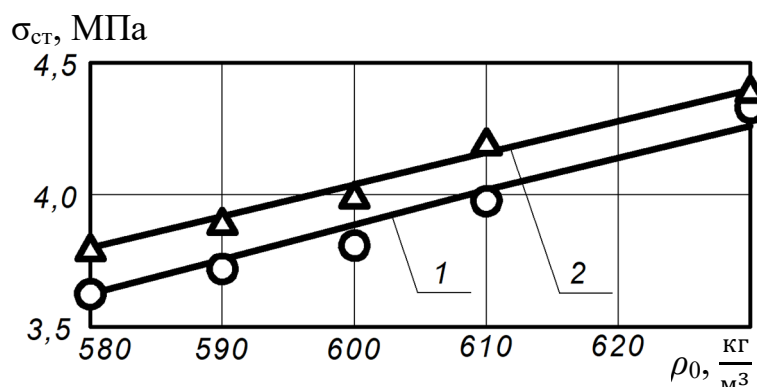


Рис. 1. Залежність міцності на стиск газобетону  $\sigma_{ст}$  від середньої густини газобетону  $\rho_0$  на основі хвостів:  
1 – Південний ГЗК; 2 – Інгулецький ГЗК

Згідно з [23, табл. 1] такий бетон належить до марки D600 за середньою густиною. Міцність на стиск цих бетонів змінювалась від 3,65 МПа до 4,40 МПа (рис. 1). Відповідно до [23, табл. 2 зміни № 2] такий бетон відноситься до класу С 2,5; С 3,5 за міцністю на стиск і належить до теплоізоляційно-конструкційного виду [23, табл. 3].

Фізико-механічні властивості бетону в значній мірі залежать від міцності зчеплення цементного каменя з поверхнею заповнювачів і наповнювачів [24], а також від розміру їхніх частинок [25]. Реальна поверхня твердої речовини завжди біфункціональна, оскільки є сукупністю центрів Бренстеда та Льюїса як *основного*, так і *кислотного* типу [26].

Згідно з визначенням Бренстеда, *кислотою* називають речовину, яка є донором протона. Речовина, яка є акцептором протона, називається *основою* (тобто головна ознака кислоти – присутність протона в її молекулі). Льюїс визначив кислоту як речовину, яка для формування сталої електронної оболонки здатна акцептувати вільну пару електронів іншої молекули. Основа, за Льюїсом, – це речовина, яка, маючи вільну пару електронів, може стати їх донором для утворення стійкої електронної конфігурації іншого атома. Таким чином, кислоти й основи Льюїса можуть не містити протонів, тобто бути апротонними [26].

Отже, основи Бренстеда і Льюїса – це ті самі частинки й молекули. Однак основність за Бренстедом – це здатність приєднувати лише протон, у той час як основність за Льюїсом – поняття більш широке й означає здатність до взаємодії з будь-якою частинкою, що має низько лежачу вільну орбіталь [26].

Відповідно до [24], іони поверхні кремнезему є і кислотними внаслідок наявності вільних орбіталей (кремній), і основними, маючи донорні властивості (кисень) центрів Льюїса. При гідроксилуванні поверхні кремнезему на ній з'являються протонодонорні і протоноакцепторні центри Бренстеда.

Кількісно силу кислот і основ оцінюють константою протолітичних (реакція передачі протона від кислоти до основи) рівноваг ( $pK_a$ ), що визначають експериментально, і яка являє собою від'ємний десятковий логарифм добутку молярних концентрацій іонів води  $[H^+]\cdot[OH^-]$  ( $p$  – початкова літера німецького слова *potenz* – показник математичного ступеня; індекс  $a$  – *acid*, кислота).

Міцність бетону підвищується зі збільшенням вмісту бренстедівських кислотних центрів ( $pK_a = 0-7$ ) і льюїсівських основних центрів ( $pK_a = -4,4-7$ ). Зі зростанням вмісту з  $pK_a$  від -4,4 до 7 поліпшуються механічні показники композитів та підвищується ступінь гідратації цементу. Наповнювачі, що мають центри достатньої інтенсивності в областях з  $pK_a =$  від 4,4 до 7 і понад 13, здатні каталітично активувати гідратацію в'язучого. Акцепторні властивості поверхні твердих фаз з  $pK_a > 13$  сприяють підвищенню пластичної міцності цементу (а, значить, і бетону). З підвищенням дисперсності заповнювача збільшується вміст льюїсівських основних і сумарних центрів [24]. Це пояснює зростання міцності композитів зі зменшенням розміру частинок матеріалу, а також прогнозує підвищення ступеня гідратації в'язучого.

Відходи збагачення залістистих кварцитів на Інгулецькому ГЗК дрібніші за такі на Південному ГЗК (табл. 1–5). Тому і міцність газобетону з використанням хвостів Інгулецького ГЗК вища за таку на хвостах Південного ГЗК (рис. 1).

На міцність газобетону також впливає розчинність кремнезему, яка природно є низька. У технології автоклавних матеріалів велике значення має крупність кремнеземистого компонента – чим він дрібніший (вище його питома поверхня), тим більше кремнезему переходить у розчин для сполучення з вапном і тим більше створюється новоутворень під час автоклавної обробки. Халцедоновидна, регіонально-метаморфізована, а також частково динамометаморфічна генерація кварцу відходів мокрої магнітної сепарації залістистих кварцитів інтенсивно зв'язує гідроксид кальцію в дрібнокристалічні нерозчинні гідросилікати кальцію, що сприяє зменшенню кількості дефектів, зниженню кристалізаційного тиску і оптимізації структури матеріалу.

**Висновки.** Відходи збагачення залістистих кварцитів на Південному ГЗК крупніші за такі ж на Інгулецькому ГЗК.

Вологість газобетону (в середньому) на хвостах Південного ГЗК на 4,4 % більша за таку ж вологість бетону на хвостах Інгулецького ГЗК.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010 досліджуваний газобетон відноситься до марки D600 за середньою густиною, а відповідно до Зміни 2 ДСТУ Б В.2.7-45:2010 – до класів С 2,5; С3,5 за міцністю на стиск і належить до теплоізоляційно-конструкційного виду.

Вироби, виготовлені на основі відходів збагачення залістистих кварцитів, відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетони ніздруваті. Загальні технічні умови» та ДСТУ Б В.2.7-137:2008 «Блоки з ніздруватого бетону стінові дрібні. Технічні умови».

Екологічна ефективність виробництва відходів збагачення залістистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів сприяє ліквідації хвостосховищ і вивільнює площі кори-

сних земель (тим самим знижуючи навантаження на природне середовище в залізорудних регіонах). Перевагами використання хвостів є: можливість їх утилізації у виробництві газобетонів; низька вартість матеріалів на основі цих відходів.

Подальша робота буде присвячена практичному впровадженню результатів наукових досліджень у виробництво.

### Список використаних джерел

1. Перспективы вовлечения техногенных месторождений (на примере Украины и Грузии) / Копач П. И. и др. *Екологія і природокористування*. 2013. Вип. 16. С. 210-218.
2. Перегудов В. В., Григор'єв І. Є., Григор'єв Ю. І. Дослідження взаємозв'язків параметрів техногенних родовищ насипного типу. *Гірничий вісник*. 2019. Вип. 105. С. 29-34.
3. Єфіменко В. І., Єфіменко В. В., Ягодкіна О. О. Аналіз доцільності комплексного використання відходів гірничо-видобувних підприємств на виробництво нерудних будівельних матеріалів. *Вісник Криворізького національного університету*. 2014. Вип. 36. С. 159-165.
4. Соколова В. П., Учитель А. Д. Переработка шламовых отходов обогащения железной руды. *Збагачення корисних копалин*. 2017. Вип. 66(107). С. 3-12.
5. Ермолович Е. А. Технология переработки отходов обогащения железных руд как способ борьбы с источником негативного экологического воздействия. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2009. № 12. Т. 12. С. 375-379.
6. Шишкин А. А., Шишкина А. А., Щерба В. В. Особенности использования отходов горно-обогатительных комбинатов в производстве строительных материалов. *Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури*. 2013. Вип. 1(99). С. 8-12.
7. Закладочные смеси / Агеева М. С. и др. *Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education, SWorld-2014*. URL: <http://www.sworld.com.ua/index.php/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/2014>.
8. Ермолович Е.А. Утилизация отходов обогащения железистых кварцитов в мелкозернистой бетонной смеси для тротуарной плитки. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2013. № 8. С. 23-25.
9. Використання гірничорудної промисловості у промисловому, цивільному та транспортному будівництві / Валовой О.І. та ін. *Гірничий вісник*. 2020. Вип. 107. С. 142-147.
10. Коверніченко Л.М., Хільченко О.П. Бетони на штучному пористому заповнювачі – актипорориті із техногенних відходів промислових підприємств Кривого рогу. *Гірничий вісник*. 2019. Вип. 105. С. 118-122.
11. Валовой О. І., Єрмоменко О. Ю., Валовой М. О. Корозійна стійкість бетонів на заповнювачах з відходів металургійної промисловості. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць*. Рівне, 2016. Вип. 32. С. 15-22.
12. Лесовик Р. В. Техногенный песок в дорожном строительстве. *Строительные материалы*. 2009. № 12. С. 48-50.
13. Ядыкина В. В. Повышение эффективности асфальто- и цементобетонов на основе техногенного сырья. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2004. № 1. С. 45-47.
14. Тарасова Г. И., Свергузова Ж. А. Разработка способа утилизации хвостов обогащения железистых кварцитов. URL: <http://conf.bstu.ru/conf/docs/0011/0222.doc>.
15. ДСТУ Б В.2.7-90:2011. Вапно будівельне. Технічні умови. [Чинний від 01.10.2012]. Київ : Мінбуд України, 2012. 26 с.
16. ДСТУ-НБ В.2.7-308:2015. Настанова з виготовлення виробів з ніздрюватого бетону. [Чинний від 01.10.2016]. Київ : Мінбуд України, 2016. 52 с.
17. Дворкін Л. Й., Житковський В. В. Технологія опоряджувальних, теплоізоляційних та гідроізоляційних матеріалів: навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010, 227 с.
18. ДСТУ Б В.2.7-82:2010. В'язучі гіпсові. Технічні умови. [Чинний від 01.03.2011]. Київ : Мінбуд України, 2011. 29 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання і водонепроникності. [Чинний від 01.07.2009]. Київ : Мінбуд України, 2009. 36 с.

20. Кравець В. Г., Білецький В. С., Смирнов В. О. Техніка і технологія збагачення корисних копалин. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 286 с.
21. Губіна В. Г., Заборовський В. С. Особливості речовинного складу відходів збагачення залізистих кварцитів. *Геохімія та рудоутворення*. 2015. Вип. 35. С. 56-62.
22. Дворкін Л. Й., Скрипнік І. Г. Фізико-хімічні і фізичні методи досліджень будівельних матеріалів : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2006. 220 с.
23. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.11.2010]. Київ : Мінбуд України, 2010. 45 с. (зі Зміною № 2 від 14.06.2016. [Чинна від 01.01.2017]. Київ: Мінбуд України, 2017. 4 с.).
24. Шангина Н. Н. Прогнозирование физико-механических характеристик бетонов с учетом донорно-акцепторных свойств поверхности наполнителей и заполнителей : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / Петербургский государственный университет путей сообщения. Санкт-Петербург, 1998. 372 с.
25. Нечипоренко А. П., Шевченко Г. К. Исследование влияния термообработки и дисперсности образца на кислотно-основные свойства поверхности кремнезема. *Журнал общей химии*. 1985. Т. 55. Вып. 2. С. 244-253.
26. Танабе К. Твердые кислоты и основания. Москва : Мир, 1973. 183 с.

### References

1. Kopach, P. I., Yakubenko, L. V., Romanenko, V. N., Shmatkov, H. H., Chykhradze, N. M., Khomeryky, S. K., Mykhelson, R. V., Mataradze, E. D. (2013). Perspektivy вовlechenija tehnogennyh mestorozhdenij (na primere Ukrainy i Gruzii) [Prospects for involving technogenic deposits (on the example of Ukraine and Georgia)]. *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia – Ecology and nature management*, 16, pp. 210-218.
2. Pehudov, V. V., Hryhoriev, I. Ie., Hryhoriev, Yu. I. (2019). Doslidzhennia vzaiemozviazkiv parametriv tekhnogennykh rodovysheh nasypnoho typu [Research of interrelations of parameters of technogenic deposits of bulk type]. *Hirnychiy visnyk – Mining Bulletin*, 105, pp. 29-34.
3. Yefimenko, V. I., Efimenko, V. V., Yahodkina, O. O. (2014). Analiz dotsilnosti kompleksnoho vykorystannia vidkhodiv hirnycho-vydobuvnykh pidpriemstv na vyrobnytstvo nerudnykh budivelnykh materialiv [Analysis of the feasibility of integrated use of waste from mining enterprises for the production of non-metallic building materials]. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu – Bulletin of Kryvyi Rih National University*, 36, pp. 159-165.
4. Sokolova, V. P., Uchitel, A. D. (2017). Pererabotka shlamovykh othodov obogashheniia zheleznoi rudy [Processing of sludge waste from iron ore dressing]. *Zbahachennia korysnykh kopalyn – Enrichment of minerals*, 66(107), pp. 3-12.
5. Ermolovich, E. A. (2009). Tehnologiiia pererabotki othodov obogashheniia zheleznykh rud kak sposob borby s istochnikom negativnogo ekologicheskogo vozdeistviia [Enrichment of minerals]. *Gornyi informacionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal) – Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 12(12), pp. 375-379.
6. Shishkin, A. A., Shishkina, A. A., Shherba, V. V. (2013). Osobennosti ispolzovaniia othodov gorno-obogatitelnykh kombinatov v proizvodstve stroitelnykh materialov [Features of the use of waste from mining and processing plants in the production of building materials]. *Visnyk Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury – Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 1(99), pp. 8-12.
7. Aheeva, M. S., Bohusevych, H. H., Sopyn, D. M., Bohusevych, V. A., Honcharov, R. S. (2014). *Zakladochnye smesi [Laying mixtures]. Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education, SWorld-2014.* <http://www.sworld.com.ua/index.php/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences>.
8. Ermolovich, E. A. (2013). Utilizacija othodov obogashheniia zhelezistykh kvartsitov v melkozernistoi betonnoi smesi dlia trotuarnoi plitki [Utilization of waste of concentration of ferruginous quartzites in fine-grained concrete mixture for paving slabs]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskij zhurnal) – Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, (8), pp. 23-25.

9. Valovoi, O. I., Astakhov, V. I., Afanasiev, V. V., Valovoi, M. O., Yeremenko, O. Yu. (2020). Vykorystannia hirnychorudnoi promyslovosti u promyslovomu, tsyvilnomu ta transportnomu budivnytstvi [Use of the mining industry in industrial, civil and transport construction]. *Hirnychiy visnyk – Mining Bulletin*, 107, pp. 142-147.

10. Kovrnichenko, L. M., Khilchenko O. P. (2019). Betony na sztuchnomu porystomu zapovniuvachi – aktypororyti iz tekhnohennykh vidkhodiv promyslovykh pidpriemstv Kryvoho Rohu [Concretes on artificial porous aggregate – actipororites from technogenic wastes of the industrial enterprises of Krivoy Rog. *Hirnychiy visnyk – Mining Bulletin*, 105, pp. 118-122.

11. Valovoi, O. I., Ieromenko, O. Iu., Valovoi, M. O. (2016). Koroziiina stiikist betoniv na zapovniuvachakh z vidkhodiv metalurhiinoi promyslovosti [Corrosion resistance of concrete on aggregates from wastes of the metallurgical industry]. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy – Resource-saving materials, structures, buildings and structures*, 32, pp. 15-22.

12. Lesovik, R. V. (2009). Tehnogennyj pesok v dorozhnom stroitel'stve [Man-made sand in road construction]. *Stroitel'nye materialy – Construction Materials*, (12), pp. 48-50.

13. Iadykina, V. V. (2004). Povyshenie jeffektivnosti asfal'to- i cementobetonov na osnove tehnogenogo syr'ja [Increasing the efficiency of asphalt and cement concrete based on technogenic raw materials]. *Nauka i tehnika v dorozhnoi otrasli – Science and technology in the road industry*, (1), pp. 45-47.

14. Tarasova, G. I., Svergzuzova, Zh. A. *Razrabotka sposoba utilizacii hvostov obogashhenija zhelezistykh kvarcitolv [Development of a method for disposal of ferruginous quartzite dressing tailings]*. <http://conf.bstu.ru/conf/docs/0011/0222.doc>.

15. Minbud Ukrainy [Ministry of Construction of Ukraine]. (2012). *Vapno budivelne [Building lime]* (DSTU B V.2.7-90:2011).

16. Minbud Ukrainy [Ministry of Construction of Ukraine]. (2016). *Nastanova z vyhotovlennia vyrobiv z nizdriuvatoho betonu [Instructions for the manufacture of products from cellular concrete]* (DSTU-HB B.2.7-308:2015).

17. Dvorkin, L. I., Zhytkovskyi, V. V. (2010). *Tekhnolohiia oporiadzhuvalnykh, teploizoliatsiinykh ta hidroizoliatsiinykh materialiv [Technology of finishing, heat-insulating and waterproofing materials]*. NUVHP.

18. Minbud Ukrainy [Ministry of Construction of Ukraine]. (2011). *Viazhuchi hipsovi [Gypsum binders. Specifications]* (DSTU BB.2.7-82:2010).

19. Minbud Ukrainy [Ministry of Construction of Ukraine]. (2009). *Betony. Metody vyznachennia serednoi hustyny, volohosti, vodopohlynannia i vodonepronyknosti [Concrete. Methods for determining the average density, humidity, water absorption and water resistance]* (DSTU B V.2.7-170:2008).

20. Kravets, V. H., Biletskyi, V. S., Smyrnov, V. O. (2019). *Tekhnika i tekhnolohiia zbahachennia korysnykh kopalyn [Technique and technology of mineral beneficiation]*. KPI im. Ihoria Sikorskoho.

21. Hubina, V. H., Zaborovskyi, V. S. (2015). Osoblyvosti rehovynnoho skladu vidkhodiv zbahachennia zalizystykh kvartsytiv [Features of the material composition of iron quartzite enrichment waste]. *Heokhimiia ta rudoutvorenna – Geochemistry and ore formation*, 35, pp. 56-62.

22. Dvorkin, L. I., Skrypnyk, I. H. (2006). *Fyzyko-khimichni i fizychni metody doslidzhen budivelnykh materialiv [Physico-chemical and physical methods of research of building materials]*. NUVHP.

23. Minbud Ukrainy [Ministry of Construction of Ukraine]. (2017). *Betony nizdriuvati. Zahalni tekhnichni umovy [Aerated concrete. General technical conditions]* (DSTU B V.2.7-45:2010).

24. Shangina, N. N. (1998). *Prognozirovanie fiziko-mehaniicheskikh harakteristik betonov s uchetom donorno-akceptornykh svojstv poverhnosti napolnitelej i zapolnitelej [Prediction of the physical and mechanical characteristics of concretes, taking into account the donor-acceptor properties of the surface of fillers and aggregates]* [Doctor's thesis, Petersburg State Transport University].

25. Nechiporenko, A. P., Shevchenko, G. K. (1985). Issledovanie vlijaniija termoobrabotki i dispersnosti obrazca na kislotno-osnovnye svojstva poverhnosti kremnezema [Investigation of the effect of heat treatment and sample dispersion on the acid-base properties of the silica surface]. *Zhurnal obshhej himii – Journal of General Chemistry*, 55(2), pp. 244-253.

26. Tanabe, K. (1973). *Tverdye kisloty i osnovaniya [Solid acids and bases]*. Mir.

UDC 624:622.012

Yaroslav Liashok, Serhii Podkopaiev, Oleksii Povzun,  
Valerii Kalynychenko, Kyrylo Demenko

## CONSTRUCTION MATERIAL BASED ON THE MINING PRODUCTION WASTE

*Creating of effective process for treatment and usage of industrial materials, which will enable a derivation of operative construction materials for different industry fields, is an actual task. Industrial material usually requires a cost-effective treatment and complex evaluation using progressive methods and technologies that ensure its overall usage with maximal protection of the environment.*

*The ferric quartz rock refuse (tailings) of mining complexes is marginally used in the raw mixes for production of ceramic bricks, compositional binders, embedding massifs for filling-in of mined-out underground space (caves) of mining, cement-concrete mix, artificial porous filler – actipororite, fine-grain concrete mixture for construction of highway foundations, hydrocarbon concrete mixtures for arrangement of the top structure layers of the road coating, and as loading pigments in various materials as well.*

*The impact of the grain composition of waste resulting from the wet magnet separation of the iron stone from the mining complexes of Kryvbas on physical mechanical properties of the autoclaved aerated concrete is unresearched.*

*The mission is to see an existing logic and define a new one for change of the interactivity of ferric quartz washery refuse (from “Pivdenny mining complex” and “Inguletsky mining complex”) with binders of autoclaved aerated concrete on their basis.*

*The grain composition of tailings from the mining complexes of Kryvbas were defined by stages of their concentration; there was also defined the content of ferrum (total and magnetic one), together with hard weight fraction in them. The practicability of usage of the ferric quartz rock refuse (1st concentration stage) as a silicic component for aerated concrete mixtures has been proved. The researched aerated concrete corresponds to the requirements of Ukrainian national standards by its physical mechanical properties.*

*The ferric quartz washery refuse from Pivdenny mining complex is larger than those from Inguletsky mining complex. The maximal output of tailings is formed at the 1<sup>st</sup> stage of concentration. The tailings of Inguletsky mining complex have greater ferrum concentration than those of Pivdenny mining complex. Because of greater hard weight fraction in slurry tailings, it is reasonable to use the ferric quartz washery refuse of the 1st concentration stage for preparation of aerated concrete mixture – this will decrease the power consumption for densification and dehydration of the material.*

*Following the increase of magnetic intensity, the weight fraction of total iron and hard iron in the mine refuse get decreased. The lowest concentration of total iron is equal to 6 % (by mass), while the magnetic induction is 1,5 T. The weight fraction of the magnet iron at the same value of magnet induction is 0,2 %. Humidity of the aerated concrete (averagely) on the tailings of Pivdenny mining complex is 4,4 % more than that of Inguletsky mining complex. As per DSTU B V.2.7-45:2010, the researched aerated concrete is classified as grade D600 by medium density, while as per the Change 2 of DSTU B V.2.7-45:2010 – as class C2,5; C3,5 by the compressive strength and is classified as heat insulating structure type.*

*Ecological efficiency of the ferric quartz rock refuse industry of the mining complexes supports the tailings disposal and frees useful ground space (thus, decreasing the impacts on nature within the iron-oxide areas). The advantages of use of tailings are possibility of their utilization in the aerated concrete industry; low cost of materials based on these refuse.*

**Key words:** aerated concrete; siliceous component; waste enrichment of ferrous quartzites.

Fig.: 1. Table: 7. References: 26.

**Ляшок Ярослав Олександрович** – доктор економічних наук, професор, ректор, Донецький національний технічний університет (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

**Liashok Yaroslav** – Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector, Donetsk National Technical University (2 Shibankova Sq., 85300 Pokrovsk, Ukraine).

**SCOPUS Author ID:** 57204864586

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-7643-8485>

**Web of Science:** M-9725-2019

**Подкопаяв Сергій Вікторович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Донецький національний технічний університет (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

**Podkopaiev Serhii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in Scientific work, Donetsk National Technical University (2 Shibankova Sq., 85300 Pokrovsk, Ukraine).

**SCOPUS Author ID:** 6602529316

**Web of Science:** B-7422-2019

**Повзун Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електромеханіки та машинобудування, Донецький національний технічний університет (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

**Povzun Oleksii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Electrical Mechanics and Machine Building Department, Donetsk National Technical University (2 Shibankova Sq., 85300 Pokrovsk, Ukraine).

**E-mail:** povzun.aleksey@gmail.com

**SCOPUS Author ID:** 57215584638

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-8183-9585>

**Калниченко Валерій Вікторович** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри електромеханіки та машинобудування, Донецький національний технічний університет (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

**Kalynychenko Valerii** – PhD in Technical Sciences, Head of Electrical Mechanics and Machine Building Department, Donetsk National Technical University (2 Shibankova Sq., 85300 Pokrovsk, Ukraine).

**E-mail:** valerii.kalynychenko@donntu.edu.ua

**SCOPUS Author ID:** 57215577915

**Деменко Кирило Олександрович** – магістрант факультету машинобудування, екології та хімічних технологій, Донецький національний технічний університет (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

**Demenko Kyrylo** – postgraduate student of Faculty of Mechanical Engineering, Ecology and Chemical Technologies, Donetsk National Technical University (2, Shibankova Sq., Pokrovsk, Donetsk Region, Ukraine).

**E-mail:** garrusvakan7@gmail.com

УДК 528.94:004

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-188-197

Олена Бойко, Наталія Полякова

**ФОРМУВАННЯ НАБОРІВ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ГІС  
УПРАВЛІННЯ ІНЖЕНЕРНИМИ КОМУНІКАЦІЯМИ АЕРОПОРТУ**

На основі проведеного дослідження розроблено теоретичні основи картографічного забезпечення функціонування ГІС для успішного управління експлуатаційними службами різних типів інженерних мереж складного комплексу аеропорту. Це здійснено з урахуванням специфіки об'єкта дослідження та можливостей сучасних геоінформаційних систем, головною функцією яких є проведення картографічного моделювання на основі геоінформаційного аналізу геопросторових та атрибутивних даних інженерних комунікацій території аеропорту.

**Ключові слова:** геоінформаційні системи (ГІС, GIS); інженерні комунікації; геопросторові дані; аеропорт; інфраструктура геопросторових даних; класифікатор топографічної інформації; топологічні відносини.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 20.

**Актуальність теми дослідження.** Відповідно до Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року та з метою підвищення ефективності управління державним майном і задоволення потреб держави в забезпеченні стабільного розвитку авіаційної галузі виконано теоретичні дослідження та відповідні етапи практичних напрацювань щодо створення підсистеми для управління інженерними мережами території аеропорту. Згідно з завданнями та заходами зазначеної програми розроблення підсистеми для управління інженерними мережами на території аеропорту є актуальним та перспективним напрямом досліджень [1].

**Постановка проблеми.** Організаційно-функціональна структура аеропорту може об'єднувати у своєму складі підрозділи, що виконують функції експлуатації мереж різних типів, планування поточного та перспективного їх розвитку. Це складний територіальний та технологічний комплекс, для оптимального функціонування якого необхідна не менш складна інформаційна система управління. Це, у свою чергу, потребує закладання вже на стадіях розробки можливостей виконувати дві комунікативні функції: перша – інформаційно об'єднувати всі підсистеми аеропорту, друга – здійснювати координаційні відносини з іншими системами аеропорту, його підрозділами та ланкою управління.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі були проаналізовані та узагальнені публікації, що присвячені методам формування геопросторових даних [2; 3; 4], впровадження геоінформаційних технологій для адміністративно-господарського управління (АГУ) аеропортами [5], а також публікації щодо інформаційних систем розгалужених сфер комунального господарства, як системи забезпечення господарської роботи аеропорту, зокрема, водогінно-каналізаційної, енерго- та теплопостачання, зовнішнього освітлення аеропорту та злітно-посадкових смуг, санітарного очищення тощо [6].

У статтях [7; 8] розглянуто стандарти та вимоги до цифрового представлення геопросторових даних та баз геопросторових даних, які відіграють основну і вирішальну роль у новій концепції застосування географічної інформації та новій архітектурі геоінформаційних систем як складової інфраструктури геопросторових даних. Орієнтований на бази даних, такий підхід дає можливість суттєво підвищити ефективність використання геопросторової інформації в системах підтримки прийняття рішень порівняно з традиційним ГІС-центричним підходом.

У статті [9] розглянуто сучасні підходи до питання формування загальної концепції якості геопросторових даних з урахуванням їх інформаційно-модельної суті і основного призначення для застосування в геоінформаційних системах прийняття рішень, викладено основні елементи, заходи, процедури і методи оцінювання якості даних, виходячи з методології серії міжнародних стандартів ISO 19100.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання перспектив впровадження геоінформаційних технологій для адміністративно-господарського управління активами аеропортів України потре-



бує додаткового дослідження, оскільки ці питання дуже важливі та актуальні, враховуючи стрімке зростання цифровізації суспільства, навколишнього середовища та інфраструктурних об'єктів.

**Мета статті.** Основною метою дослідження є розробка моделей для формування геопросторових даних підсистеми управління інженерними комунікаціями аеропорту, аналіз можливостей та перспектив впровадження сучасних технологій опрацювання та візуалізації геопросторових даних, застосування систем геоінформаційного картографування та формування концептуальних підходів до створення, забезпечення функціонування і застосування геоінформаційних систем і технологій для вирішення адміністративно-господарських завдань системи аеропорту.

**Виклад основного матеріалу.** Господарський комплекс аеропорту являє собою сукупність будівель, споруд, інженерних мереж, проїздів, злітно-посадкових смуг, аеронавігаційного обладнання, освітлювальних приладів, транспортних засобів тощо [5; 10]. Для ефективного та злагодженого функціонування аеропортового комплексу в аеропортах світу використовують комплексні геоінформаційні системи (ГІС). Їх функції та можливості мають широкий спектр і охоплюють збір, зберігання, оновлення, візуалізацію геопросторової інформації, а також аналіз даних для прийняття управлінських рішень.

Геоінформаційна система адміністративно-господарського управління (ГІС АГУ) аеропортами розробляється для поліпшення інформаційного забезпечення прийняття управлінських рішень на основі широкого застосування геоінформаційних систем і технологій у діяльності керівництва та служб підприємства при вирішенні завдань:

- розвитку, планування, забудови та реконструкції території;
- обліку земельних ділянок, будинків і споруд та їх користувачів;
- регулювання земельних відносин на території підприємства;
- забезпечення картографічною та геодезичною інформацією;
- розвитку інженерної і транспортної інфраструктури;
- експлуатації інженерних мереж життєзабезпечення, моніторингу їх стану, формування програм їх розвитку і реконструкції;
- моніторингу дотримання правил забудови території та приаеродромної зони з погляду безпеки виконання польотів;
- контролю за раціональним використанням території, аналізу реалізації програм з погляду містобудівної та землепорядної документації;
- екологічного моніторингу стану навколишнього середовища (фізичне, хімічне, біологічне забруднення атмосфери, ґрунту, поверхневих і підземних вод з урахуванням джерел забруднення, масштабів і повторюваності) тощо.

Для реалізації поставлених задач та функціонування ГІС АГУ аеропорту повинні включати єдину цифрову базу даних (ЄЦБД) геопросторових об'єктів інфраструктури, єдину картографічну основу, дані про земельні ділянки, будівлі та споруди, інженерні та телекомунікаційні мережі, об'єкти транспортної інфраструктури, злітно-посадкові смуги тощо [11].

На початковому етапі виконання розробки підсистеми для управління інженерними мережами на території аеропорту було визначено структуру підсистеми та встановлено базові набори геопросторових даних аеропорту, які включають єдину картографічну основу для розташування профільних наборів інженерної інфраструктури [12].

До профільних наборів були віднесені: світосигнальне обладнання, дренажна система, водопровідна мережа, побутова, напірна, зливна та дренажна каналізація, газопровідна мережа, кабельна каналізація електрозв'язку, лінії зв'язку, система відеоспостереження, теплова та електрична мережа, паливо-мазутопровід, газопровід, пінопровід.

Формування наборів геопросторових даних відбувається відповідно до міжнародних стандартів ISO 19100 «Географічна інформація / Геоматика» [13], що забезпечує використання даних у різному програмному забезпеченні, доступ до відкритих даних, сервісів і програм, які можна легко інтегрувати без необхідності доопрацювання, та ґрунтується на загальних стандартах та концепціях сучасних інформаційних технологій. Дані в геоінформаційній системі мають бути структуровані та інтероперабельні [14].

Відповідність українським стандартам «Географічна інформація. Еталонна модель», «Правила моделювання геопросторових даних» [14], комплекс стандартів «База топографічних даних» [15] забезпечує створення, об'єднання та накопичення даних у різних підрозділах та організаціях, дозволяє використовувати накопичені дані та інтегрувати їх в єдиний інформаційний масив, забезпечує інформаційну та функціональну сумісність компонентів системи в рамках Національної інфраструктури геопросторових даних на основі уніфікованої структури, єдиної системи класифікації і кодування топографічних об'єктів та їхніх атрибутів, правил цифрового опису векторних даних і цифрових моделей рельєфу, метаданих для топографічних об'єктів і наборів топографічних даних, форматів експорту/імпорту топографічних даних у процесі інформаційної взаємодії компонентів у середовищі системи та з іншими системами.

Використовуючи класифікатор топографічної інформації масштабів 1:500 – 1:5 000 [16] сформовано перелік найменувань об'єктів класифікації підсистеми управління інженерними комунікаціями ГІС АГУ, класифікаційних угруповань і їх кодових позначень з класу об'єктів 51300000 «Комунікації» (див. табл.).

*Таблиця. Об'єкти класифікації підсистеми управління інженерними комунікаціями ГІС АГУ*

Код об'єкта	Найменування об'єкта класифікації	Ознаки, які характеризують об'єкт класифікації
1	2	3
<b>51310000 Трубопроводи</b>		
51312000	водопровід	стан (03), характер розташування об'єкта відносно земної (водної) поверхні (35), кількість ЛЕП, труб (49), діаметр труби (102), пояснювальний напис (119), матеріал труби (124), тиск (129)
51313000	каналізація	
51314000	газопровід	
51315000	теплофікація безканална	
51316000	спеціальні трубопроводи	
<b>51320000 Лінії електропередачі</b>		
51321000	Лінії електропередачі (ЛЕП) повітряні дротяні	стан (03), напруга (41), кількість ЛЕП, труб (49)
51322000	Лінії електропередачі (ЛЕП) повітряні кабельні	
51323000	Місця переходу від повітряних ЛЕП до кабельних підземних ЛЕП	
51324000	Електрокабелі підземні	стан (03), напруга (41), кількість проводів, кабелів (110), пояснювальний напис (119), матеріал труби (124)
51325000	Електрошафи	
51326000	Трансформатори на стовпах та на постаментах	
51327000	Будки трансформаторні	
51328000	Електричні підстанції	матеріал споруди (10), номер пункту (37), пояснювальний напис (119)
<b>51330000 Лінії зв'язку</b>		
51331000	Лінії зв'язку повітряні дротяні	стан (03), пояснювальний напис (119)
51332000	Лінії зв'язку повітряні кабельні	
51333000	Місця переходу від повітряних ліній зв'язку до кабельних підземних	
51334000	Лінії зв'язку підземні кабельні	стан (03), кількість проводів, кабелів (110), пояснювальний напис (119), матеріал труби (124)
51335000	Будки телефонні	
51336000	Шафи телефонні розподільчі	

Закінчення табл.

1	2	3
<b>51360000 Споруди на трубопроводах</b>		
51361000	Колодязі оглядові	абсолютна висота, м (04), характер розташування об'єкта відносно земної (водної) поверхні (35), пояснювальний напис (119), позначка кільця люка (132), позначка верха труби (133), позначка дна (134), номер люка, камери (138)
51362000	Стічні решітки	абсолютна висота, м (04), пояснювальний напис (119), номер люка, камери (138)
51363000	Люки підвальні	
51364000	Кабельні стовпчики - сторожки	
51365000	Ковери	
51366000	Засувки	
51367000	Заглушки	
51368000	Бункери та будки оглядові	характер розташування об'єкта відносно земної (водної) поверхні (35)
51369000	Будки контрольно-розподільчі	
<b>51370000 Колектори, канали</b>		
51371000	Короб	матеріал споруди (10), пояснювальний напис (119)
51372000	Колектори	пояснювальний напис (119)
51373000	Канали	
51374000	Канали непрохідні	матеріал споруди (10), пояснювальний напис (119)
51375000	Канали напівпрохідні	
51376000	Канали прохідні	
51377000	Захисна труба	пояснювальний напис (119)

На наступному етапі виконання розробки підсистеми для управління інженерними мережами на території аеропорту визначено атрибутивну інформацію інженерних комунікацій та мереж. Відповідно до ознак, які характеризують об'єкти класифікації, до загальних характеристик належать: розташування комунікацій (наземні, підземні, повітряні); матеріал труб та каналів (сталь, залізобетон, кераміка, пластик, металопластик); стан мережі (діючий, недіючий, в проєкті, будується, в резерві); прохідність каналів (непрохідний, напівпрохідний, прохідний); оглядові люки (діючі, не діючі, порушені, знаходяться під дорожнім покриттям); шурфи (відкриті, для пошуку підземних комунікацій); тиск на газопроводах (високий, середній, низький) та супутні об'єкти (ковер, будка оглядова, контрольний пункт); напруга на лініях електромереж (висока, низька) тощо. Також були визначені додаткові атрибутивні дані: дата останнього огляду, проведення регламентних робіт, тощо [16; 17].

Висотні відмітки для кожного виду інженерних мереж визначені відповідно до вимог відображення: водопровід та газопровід (кільце люка, земля, верх труби), каналізація (кільце люка, земля, дно лотка), теплотраса (кільце люка, земля, верх труби, дно каналу), електрокабелі (кільце люка, земля, верх блоку, дно низу блоку), зв'язок (кільце люка, земля, верх блоку, дно каналу) тощо.

Для цифрового представлення об'єктів в ГІС АГУ аеропорту використовується комплекс стандартів «База топографічних даних», який дає можливість уніфікувати структуру й склад цифрових моделей місцевості в базах топографічних даних для сумісності геопросторових даних різних виробників. Векторні моделі складають основу баз даних, а «Правила кодування та цифрового опису векторних даних» визначають уніфіковану структуру і склад подання просторових характеристик об'єктів та їх атрибутів у базах даних [18].

Для підтримки реєстрації, ідентифікації та пошуку наборів векторних даних в базах геопросторових даних формується реєстр метаданих для кожного набору даних. Метадані містяться в таблиці реєстру наборів геопросторових даних та описують ідентифікатор набору і його загальні характеристики: дату відповідності місцевості, систему координат, просторове поширення, основне джерело та базовий масштаб, відомості про виробника та якість даних, тощо [19].

Геометрія просторових властивостей об'єктів у наборах геопросторових даних відповідає ієрархічній моделі простих геометричних об'єктів, визначених специфікацією відкритого геопросторового консорціуму OGC [18].

У правилах цифрового опису об'єкти представлені за єдиною структурою та містять ідентифікаційні дані, UML-діаграми моделі просторових властивостей та атрибутів типу об'єкту, структуру таблиці бази даних для атрибутів під набір об'єктів відповідного типу, графічне зображення та опис просторової схеми і топології об'єктів відповідного типу [18].

Відповідно до правил цифрового опису геопросторових об'єктів, вони можуть бути представлені різним типом локалізації – точковим, лінійним, площинним. Між об'єктами мають зберігатись топологічні відносини, що рекомендуються для реалізації просторових операцій у базах даних [18].

Трубопроводи, лінії електропередач, лінії зв'язку в базі геопросторових даних подаються лінійною моделлю, представленою уявною осью лінією, яка задається координатами послідовності точок, через які проходить об'єкт. Перша та остання точки осьової лінії відносяться до класу вузлових точок, в яких забезпечується топологічно коректне з'єднання осьової лінії об'єкту з лінійними, площинними та точковими об'єктами бази геопросторових даних. З точковими об'єктами лінійна модель повинна утворювати вузли, а в місці дотику між двома осьовими лініями повинен також бути вузол [18]. Представлення топологічних відносин лінійних об'єктів у базі геопросторових даних ГІС АГУ аеропорту показано на прикладі ліній електропередач (рис. 1).

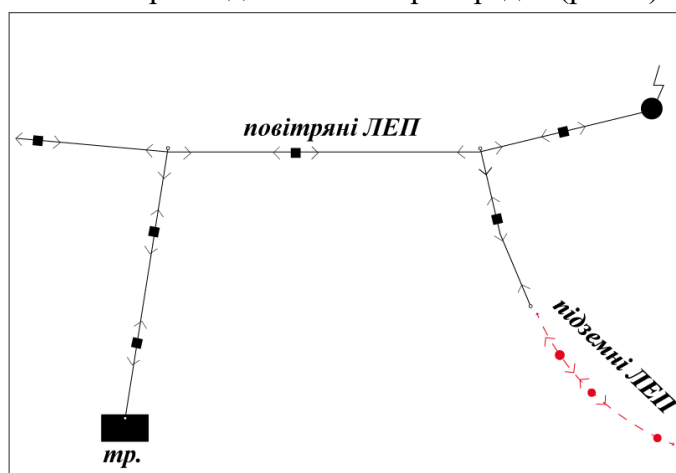


Рис. 1. Вузлові точки в місцях з'єднання повітряних та підземних електричних мереж

Різні споруди, які розташовані на трубопроводах, лініях електропередач та лініях зв'язку, можуть подаватись точковою або площинною моделями залежно від розмірів споруди.

Точкова модель являє собою уявну центральну точку з координатами, які відповідають центру об'єкта на цифровому зображенні або центру умовного знаку на карті (плані). Точкова модель повинна утворювати вузли в місцях дотику з лінійними моделями та лініями контурів площинних моделей бази даних [18]. Представлення топологічних відносин точкових об'єктів у базі геопросторових даних ГІС АГУ аеропорту показано на прикладі об'єктів ліній електропередач (рис. 2, а).

Площинне подання задається координатами точок замкнутого контуру полігону, який повторює контур споруд. Лінія контуру площинної моделі повинна утворювати вузли в місцях дотику з лінійними об'єктами бази геопросторових даних. Площинні моделі по суміжних лініях контурів повинні мати коректну топологію в усіх точках (вузлах) дотикання та суміжних частинах контурів [18]. Представлення топологічних відносин площинних об'єктів у базі геопросторових даних ГІС АГУ аеропорту показано на прикладі споруд, розташованих на лініях електропередач (рис. 2, б).

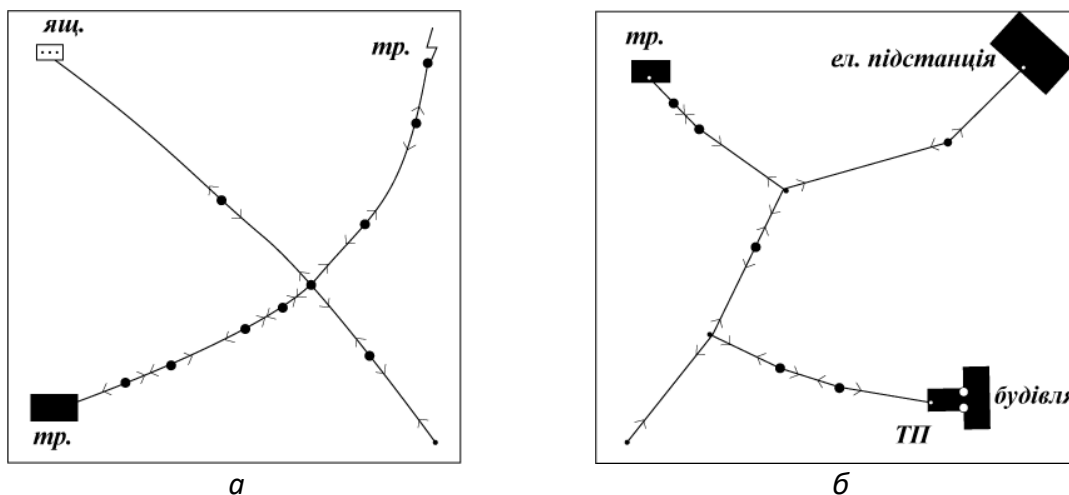


Рис. 2. Вузлові точки ліній електричних мереж з об'єктами: трансформаторами (а– точкова модель), електричними та трансформаторними підстанціями (б – площинна модель)

Для успішного управління експлуатаційними службами різних типів інженерних мереж було розроблено модель геоінформаційної системи, яка надає можливість вимірювання відстаней, периметра, площ, кутів, візуалізації тематичних шарів, аналітичних даних щодо поточного стану, планового ремонту, пошкоджень на трасі або атрибутивних даних щодо комунікацій (кількість прокладок, глибина залягання, матеріал труби тощо) [20].

Розробку підсистеми для управління інженерними мережами на території аеропорту доцільно розпочинати зі складання технічного завдання [6], яке створюється окремим незалежним підприємством за договором або розробляється спеціальною групою у структурі аеропорту. При підготовці технічного завдання визначають три типи автоматизованих робочих місць, а саме:

- спеціаліста(ів) зі створення картографічної інформації;
- користувача(ів) картографічних даних;
- адміністратора картографічної бази даних.

Під час проектування корпоративної підсистеми для управління інженерними мережами на території аеропорту необхідно передбачити, що фахівець з правами доступу до будь-якої інформації може бути також і користувачем ГІС та мати доступ до геоінформації з будь-якої точки мережі. Ця інформація може бути представлена у розробленій структурно-графічній моделі видів інформації об'єктів енергетичного профілю аеропорту (рис. 3).

Основою геоінформаційної системи адміністративно-господарського управління аеропорту є Єдина цифрова топографічна основа території та прилеглих ділянок, яка формується як база геоданих і включає базові та тематичні набори даних просторово орієнтованих об'єктів з атрибутивною інформацією, інструментами пошуку, фільтрації, сортування, масштабування та перегляду геопросторових даних.



Рис. 3. Структурно-графічна модель видів інформації інженерних комунікацій аеропорту

**Висновки.** На основі проведеного дослідження сформовано перелік найменувань об'єктів класифікації, класифікаційних угруповань і їх кодових позначень з класу об'єктів 51300000 «Комунікації» підсистеми управління інженерними комунікаціями ГІС адміністративно-господарського управління аеропорту; описано топологічні відносини лінійних об'єктів в базі геопросторових даних ГІС АГУ аеропорту на прикладі енергетичних споруд та ліній електропередач; розроблено структурно-графічну модель видів інформації інженерних комунікацій аеропорту.

Розроблені основи картографічного забезпечення функціонування ГІС для управління експлуатаційними службами різних типів інженерних мереж аеропорту здійснено з урахуванням специфіки об'єкта дослідження (аеропорту) та можливостей сучасних ГІС, оскільки їх головною функцією є проведення картографічного моделювання на основі геоінформаційного аналізу геопросторових та атрибутивних даних інженерних комунікацій території аеропорту.

Представлені результати дослідження можуть у подальшому бути використані при проектуванні та розробленні програмного забезпечення ГІС, призначеного для створення, наповнення й підтримання в актуальному стані бази даних геопросторових об'єктів на території аеропорту. Структурно-конструктивний розділ зазначеної ГІС логічно повинен включати підсистему ГІС АГУ інженерних мереж аеропорту, від якісної діяльності якої безпосередньо залежить надійність та безперебійність усієї функціональної роботи аеропорту.

#### Список використаних джерел

1. Державна цільова програма розвитку аеропортів на період до 2023 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 126. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/126-2016-%D0%BF#Text>.
2. Рунець Р. В., Черін А. Г. Структура та функції бази даних електронного каталогу топографічних об'єктів. *Вісник геодезії та картографії*. 2010. № 3. С. 31-35.
3. Шипулін В. Д., Патракеєв І. М., Толстохатко В. А. Інформаційно-комунікаційні технології у формуванні міського середовища : монографія / під ред. В. Т. Семенова. Харків : Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, 2014. 213 с.
4. Лященко А. А., Смирнов В. В., Іванченко С. А. Концептуальні моделі геопросторових даних. *Інженерна геодезія*. 2005. Вип. 51. С. 216-226.
5. Бойко О. Л. Геоінформаційні системи аеропортових комплексів на основі ArcGis. *Містобудування та територіальне планування* : наук.-техн. збірник. 2018. Вип. 68. С. 656-665.

6. Полякова Н. О. Картографічне забезпечення функціонування інтегрованої ГІС для управління експлуатацією міських підземних комунікацій (на прикладі Києва) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.12 / НАН України. Ін-т географії. Київ, 2005. 20 с.
7. Черін А. Г. Стандартизація геоінформаційних сервісів. *Вісник геодезії та картографії*. 2009. № 4. С. 34-39.
8. Черін А. Г. Українські та міжнародні стандарти і специфікації побудови сучасних ГІС та геопорталів. URL: <https://softpro.ua/ua/ukrainski-ta-mijnarodni-standarti-i-specifikacii-pobudovi-suchasnih-gis-ta-geoportaliiv>.
9. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Горковчук М. В. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних. *Вісник геодезії та картографії*. 2012. № 4. С. 33-42. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk\\_2012\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk_2012_4_11).
10. Бойко Е. Л., Глущенко В. И. Использование ГИС систем для управления инфраструктурой аэропортовых комплексов. *Информационные технологии и системы 2016* : материалы Международной научной конференции (БГУИР, Минск, Беларусь, 26.10.2016). Минск, 2016. С. 74-75.
11. Бойко О. Л. Модернізація аеропортів з використанням геоінформаційних технологій. *Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн* : матеріали III Міжнародного науково-практичного конгресу (Київ, Україна, 14-16.03.2018). Київ : НАУ, 2018. С. 54-55.
12. Бойко О. Л., Бабій В. В. Підсистема інженерної інфраструктури комплексної ГІС аеропорту. *GEOTERRACE-2018* : Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених (13-15 грудня 2018 р.). Львів, 2018. С. 152-153.
13. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Ясуюкі Окада. Склад і принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації. *Інженерна геодезія*. 2016. Вип. 63. С. 110–121. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ig\\_2016\\_63\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ig_2016_63_13).
14. ДСТУ 8774:2018. Правила моделювання геопросторових даних. [Чинний від 01.07.2019]. URL: [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=78080](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78080).
15. СОУ 742-33739540 0010:200\* КС БТД Загальні вимоги. URL: <https://gki.com.ua/files/page/SOU742-33739540%20Zagalni%20Vymogy.pdf>.
16. Класифікатор топографічної інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. URL: [https://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart\\_norms/25.pdf](https://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart_norms/25.pdf).
17. СОУ 742-33739540 0011:200\*КС БТД Каталог об'єктів і атрибутів. URL: <https://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/6e82cda0-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>.
18. СОУ 742-33739540 0012:200\* КС БТД Правила кодування та цифрового опису векторних даних. URL: <https://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/4d624600-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>.
19. ISO 19115:2003 Geographic information – Metadata. *Географічна інформація – Метадані*. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/26020.html>.
20. Полякова Н. О. Узагальнюючий досвід проектування систем умовних позначень на основі принципів картосеміотики. *Часопис картографії* : збірник наукових праць. 2016. Вип. 3(15). Ч. 2. С. 35-44.

## References

1. *Derzhavna tsilova prohrama rozvytku aeroportiv na period do 2023 roku [State target program for the development of airports for the period up to 2023]*, Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 126 (February 24, 2016). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/126-2016-%D0%BF#Tex>.
2. Runets, R. V., Cherin A. H. (2010). *Struktura ta funktsiyi bazy danykh elektronnoho katalogu topografichnykh ob'ektiv [The structure and functions of the database of the electronic catalog of topographic objects]*. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (3), pp. 31-35.
3. Shypulin V. D., Patrakeiev I. M., Tolstokhatko V. A., Semenov, V. T. (Ed.). (2014). *Informatsiino-komunikatsiyini tekhnolohii u formuvanni miskoho seredovyshcha [Information and communication technologies in the formation of the urban environment]*. Kharkiv. nats. un-t misk. hospva im. O. M. Beketova.
4. Lyashchenko, A. A., Smirnov, V. V., Ivanchenko, S. A. (2005). *Kontseptualni modeli heoprostorovykh danykh [Conceptual models of geospatial data]*. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 51, pp. 216-226.

5. Boiko, O. L. (2018). Heoinformatsiini systemy aeroportovoykh kompleksiv na osnovi ArcGis [Geographic information systems of airport complexes based on ArcGis]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: Nauk.-tehn. zbirnyk – Urban planning and spatial planning: scientific and technical. Collection*, 68, pp. 656-665.
6. Polyakova, N. O. (2005). *Kartohrafichne zabezpechennya funktsionuvannya integrovanoi HIS dlya upravlinnya ekspluatatsiyeyu mis'kykh pidzemnykh komunikatsiy (na prykladi Kyieva) [Cartographic support for the functioning of integrated GIS for managing the operation of urban underground communications (on the example of Kiev)]*. (Abstract PhD dissertation, NAN Ukraine. In-t heohrafi).
7. Cherin, A. H. (2009). Standartyzatsiya heoinformatsiynykh servisiv [Standardization of geoinformation services]. *Visnyk heodezii ta kartohrafi – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (4), pp. 34-39.
8. Cherin, A. H. (n.d.). Ukrayinski ta mizhnarodni standarty i spetsyfikatsii pobudovy suchasnykh HIS ta heoportativ [Ukrainian and international standards and specifications for the construction of modern GIS and geoportals]. <https://softpro.ua/ua/ukraiynski-ta-mijnarodni-standarti-i-specifikaciii-pobudovi-suchasni-gis-ta-geoportativ>.
9. Karpynskyi, Yu. O., Liashchenko A. A., Horkovchuk M. V. (2012). Kontseptualni zasady otsynuvannya ta zabezpechennia yakosti heoprosorovykh danykh [Conceptual principles of evaluation and quality assurance of geospatial data]. *Visnyk heodezii ta kartohrafi – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (4), pp. 33-42. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk\\_2012\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk_2012_4_11).
10. Boiko, E. L., Hlushchenko, V. Y. (2016). Ipolzovanie GIS system dlia upravleniia infrastrukturoi aeroportovoykh kompleksov [Use of GIS systems for infrastructure management of airport complexes]. *Materyaly mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Informatsionnye tekhnologii i sistemy 2016» – Information Technologies and Systems 2016: Proceedings of the International Scientific Conference* (pp. 74-75). BHUYR.
11. Boiko, O. L. (2018). Modernizatsiya aeroportiv z vykorystannyam heoinformatsiynykh tekhnolohii [Modernization of airports using geographic information technologies]. *Materialy III Mizhnarodnoho naukovo-praktychnoho konhresu «Miske seredovyshe – XXI st. Arkhitektura. Budivnytstvo. Dizayn» – Urban environment – XXI century. Architecture. Construction. Design: materials of the III International Scientific and Practical Congress* (pp. 54-55). NAU.
12. Boiko, O. L., Babiy, V. V. (2018). Pidsystema inzhenernoi infrastruktury kompleksnoi HIS aeroportu [Subsystem of engineering infrastructure of integrated GIS of the airport]. *Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya molodykh vchenykh «GEOTERRACE-2018» – GEOTERRACE-2018: International Scientific and Technical Conference of Young Scientists* (pp. 152-153).
13. Karpynskyi, Yu. O., Liashchenko, A. A., Yasuyuki Okada (2016). Sklad y pryntsyypal'noe razvytye natsyonal'noho professional'noho standarta s heohraficheskoy ynformatsiyey [Composition and principles of development of the national profile of standards on geographical information]. *Inzhenerna heodeziya – Engineering geodesy*, 63, pp. 110-121. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ig\\_2016\\_63\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ig_2016_63_13).
14. *Pravyla modelyuvannya heoprosorovykh danykh [Rules for modeling geospatial dat]* (DSTU 8774:2018). [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=78080](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78080).
15. SOU 742-33739540 0010:200\* KS BTD Zahalni vymohy [SOU 742-33739540 0010: 200 \* KS BTC General requirements]. <https://gki.com.ua/files/page/SOU742-33739540%20Zagalni%20Vymogy.pdf>.
16. Klasyfikator topohrafichnoyi informatsiyi, yaka vidobrazhayet'sya na topohrafichnykh planakh masshtabiv 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 [Classifier of topographic information displayed on topographic plans at scales of 1: 5,000, 1: 2,000, 1: 1,000, 1: 500]. [https://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart\\_norms/25.pdf](https://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart_norms/25.pdf).
17. SOU 742-33739540 0011:200\*KS BTD Kataloh ob'yektiv i atrybutiv [SOU 742-33739540 0011: 200\* KS BTC Catalog of objects and attributes]. <https://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/6e82cda0-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>.
18. SOU 742-33739540 0012:200\* KS BTD Pravyla koduvannya ta tsyfrovoho opysu vektornykh danykh [SOU 742-33739540 0012: 200 \* CS BTC Rules of coding and digital description of vector data]. <https://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/4d624600-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>.
19. ISO 19115:2003 Heohrafichna informatsiia – Metadata [ISO 19115: 2003 Geographic information - Metadata]. <https://www.iso.org/ru/standard/26020.html>.



20. Poliakov, N. O. (2016). Uzahalniuiuchy dosvid proektuvannya system umovnykh poznachen na osnovi pryntsyviv kartosemiotyky [Generalizing experience in designing systems of symbols on the basis of the principles of cartosemiotics]. Chasopys kartohrafiyi Journal of Cartography, 3(15)(2), pp. 35-44.

UDC 528.94:004

*Olena Boiko, Nataliya Polyakova*

## FORMATION OF SETS OF GEOSPATIAL DATA FOR GIS MANAGEMENT OF ENGINEERING COMMUNICATIONS OF AIRPORT

*In accordance with the State Target Program for Airport Development for the period up to 2023, in order to increase the efficiency of state property management and meet the needs of the state in ensuring the stable development of the aviation industry, a number of theoretical studies and practical stages of creating a subsystem for managing engineering networks. According to the tasks and measures of this program, the development of a subsystem for the management of engineering networks at the airport is a relevant and promising area.*

*Engineering networks to ensure the smooth operation of the airport complex may include units that perform the functions of operation of utility networks of different types of planning of current and future development. This is a complex territorial and technological complex, for the optimal functioning of which requires no less complex management information system, which in turn requires laying already at the stages of developing capabilities to perform two communicative functions: the first one - to unite all airport subsystems, the second one - to coordinate relations with other airport systems, management and its divisions.*

*The paper analyzes and summarizes publications on methods of geospatial data generation, introduction of geoinformation technologies for administrative and economic management of airports, as well as publications on information systems of branched areas of public utilities as a system of economic work of the airport, in particular, water supply and sewerage, energy and heat supply, outdoor lighting of the airport and runways, sanitation, etc.*

*Analysis of recent research and publications showed that the prospects for the introduction of geographic information technology for administrative and economic asset management of Ukrainian airports need further research, as these issues are very important and relevant, given the rapid growth of digital society, environment and infrastructure.*

*The main purpose of the study is to develop models for the formation of geospatial data subsystem management utilities airport, their processing and visualization, application of geographic mapping systems and the formation of conceptual approaches to the creation, operation and application of geographic information systems and technologies to solve administrative problems.*

*The structure of the subsystem was determined and the basic sets of geospatial data of the airport were established, which include a single cartographic basis for the location of profile sets of engineering infrastructure. The formation of geospatial data sets is in accordance with the international standards ISO 19100 «Geographic Information / Geomatics», which provides the use of data in various software, access to open data, services and programs that can be easily integrated without the need for refinement and based on common standards and concepts of modern information technologies.*

*Using the classifier of topographic information of scales 1:500 - 1:5 000, the list of names of objects of classification of subsystem of management of engineering communications of GIS, classification groups and their code designations from a class of objects 51300000 «Communications» is formed.*

*Digital representation of objects is performed in accordance with the set of standards «Topographic Database», which allows to unify the structure and composition of digital terrain models in topographic databases for compatibility of geospatial data of different manufacturers.*

*On the basis of the conducted research, the theoretical bases of cartographic maintenance of functioning of GIS for successful management of operational services of various types of engineering networks of a complex of the airport are developed. This is done taking into account the specifics of the object of study (airport) and the capabilities of modern GIS, the main function of which is to conduct cartographic modeling based on geoinformation analysis of geospatial and attributive data of engineering communications of an airport.*

**Keywords:** *geographic information systems (GIS), engineering communications, geospatial data, airport, geospatial data infrastructure, topographic information classifier, topological relations.*

*Fig.: 3. References:19.*

**Бойко Олена Леонідівна** – старший викладач кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Національний авіаційний університет (просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна).

**Boiko Olena** – Senior Lecturer at the Department of Aerospace Geodesy and Land Management, National Aviation University (1 Lubomir Husar Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** boyko\_lena@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8654-9392>

**Полякова Наталія Олександрівна** – кандидат географічних наук, доцент кафедри геодезії та картографії географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (просп. Академіка Глушкова, 2а, м. Київ 03127, Україна).

**Polyakova Nataliya** – PhD in Geographical Sciences, Associate Professor of the Geodesy and Cartography Department of the Geography Faculty of Kyiv National Taras Shevchenko University (2a Academica Hlushkova Av., 03127 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** polyakova\_nata@ukr.net

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-6775-6644>

УДК 528.2/5+332.2+37.013.31

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-198-207

Руслан Беспалько, Іван Казімір, Тарас Гуцул

**ПРОБЛЕМНІ МОМЕНТИ ПІДГОТОВКИ ТА СТАНОВЛЕННЯ ФАХІВЦІВ  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 193 «ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ»**

*Освіта у сфері землеустрою набирає популярності. Вважається, що в середньому підготовка фахівця займає 15 років. Протягом працездатного віку він змушений повторно навчатися від 4-8 разів (у тому числі перекваліфікації). За останні два десятиріччя відбувся розрив зв'язків циклу «наука – освіта – виробництво». Невідповідність ринку освітніх послуг та ринку праці призводить до того, що підготовлені спеціалісти стають непотрібними або виконують малокваліфіковані роботи.*

*Розглянуто процес формування спеціаліста в трьох логічно пов'язаних аспектах: освітньому, науковому та виробничому. Наведено проблемні моменти при підготовці та становленні фахівців за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій». Запропоновано варіанти їх вирішення. Стаття є оглядовою.*

**Ключові слова:** геодезія; ГІС; землеустрій; освіта; наука; навчальний процес.

Табл.: 1. Бібл.: 21.

**Актуальність теми дослідження.** Про стратегічне значення спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» свідчить її неодноразова наявність у переліку спеціальностей, яким надається особлива підтримка держави при підготовці у сфері фахової передвищої освіти. Відповідно, ключове завдання закладів вищої освіти, які здійснюють підготовку таких фахівців, полягає в задоволенні потреб суб'єктів землеустрою, топографо-геодезичної та картографічної діяльності спеціалістами кваліфікації, що відповідає та навіть випереджає поточний рівень розвитку суспільства.

Дослідження проведені професором кафедри Пенсильванського університету Робертом Земські спільно з економістом Лайзою Лінч (університет Тафта) та професором із Уортона Пітером Капелі (проаналізовано понад 3100 робочих місць) показали, що при 10 % підвищенні рівня освіти сумарна продуктивність зростає на 8,6 %. Для порівняння, при такому ж рівні збільшення основних фондів продуктивність праці зростає на 3,4 %. Інакше кажучи, граничний прибуток від інвестицій у людський капітал майже втричі перевищує капіталовкладення в техніку. Не дарма популярності набула фраза «Кадри вирішують усе».

Саме освіта за спеціальністю «Геодезія та землеустрій» повинна бути спрямована на формування фахівців для суспільства, орієнтованого на сталий розвиток, вирішення проблем збалансованого розвитку земельних ресурсів.

**Постановка проблеми.** Міністерство освіти і науки України декларувало, що розвиток суспільства повинен реалізовуватися через трикутник: освіта – наука – виробництво. Аналогічні думки висловлювали й інші представники нашої еліти. Проте в Україні немає більш-менш систематично розробленої та прийнятої науковою громадськістю концепції взаємодії основних частин цього трикутника [1].

Тристороння інтеграція науки, освіти та виробництва як ключовий напрям розвитку економіки дасть змогу одержати додатковий економічний ефект безпосередньо у виробництві від запровадження досягнень науки і передового досвіду й ефективно розв'язувати завдання комплексного своєчасного забезпечення інших інноваційних процесів [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання підготовки фахівців у сфері геодезії, картографії та землеустрою гостро постало одночасно з проголошенням незалежності України та появою приватної форми власності. Першочергово їх необхідність виникла ще на етапі проведення земельної реформи [3]. Пріоритетність цієї сфери настільки колосальна, що стаття 1 Конституції України закріпила «землю – основним національним багатством».

Відповідно до планів реформування вищої освіти в Україні в 1992 р. спеціальності об'єднано в напрями. Визначено напрям «Геодезія, картографія та землевпорядкування». Землевпорядна освіта надавалася численними закладами різного спрямування, що приз-

водило до втрати студентами змоги отримувати фундаментальні навички із системної організації земель, їх використання та охорони, особливо земель сільськогосподарського призначення [4]. Пропозиції щодо поліпшення якості підготовки кадрів землевпорядного профілю надавалися співробітниками Чернівецького національного університету і раніше [5], і реалізація деяких навіть відбулася.

Станом на 2013 р. існувало 36 закладів вищої освіти з підготовки бакалаврів, спеціалістів та магістрів напрямку «Геодезія, картографія та землеустрій». Десятки ЗВО мали спеціалізовані кафедри, де дисципліни циклу професійної та практичної підготовки читали викладачі без наукових ступенів і вчених звань. На дуже низькому рівні здебільшого залишалася проблема кадрового складу кафедр, на яких відсутні доктори наук, професори, мало доцентів [6].

У 2016 р. налічувалося вже 44 заклади вищої освіти, і відбувся перехід до однієї спеціальності «Геодезія та землеустрій». Були пропозиції щодо підготовки бакалаврів терміном навчання три роки та магістрів 2 роки. При цьому підготовка за освітньо-кваліфікаційним рівнем «спеціаліста» з 01.09.2017 р. припинилася [7].

З плином часу питання ще більше загострилися і для освітнього, і для виробничого напрямку [8]. Нині підготовку за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» здійснюється в 40 закладах вищої освіти, з яких 37 – державні, 3 – приватні.

Особливості підготовки фахівців геодезії та землеустрою в контексті європейської інтеграції з деталізацією організації навчального процесу та комплексним аналізом освітньої програми спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» на землевпорядних факультетах наведено в [9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Питанням змісту землевпорядної та геодезичної освіти в Україні присвячено праці вітчизняних науковців, зокрема: В. Борового, Й. Дороша, І. Ковальчука, А. Мартина, А. Третяка, Т. Євсюкова. Проте практично відсутні праці в контексті «освіта – наука – виробництво».

**Мета статті** полягає у висвітленні проблемних моментів підготовки та становлення фахівців за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» у розрізі: освітнього, наукового та виробничого компонентів.

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до поставленої мети розглянемо послідовно кожен з компонентів.

*Освіта.* Поняття вищої землевпорядної та вищої геодезичної освіти на законодавчому рівні містяться у ст. 66 Закону України «Про землеустрій» [10] та ст. 5<sup>1</sup> Закону України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» [11] відповідно. Деталізація цих понять із переліком освітньо-кваліфікаційних рівнів за спеціальностями та кваліфікаціями міститься в п. 3.2. та 3.3 Рекомендацій стосовно переліку та змісту документів, що подаються особами, зацікавленими у складанні кваліфікаційного іспиту [12].

Вступ до навчального закладу на бюджетну форму за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» в 2021 навчальному році розпочинається з подачі сертифікатів Українського центру оцінювання якості освіти за трьома предметами: 1) українська мова і література; 2) математика; 3) географія або історія України. Для контрактної форми навчання: 1) українська мова і література; 2) історія України; 3) іноземна мова або географія.

Слід зауважити, що щороку відбувається зміна переліку цих предметів. Важко не погодитися з думкою В. Борового про необхідність запровадження профільним предметом саме математики, адже геодезію і географію об'єднує лише початок кожного із цих слів. Крім того, 80-90 % дисциплін професійної підготовки тяжіють саме до математичного напрямку [6]. Навіть присудження наукових ступенів науково-педагогічним працівникам за профілем цієї спеціальності, які забезпечують навчальний процес, завжди відбувалося за галуззю технічних, а не природничих наук.

Крім того, відмінний набір за різними формами навчання набір предметів ще на етапі вступу порушує доктрину рівності доступу до відповідних ступенів вищої освіти.

Спеціалізація закладів вищої освіти, до яких вступають абітурієнти, суттєво відрізняється. Так, зокрема: 13 університетів аграрного напрямку, 2 політехніки; 4 університети будівництва та архітектури, 2 авіаційних університети, 5 технічних університетів, 7 національних університетів, 2 університети транспорту, 1 університет водного господарства та природокористування, 1 економічний університет [9]. Такий різноманітний розподіл зумовлює різний склад освітніх програм.

Навчальна програма підготовки фахівців із геодезії та землеустрою завжди вирізнялася серед інженерних спеціальностей своєю різноплановістю. Адже, крім власне опанування точної геодезичної науки та мистецтва складання карт, майбутні бакалаври та магістри повинні стати фахівцями ринку нерухомості: розбиратися у просторовому плануванні, вміти складати земельпорядну документацію, за якою формуються земельні ділянки та обмеження у землекористуванні. Треба розбиратися в сучасних ІТ технологіях та впевнено працювати з геоінформаційними системами. Потрібно стати оцінювачем і вміти оцінювати нерухомість і природні ресурси [13].

Протягом усього періоду підготовки фахівців напрямку «геодезії, картографії та землепорядкування», а пізніше і спеціальності «геодезія та землеустрій» існували різні співвідношення між часткою читання дисциплін геодезичного і земельпорядкового напрямків. Кожен навчальний заклад виходив із наявних у нього кадрів.

Крім того, за підрахунками фахівців, на сьогодні в Україні працює близько 30 % викладачів, які обізнані в земельпорядкуванні минулих років, а у проблемах сучасного земельпорядкування не дуже орієнтуються. До того ж майже 60 % викладачів не працювали на виробництві [14].

Таким чином, крім кадрової проблеми, підходимо до основної освітньої проблеми спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» – відсутності затвердженого Міністерством освіти і науки України стандарту вищої освіти освітніх ступенів «бакалавр» та «магістр».

Сучасне лавиноподібне впровадження цифрових технологій у сферу геодезії, топографії та картографії має невідворотний процес, оскільки в його основі – спрощення доступу до величезного інформаційного середовища без спеціальних знань.

На думку професора Майкла Ф. Гайдчайлда, сучасні геоінформаційні системи є «технологією 13 %», адже середньостатистичний американець витрачає лише 13 % часу на відкритому повітрі, де працює з GPS. Президентом міжнародного лідера в постачанні програмного забезпечення ГІС, геоданих, вебдодатків та управлінських рішень на основі ГІС, компанії ESRI Д. Дангермоном відзначено п'ять трендів ГІС, що змінюють світ. Один із них полягає в тому, що все – від смартфонів до соціальних медіапристроїв – буде використовуватися для передачі даних у ГІС, де вони аналізуватимуться, візуалізуватимуться та реінтегруватимуться в онлайн-додатки для використання фахівцями або звичайними громадянами. Уже найближчим часом очікуються: розширення просторового аналізу; багатоагентні системи; моделі просторової оптимізації; системні динамічні моделі; створення віртуальних світів; нові методи візуалізації [15].

Згідно з даними дослідницької компанії Daratech обсяги реалізації ГІС-продуктів у 2010 р. виростили на 10,3 %, і з того часу стабільно зростають у середньому на 8,3 %. Упродовж останніх восьми років зростання попиту на геодані становило 15,5 % щорічно, і це незважаючи на світову фінансову кризу. Тому, в майбутньому будуть не лише розширюватися сфери застосування цих програмних продуктів, але й зростатимуть обсяги згенерованої геопросторової інформації.

Тому під час затвердження державного стандарту вищої освіти за спеціальністю 193 «геодезія та землеустрій» вкрай необхідно врахувати існуючі тенденції та перспективні напрямки відповідно до очевидних шляхів розвитку галузі.

*Наука.* Після одержання другого магістерського рівня вищої освіти, випускники можуть продовжувати навчальний процес за третім освітньо-науковим рівнем – доктора філософії. Станом на 2021 р. спеціальність 193 за третім освітньо-науковим рівнем доступна можна здобути в 5 закладах вищої освіти:

- Волинський національний університет Лесі Українки;
- Київський національний університет будівництва і архітектури;
- Львівський національний аграрний університет;
- Національний університет «Львівська політехніка»;
- Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова.

Після завершення аспірантури й у разі бажання продовжити виробничу діяльність фахівця з першим науковим ступенем очікує перша неприємна несподіванка – йому буде відмовлено у складанні кваліфікаційного іспиту через відсутність стажу роботи за фахом. При цьому, зауважимо, що нормативний строк в 4 роки в аспірантурі за умови стаціонарної форми зараховуються до наукового стажу. Навіть якщо аспірант і залучався до навчального процесу як асистент за сумісництвом і має науково-педагогічний стаж, це також не змінить ситуацію.

Водночас згідно з [12] професійною топографо-геодезичною і картографічною діяльністю, а також діяльністю у сфері землеустрою можуть займатися громадяни, які мають стаж не менше одного року, зокрема за посадою молодшого наукового співробітника.

Ознайомившись із типовою посадовою інструкцією молодшого наукового співробітника, звертаємо увагу на те, що кваліфікаційною вимогою до її зайняття є повна вища освіта відповідного напрямку та стаж роботи за професією інженера – не менше 2 років. Постає питання унормування вимоги до стажу роботи для осіб, які завершили аспірантуру раніше за спеціальностями 05.24.01; 05.24.02; 05.24.04 та спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» [12].

Другий науковий ступінь, що здобувається особою на науковому рівні вищої освіти на основі ступеня доктора філософії, передбачає набуття найвищих компетентностей у галузі розроблення і впровадження методології дослідницької роботи, проведення оригінальних досліджень, отримання наукових результатів, які забезпечують вирішення важливої теоретичної або прикладної проблеми, мають загальнонаціональне або світове значення та опубліковані в наукових виданнях.

Критично важливою для забезпечення започаткування та провадження освітньої діяльності у сфері вищої освіти та післядипломної освіти для осіб з вищою освітою на освітнього ступеня магістра та освітньо-наукового ступеня доктора філософії/доктора мистецтв є наявність одного та не менше двох відповідно докторів наук та/або професорів за спеціальністю [16].

Ступінь доктора наук присуджується спеціалізованою вченою радою закладу вищої освіти чи наукової установи за результатами публічного захисту наукових досягнень у вигляді дисертації або опублікованої монографії, або за сукупністю статей, опублікованих у вітчизняних і міжнародних рецензованих фахових виданнях, перелік яких затверджується центральним органом виконавчої влади у сфері освіти і науки.

Постійних спеціалізованих вчених рад у сфері «геодезії та землеустрою» в Україні всього – 2! Це, – Д 35.052.12 на базі Національного університету «Львівська політехніка» (наказ МОН № 387 від 04.03.2020 р.) та Д 26.056.09 на базі Київського національного університету будівництва і архітектури (наказ МОН № 358 від 15.03.2019 р.).

З історичного огляду [17] стає відомо, що у складні для науки й держави роки спеціалізованою радою Д 04.06.14 у Державному університеті «Львівська політехніка» за двома спеціальностями 05.24.01 – геодезія та 05.24.02 – аерокосмічні зйомки, фотограмметрія та фототопографія за три роки діяльності (з 1995 по 1997 рр.) було проведено захист лише 1 докторської та 1 кандидатської дисертації (таблиця).

Таблиця. Стан підготовки кадрів вищої кваліфікації у сфері геодезії та землеустрою

Шифр Рік	НУ «Львівська політехніка»						КНУБА						Всього	
	докторські			кандидатські			докторські			кандидатські			К.Т.Н	Д.Т.Н
	05.24.01	05.24.02	05.24.04	05.24.01	05.24.02	05.24.04	05.24.01	05.24.02	05.24.04	05.24.01	05.24.02	05.24.04		
1994							1			3			3	1
1995		1					1			3			3	2
1996				1			1						1	1
1997							1						0	1
1998										1			1	0
1999	1	1		1			1			1			2	3
2000	2			1	2					1			4	2
2001										4		1	5	0
2002	1			5	1				1	1		2	9	2
2003	1	1		1			2			4		1	6	4
2004	1			2	3	3			2	1			9	3
2005	1			2		2						1	5	1
2006				3	2					3		3	11	0
2007		1		1					1				1	2
2008				1						3		2	6	0
2009	1			2		2				2			6	1
2010				2		1				1		3	7	0
2011	1			3		1				4			8	1
2012			1	7		2	2			4		1	14	3
2013				1		5				6		5	17	0
2014													0	0
2015				7		1							8	0
2016	1			7						2			9	1
2017				2					2			2	4	2
2018						1				3		1	5	0
2019	2		1	6						1			7	3
2020				2					1	1			3	1

Примітка: на підставі наказу ВАК № 377 від 23.06.2005 р. спеціальність 05.24.02 виключено із Переліку спеціальностей та доповнено до спеціальності 05.24.01.

Після 1997 р. до існуючих додалася спеціальність 05.24.04 – кадастр та моніторинг землі. За трирічний період проведено захисти 4 докторських та 4 кандидатських дисертацій.

На базі КНУБА, існувала спеціалізована рада Д 01.18.02, яка працювала з січня 1994 по грудень 1998 рр. і розглядала дисертації за двома спеціальностями 05.24.01 – геодезія та 18.00.04 – містобудування, районне планування, ландшафтна архітектура та планування сільськогосподарських населених пунктів. За цей період 4 особи отримали ступінь доктора наук по геодезії та 6 – кандидата наук [18].

Переформатування вченої ради у Д 25.056.09 відбулося в грудні 1998 р., за новими спеціальностями: 05.24.01 – геодезія, 05.23.20 – містобудування та територіальне планування і 05.24.04 – кадастр та моніторинг земель [19, 20].

У 2015 р. відкрито спеціалізовану вчену раду К 64.089.04 для захисту кандидатських дисертацій за спеціальністю 05.24.04 в Харківському національному університеті міського господарства ім. О. М. Бекетова, а в 2016 р. відбувся перший захист та присвоєно науковий ступінь к.т.н. за цією спеціальністю.

*Виробництво.* Прийняття на роботу всіх працівників оформлюється шляхом укладання з ними трудового договору. Конкретний зміст письмового трудового договору, як окремого документа, чітко не визначений. При цьому, для певної посади чи професії її кваліфікаційною характеристикою передбачено кваліфікаційне категоріювання згідно з Довідником кваліфікаційних характеристик професій працівників. Диплом – офіційний документ про закінчення навчального закладу та присвоєння відповідної кваліфікації, наукового ступеня або звання.

Постає потреба у визначенні нових спеціальностей і спеціалізацій та внесенні їх до класифікатора професій ДК 003:2010 [21].

Раніше, в дипломах магістра містився запис професійні права, який передбачав викладацьку роботу, роботу за фахом та наукову роботу.

В освітніх програмах міститься графа придатність до працевлаштування, а в самих дипломах – професійні права. Проте в різних навчальних закладах записи в ці обидва елементи суттєво відрізняються, що в подальшому може створити труднощі.

Кваліфікаційна комісія досі не передбачила в [12] вичерпний перелік посад, хоча класифікатор це дозволяє. Натомість у п. 4.2 та 4.3 міститься формулювання тощо, яке дозволяє вносити елемент суб'єктивізму в прийняття рішень про допущення зацікавлених осіб до кваліфікаційного іспиту.

Наявність в Переліку питань на перевірку знань складання іспитів сертифікованих інженерів геодезистів/землевпорядників дискусійних та з неоднозначними відповідями суттєво зменшує об'єктивність і значущість процедури сертифікації в очах професійної спільноти фахівців.

Вважаємо, що наукова спільнота повинна долучатися до формулювання відповідей на пропонуваній Перелік, а Держгеокадастр, у свою чергу, затверджувати їх та оприлюднювати на офіційному сайті. Таким чином, зросте рівень підготовки та кваліфікації майбутніх сертифікованих інженерів геодезистів/землевпорядників, що позитивно в подальшому позначиться на якості здійснюваних ними робіт.

Через кожні 4 роки у сертифікованого фахівця постає питання щодо підвищення кваліфікації, яке є передумовою продовження строку дії кваліфікаційного сертифіката. Звичайно, будь-який фахівець буде обирати навчальний заклад, максимально наблизений до зони провадження його професійної діяльності.

Частиною 6 та частиною 8 статті 66 Закону України «Про землеустрій» «підвищення кваліфікації сертифікованих інженерів землевпорядників здійснюється на базі факультетів землевпорядного профілю у вищих навчальних закладах відповідного рівня акредитації, які уклали договір з центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин».

Відповідно до статті 51 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність підвищення кваліфікації сертифікованими інженерами-геодезистами здійснюється на базі факультетів геодезичного або землевпорядного профілю у вищих навчальних закладах відповідного рівня акредитації, які уклали договір із центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин».

Проте, сертифікований інженер геодезист/землевпорядник звернувши увагу на чинний перелік вищих навчальних закладів, які уклали договори з Держгеокадастром може помітити, що більшість із них не мають в своєму складі факультетів землевпорядного профілю.

Тому, зважаючи на частину 2 статті 66 Закону України «Про землеустрій», а також на особливості проведення, які виключають співбесіду та забезпечують трансляцію тестування в онлайн-режимі процесу іспиту, а також з метою уникнення дискримінаційних умов провадження освітньої діяльності, варто розширити мережу навчальних закладів для підвищення кваліфікації, виходячи з наявності в них ліцензій та сертифікатів про акредитацію за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» та підготовкою фахівців за першим та другими рівнями вищої освіти ступенів бакалавр та магістр.

**Висновки.** В освітній сфері доцільно встановити однаковий та незмінний протягом років перелік конкурсних предметів для вступників на навчання на бюджетну форму та за кошти фізичних та/або юридичних осіб (на умовах договору). Особливої уваги потребує затвердження державного стандарту вищої освіти, який б запровадив спільні для всіх освітніх програм у межах рівнів освіти та спеціальностей вимоги, зокрема нормативного змісту освіти та обсягу кредитів ЄКТС.

У науковій сфері варто забезпечити реалізацію професійних прав випускників аспірантури за спеціальностями 05.24.01, 05.24.02, 05.24.04 та 193 і визнати Кваліфікаційною комісією Держгеокадастру їхній науковий стаж відповідним виробничому додавши відповідні зміни в Рекомендації стосовно переліку та змісту документів, що подаються особами зацікавленими у складанні кваліфікаційного іспиту.

Динаміка підготовки кадрів вищої кваліфікації демонструє вкрай низький темп та недостатню забезпеченість докторами з огляду на кількість суб'єктів освітньої галузі, а також виходячи з комплексу фундаментальних та прикладних задач галузі. Зважаючи на це, для провадження освітньої діяльності на належному рівні, а також з метою уникнення дефіциту кадрів вищої кваліфікації в майбутньому рекомендується збільшити обсяги їх підготовки за рахунок коштів державного бюджету.

У виробничій сфері варто визначити нові спеціальності та спеціалізації та внести їх до ДК 003:2010. Кваліфікаційній комісії доцільно сформулювати вичерпний перелік посад, стаж за якими визнається професійною діяльністю у сфері землеустрою та професійною топографо-геодезичною і картографічною діяльністю. Крім того, потребує перегляду і Перелік питань до кваліфікаційного іспиту, із обов'язковим виключенням дискусійних. Розробка науковою спільною і подальше затвердження Держгеокадастром відповідей на пропонування Перелік сприятиме зростанню рівня підготовки та кваліфікації майбутніх сертифікованих інженерів/геодезистів, що в подальшому позначиться на якості робіт. В умовах обмеженої мобільності, а також з метою майбутньої зручності та доступності потребує розширення і мережа закладів вищої освіти, які надають послуги з підвищення кваліфікації.

#### Список використаних джерел

1. Лутай В. Сучасні філософські засади реформування української системи «освіта–наука–виробництво». *Філософія освіти*. 2008. № 7. С. 22–34.
2. Мельник Л. Ю. Інтеграція освіти, науки та виробництва в економіці аграрної сфери. *Економіка АПК*. 2017. № 11. С. 67–73.
3. Козьмук П. Ф. Питання кадрового забезпечення здійснення земельної реформи. *Землевпорядкування*. 2001. № 2. С. 16–19.
4. Флекей З. Яким бути інженеру-землевпоряднику з освітнього напрямку «Геодезія, картографія та землеустрій». *Землевпорядний вісник*. 2009. № 2. С. 10–14.
5. Козьмук П. Ф., Романко Р. М. Як поліпшити якість підготовки кадрів землевпорядного профілю. *Землевпорядний вісник*. 2009. № 2. С. 15–17.



6. Боровий В. Проблеми та пропозиції до якості підготовки фахівців напряму «Геодезія, картографія та землеустрій». *Землевпорядний вісник*. 2013. № 7. С. 7–11.
7. Боровий В. Введена нова спеціальність «Геодезія та землеустрій». Проблеми зміни та пропозиції їх раціонального вирішення. *Землевпорядний вісник*. 2016. № 4. С. 17–19.
8. Лазарева О. В. Питання кадрового забезпечення в системі управління земельними ресурсами. *Менеджмент та підприємництво: тренди розвитку*. 2018. № 1. С. 19–28.
9. Русіна Н. Г. Особливості підготовки майбутніх фахівців геодезії та землеустрою в закладах вищої освіти України. *Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова. Серія 5 : Педагогічні науки : реалії та перспективи*. 2019. № 67. С. 242–246.
10. Про землеустрій : Закон України від 22 травня 2003 р. № 858-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 36. С. 282.
11. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність : Закон України від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV. *Відомості Верховної Ради України*. 1999. № 5-6. Ст. 46.
12. Рекомендації стосовно переліку та змісту документів, що подаються особами, зацікавленими у складанні кваліфікаційного іспиту / Держгеокадастр. 2013. URL: <https://land.gov.ua/info/rekomendatsii-stosovno-pereliku-ta-zmistu-dokumentiv-shcho-podaiutsia-osobamy-zatsikavlenymu-u-skladanni-kvalifikatsiinoho-ispytu/>.
13. Євсюков Т. О. До вишу за інженерною освітою – це перспективно. *Землевпорядний вісник*. 2019. № 4. С. 20–23.
14. Богіра М., Ступень М. Проблеми у землекористуванні, зумовлені проведенням земельної реформи в Україні та шляхи їх подолання. *Землевпорядний вісник*. 2012. № 3. С. 16–18.
15. Федіна А. А., Хайнус Д. Д. Геодезія та землеустрій: стан та перспективи розвитку. *Перспективи та напрями збалансованого розвитку територій: збірник тез I Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції*. 2019. С. 56–58.
16. Про затвердження ліцензійних умов провадження освітньої діяльності : Постанова Кабінету Міністрів України № 1187 від 30 грудня 2015 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-%D0%BF>.
17. Зазуляк П. М., Савчук С. Г. Спеціалізована вчена рада: вісім років роботи. URL: [http://igdg.lp.edu.ua/?page\\_id=582&lang=uk](http://igdg.lp.edu.ua/?page_id=582&lang=uk).
18. Ісаєв О. П. Підсумок роботи спеціалізованої вченої ради Д 01.18.02. *Інженерна геодезія*. 1998. Вип. 39. С. 76–81.
19. Дьомін М. М., Ісаєв О. П., Погорельцев В. М., Чередніченко П. П. Спеціалізованій вченій раді Д 26.056.09 – 15 років. *Містобудування та територіальне планування*. 2013. Вип. 50. С. 5–10.
20. Ісаєв О. П., Чередніченко П. П. Аналіз дисертаційних робіт, захищених в спеціалізованій вченій раді Д 26.056.09 у 2012–2015 роках. *Містобудування та територіальне планування*. 2016. вип. 59. С. 160–215.
21. Третяк А. М., Третяк В. М., Дорош Й. М., Дорош О. С. Професія «землевпорядник» на ринку праці: стан та проблеми попиту і пропозиції. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2018. № 1. С. 94–102.

## References

1. Lutai, V. (2008). Suchasni filosofski zasady reformuvannya ukraïnskoi systemy «osvita-nauka-vyrobnytstvo» [Modern philosophical principles of reforming the Ukrainian system «education-science-production»]. *Filosofïia osvity – Philosophy of education*, (7), pp. 22–34.
2. Melnyk, L. Yu. (2017). Intehratsiia osvity, nauky ta vyrobnytstva v ekonomitsi ahrarnoi sfery [Integration of education, science and production in the economy of the agrarian sphere]. *Ekonomika APK – Economics of agro-industrial complex*, (11), pp. 67–73.
3. Kozmuk, P. F. (2001). Pytannia kadrovoho zabezpechennia zdiisnennia zemelnoi reformy [The issue of staffing the implementation of land reform]. *Zemlevporiadkuvannia – Land management*, (2), pp. 16–19.
4. Flekei, Z. (2009). Yakym buty inzheneru-zemlevporiadnyku z osvitnoho napriamu «Heodeziia, kartohrafiia ta zemleustrii» [How to be a land surveyor in the field of "Geodesy, Cartography and Land Management"]. *Zemlevporiadnyi visnyk – Land Management Bulletin*, 2, pp. 10–14.

5. Kozmuk, P. F., Romanko, R. M. (2009). Yak polipshyty yakist pidhotovky kadriv zemlevporiadnoho profilu [How to improve the quality of land management training]. *Zemlevporiadnyi visnyk – Land Management Bulletin*, 2, 15–17.

6. Borovyi, V. (2013). Problemy ta propozytsii do yakosti pidhotovky fakhivtsiv napriamu «Heodeziia, kartohrafiia ta zemleustrii» [Problems and proposals for the quality of training in the field of "Geodesy, Cartography and Land Management"]. *Zemlevporiadnyi visnyk – Land Management Bulletin*, 7, pp. 7–11.

7. Borovyi, V. (2016). Vvedena nova spetsialnist «Heodeziia ta zemleustrii». Problemy zminy ta propozytsii yikh ratsionalnoho vyrishennia [A new specialty "Geodesy and Land Management" was introduced. Problems of change and proposals for their rational solution]. *Zemlevporiadnyi visnyk – Land Management Bulletin*, 4, pp. 17–19.

8. Lazarieva, O. V. (2018). Pytannia kadrovoho zabezpechennia v systemi upravlinnia zemelnymy resursamy [The issue of staffing in the land management system]. *Menedzhement ta pidpryemnytstvo: trendy rozvytku – Management and entrepreneurship: development trends*, 1, pp. 19–28.

9. Rusina, N. H. (2019). Osoblyvosti pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv heodezii ta zemleustroi u zakladakh vyshchoi osvity Ukrainy [Features of training of future specialists in geodesy and land management in higher education institutions of Ukraine]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M.P. Drahomanova. Serii 5: Pedagogichni nauky: realii ta perspektyvy – Scientific journal of NPU named after MP Dragomanova. Series 5: Pedagogical sciences: realities and prospects*, 67, pp. 242–246.

10. Pro zemleustrii [On land management], Law of Ukraine № 858-IV (2003, May 22). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 36, p. 282.

11. Pro topografo-heodezychnu i kartografichnu diialnist [On topographic-geodetic and cartographic activity], Law of Ukraine № 353-XIV (1998, December 23). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 5-6, p. 46.

12. Derzhheokadastr [State Geocadastre]. *Rekomendatsii stosovno pereliku ta zmistu dokumentiv, shcho podaiutsia osobamy, zatsikavlenymy u skladanni kvalifikatsiinoho ispytu [Recommendations on the list and content of documents submitted by persons interested in passing the qualifying examination]*. (2013). <https://land.gov.ua/info/rekomendatsii-stosovno-pereliku-ta-zmistu-dokumentiv-shcho-podaiutsia-osobamy-zatsikavlenymy-u-skladanni-kvalifikatsiinoho-ispytu/>.

13. Yevisukov, T. O. (2019). Do vyshu za inzhenernoi osvitoiu – tse perspektyvno [It is promising for a university in engineering education]. *Zemlevporiadnyi visnyk – Land Management Bulletin*, 4, pp. 20–23.

14. Bohira, M., Stupen, M. (2012). *Problemy u zemlekorystuvanni, zumovleni provedenniam zemelnoi reformy v Ukraini ta shliakhy yikh podolannia [Problems in land use caused by land reform in Ukraine and ways to overcome them]*. *Zemlevporiadnyi visnyk – Land Management Bulletin*, 3, pp. 16–18.

15. Fedina, A. A., Khainus, D. D. (2019). Heodeziia ta zemleustrii: stan ta perspektyvy rozvytku [Geodesy and land management: state and prospects of development]. *Perspektyvy ta napriamy zbalansovanoho rozvytku terytorii: zbirnyk tez I Vseukrainskoi studentskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Perspectives and directions of balanced development of territories: collection of abstracts of the I All-Ukrainian student scientific-practical conference* (pp. 56–58).

16. Pro zatverdzhennia litsenziinykh umov provadzhennia osvitnoi diialnosti [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On approval of licensing conditions for educational activities"], Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 1187 (2015, December 30). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-%D0%BF>.

17. Zazuliak, P. M., Savchuk, S. H. (n.d.). *Spetsializovana vchena rada: visim rokiv roboty [Specialized Academic Council: eight years of work]*. [igdg.lp.edu.ua/?page\\_id=582&lang=uk](http://igdg.lp.edu.ua/?page_id=582&lang=uk).

18. Isaiev, O. P. (1998). *Pidsumok roboty spetsializovanoi vchenoi rady D 01.18.02 [The result of the specialized scientific council D 01.18.02]*. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 39, pp. 76–81.

19. Domin, M. M., Isaiev, O. P., Cherednichenko, P. P. et al. (2013). *Spetsializovani vchenii radi D 26.056.09 – 15 rokiv. [Specialized Scientific Council D 26.056.09 – 15 years]*. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and spatial planning*, 50, pp. 5–10.

20. Isaiev, O. P., Cherednichenko, P. P. (2016). *Analiz dysertatsiinykh robit, zakhyschenykh v spetsializovani vchenii radi D 26.056.09 u 2012-2015 rokakh. [Analysis of dissertations defended in the specialized scientific council D 26.056.09 in 2012-2015]*. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and spatial planning*, 59, pp. 160–215.

21. Tretiak, A. M., Tretiak, V. M., Dorosh, Y. M. et al. (2018). *Profesiia "zemlevporiadnyk" na rynku pratsi: stan ta problemy popytu i propozyitsii* [Analysis of dissertations defended in the specialized scientific council D 26.056.09 in 2012-2015]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel – Land management, cadastre and land monitoring*, 1, pp. 94–102.

UDC 528.2/.5+332.2+37.013.31

*Ruslan Bespalko, Ivan Kazimir, Taras Hutsul*

## PROBLEM MOMENTS OF TRAINING AND FORMATION OF SPECIALISTS IN SPECIALTY 193 «GEODESY AND LAND MANAGEMENT»

Education in the field of land management is gaining popularity along with major changes in the segment of growth of the market for land and real estate. In addition, 75-90% of all information used by specialists in this area of training contains geographical data, i.e. various information on the distribution in space of phenomena, processes, objects, which makes it infinitely necessary in time. The appearance of any new, accurate fixation of existing objects is also not possible without geodetic support.

It is believed that on average, training a specialist takes minimum 15 years. During working age, they are forced to re-learn 4-8 times (including retraining). During the development of the state program of reforming the education sector "Ukraine of the 21st century: education strategy" it was found that the minimum lag of education from the development of machinery and technology is 10-15 years. The problem with modern higher education is that by the graduation time, more than 50% of knowledge is hopelessly outdated, and some researchers claim that this figure reaches almost 90%. The mismatch between the market of educational services and the labor market leads to the fact that trained specialists become unnecessary or perform low-skilled work, which indicates either the low quality of education or the irrational use of labor. As a result, Ukraine is losing human resources. There is a migration of qualified personnel who can not realize themselves in the domestic market, which leads to GDP growth in other countries.

A review of professional sources on this issue convincingly shows the rapid pace of penetration of "digital information technology" in the field of geodesy and land management. Geoinformation portals with spatial information, high-resolution aerospace systems, digital methods of their processing are dynamically developing. There is a gradual introduction of European experience in domestic educational programs. Over the last two decades, there has been a rupture in the "science-education-production" cycle. The field of geodesy and land management was no exception. These components in the professional literature are considered separately, while they were and should be closely related. It is critical for the prospective professional to understand the challenges they may face, both during and after training.

To highlight the problematic aspects of training and formation of specialists in the specialty 193 "Geodesy and Land Management" in terms of educational, scientific and industrial components.

The process of specialist formation in three logically connected aspects is considered: educational, scientific and industrial. The recommendations for optimizing the solution of problematic issues in each of them are identified, analyzed and provided.

Problematic moments in the training and formation of specialists in the specialty 193 "Geodesy and Land Management" are given. There are options for solving them. This article is a review.

**Keywords:** geodesy; GIS; land management; education; science; educational process.

**Table:** 1. References: 21.

**Беспалько Руслан Іванович** – завідувач кафедри землевпорядкування та кадастру, доктор технічних наук, доцент, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича (вул. Л. Українки, 25, м. Чернівці, 58012, Україна).

**Bespalko Ruslan** – Dr. Tech. Sciences, associate professor, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (25 L. Ukrainka str., 58012, Ukraine).

**E-mail:** r.bespalko@chnu.edu.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1225-852X>

**ResearcherID:** E-2956-2016

**Казімір Іван Іванович** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри землевпорядкування та кадастру, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича (вул. Л. Українки, 25, м. Чернівці, 58012, Україна).

**Kazimir Ivan** – candidate of biological science, associate professor, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (25 L. Ukrainka str., 58012, Ukraine).

**E-mail:** i.kazimir@chnu.edu.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8362-4676>

**ResearcherID:** E-2972-2016

**Гуцул Тарас Володимирович** – кандидат технічних наук, асистент кафедри землевпорядкування та кадастру, сертифікований інженер-геодезист, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича (вул. Л. Українки, 25, м. Чернівці, 58012, Україна).

**Hutsul Taras** – candidate of technical sciences, assistant department, certified surveying engineer, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (25 L. Ukrainka str., 58012, Ukraine).

**E-mail:** t.gutsul@chnu.edu.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7192-3289>

**ResearcherID:** R-8012-2017

УДК 514.182

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-208-214

Марина Барбаш

**ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ АРХІТЕКТУРНИХ ФОРМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ**

У роботі проаналізовано особливості використання комп'ютерної графіки для побудови класичних архітектурних об'єктів як складових частин карнизів, колон, капітелей та інших елементів ордерів. Проведено аналіз побудови змішаних спряжень. Проаналізовані відмінності принципів побудови спряжень за допомогою креслярських інструментів та з використанням засобів комп'ютерної графіки. Запропонований метод дозволяє значно прискорити розв'язування спеціалізованих задач та практичних питань у галузі архітектурного проектування. Стаття є публікацією науково-методичного характеру.

**Ключові слова:** архітектурні об'єкти; спряження; архітектурні ордери; поверхня; нарисна геометрія.

Рис.: 6. Бібл.: 5.

**Актуальність теми дослідження.** Конструювання поверхонь архітектурних форм, пошук оптимальних форм та конструкцій у дизайні та архітектурі переводить предмет нарисної геометрії у світ комп'ютерного проектування та тривимірного моделювання. Розуміння відмінностей принципів побудови спряжень за допомогою креслярських інструментів та з використанням засобів САД систем і викладання нарисної геометрії з використанням комп'ютерної графіки є одним з ефективних шляхів вивчення дисципліни в сучасних умовах.

**Постановка проблеми.** Етапи засвоєння знань (розуміння, запам'ятовування, застосування знань за правилами та вирішення творчих завдань) фіксуються в певній діяльності: розпізнавання, відтворення, вирішення типових та нетипових задач, які потребують застосування знань у нових умовах. І саме застосування знань у нових умовах є необхідним етапом процесу навчання. Як показала практика, застосування теоретичних знань при виконанні завдань з елементами конструювання викликає значні ускладнення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Види спряжень та правила їх побудови достатньо повно описані в літературі. Знання з цієї теми важливі як для майбутніх інженерів у частині технічного креслення [1] (кресленики важелів, фланців, швелерів, стопорних шайб, спряжених евольвент при побудові профілів зубців коліс зовнішнього зачеплення), так і для архітекторів та дизайнерів при побудові оздоблювальних елементів будівель – архітектурних об'єктів. І якщо з першими трьома етапами засвоєння знань: розумінням, запам'ятовуванням та виконанням одиничних спряжень ситуація менш проблематична, то побудова комплексного об'єкта з великою кількістю спряжень, змішаних спряжень, або об'єкта, який складається із самих лише спряжень, викликає труднощі [2]. Проблема полягає в неможливості розчленування завдання на структурні елементи, які будуються відповідно до вже відомих правил.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Сучасні тенденції застосування систем автоматизованого проектування призвели до необхідності перегляду викладання класичної нарисної геометрії в частині проектування. Гостро стоїть питання вибору методів викладання базових тем: криві лінії, поверхні як основа утворення архітектурних просторових форм, побудова обрису поверхні. Використання систем комп'ютерної графіки має певні особливості та потребує практичних рекомендацій з урахуванням сучасних можливостей у частині вирішення задач практично-прикладного характеру.

**Метою статті** є створення концепції навчання, при якій творчість органічно вписуватиметься в графічну діяльність та розробка методики викладання теми «Спряження» при вивченні пластичних архітектурних елементів, які розрізняють за обрисами поперечного профілю.

**Виклад основного матеріалу.** При вивченні побудови ордеру як складової частини стояково-балкової конструкції будівлі, конструкції об'єктів як складової частини архіте-

ктурного ордеру, орнаментування (геометричного з прямолінійних архітектурних об'єктів та рослинного з криволінійних) базовою темою нарисної геометрії є Спряження. Плавний перехід прямої лінії в пряму, виконаний за допомогою дуги кола певного (заданого) радіуса, спряження двох кіл та плавний перехід прямої в криву представлені на рис. 1.

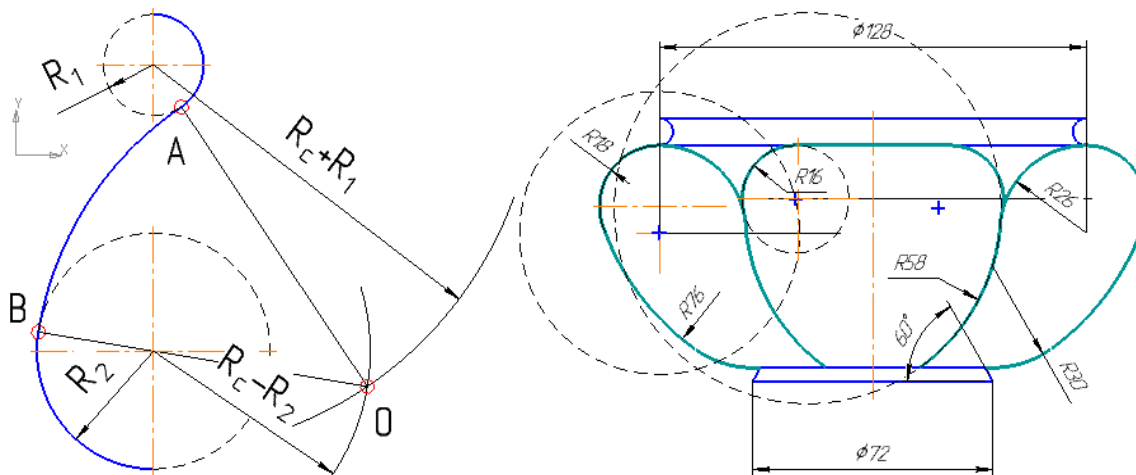


Рис. 1. Побудова спряжень

Дотримання певного алгоритму побудови дозволяє прискорити отримання результуючої кривої та уникнути помилок:

1. Визначити положення центру спряження (найголовніше і найскладніше завдання).
2. Знайти точки спряження (при використанні комп'ютерної графіки ця операція не обов'язкова).
3. Провести дугу спряження заданим радіусом (при виконанні побудов у графічному редакторі визначити, яка крива з фантому побудов шукана).

AutoCAD Architecture дозволяє два варіанти аналогічних побудов: команда СПЛАЙН (неоднорідні раціональні В-сплайни (NURBS) можна задати за допомогою точок-визначників (за замовчуванням) або управляючих вершин, які визначають форму та розташування, та 3D-ПОЛІЛІНІЯ (рис. 2). Залежно від обраного методу додаткові сегменти Сплайну створюються до натискання Enter, замкнені сплайни є періодичними та зберігають неперервність кривизни по контуру. Зміна форми сплайнів 1-го порядку (лінійних), 2-го порядку (квадратичних), 3-го порядку (кубічних), і так далі до 10-го порядку (ПОРЯДОК встановлює ступінь поліному для результуючого сплайну) шляхом переміщення керуючих вершин забезпечує більш точні результати. Точки-визначники служать для внесення невеликих локальних змін для кривої, керуючі вершини дозволяють вносити зміни, що впливають на форму кривої загалом. 3D-ПОЛІЛІНІЯ як зв'язана послідовність сегментів прямих, які є єдиним об'єктом, може бути некомпланарною, але не може включати дугові сегменти. Допуск вказує відстань, на яку сплайн відхилиться від заданих точок-визначників. Значення допуску «0» вимагає, щоб результуючий сплайн проходив безпосередньо через точки-визначники. Початкова і кінцева точки згладжування завжди мають допуск «0». NURBS-поверхні можуть бути створені з ряду 2D об'єктів-кромки (ребер), поліліній, дуг. Однак інструмент «сплайн» – це єдиний об'єкт, що володіє параметрами, сумісними зі створенням NURBS-поверхні. Сплайни не тільки містять криві Безьє, вони ще й визначаються за допомогою керуючих вершин і точок-визначників, які надають різні параметри редагування.

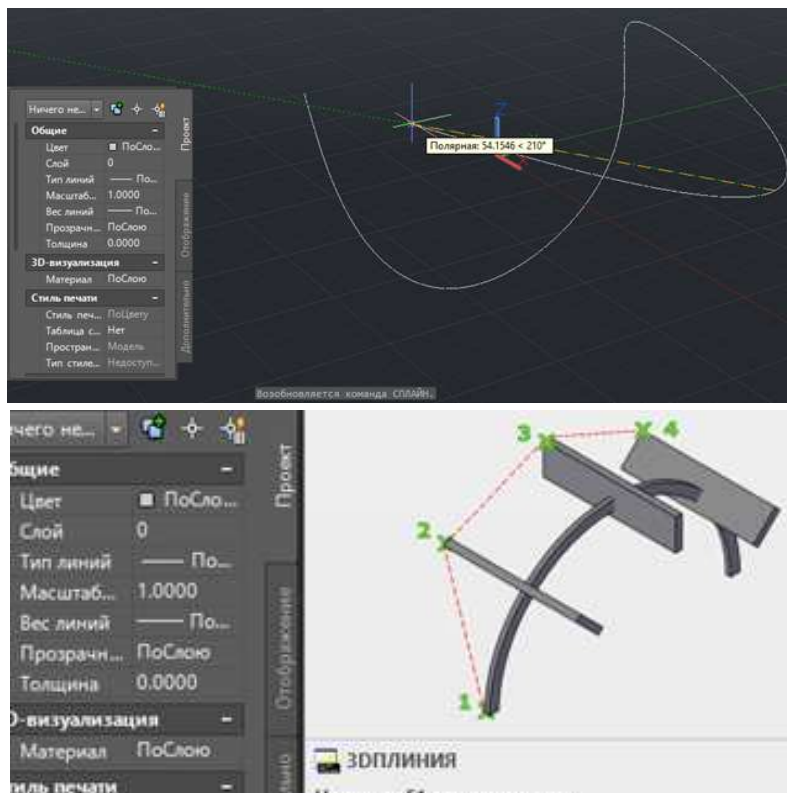


Рис. 2. СПЛАЙН, заданий за допомогою точок-визначників та 3D ПОЛІЛІНІЯ

При викладанні нарисної геометрії майбутнім архітекторам та дизайнерам для кращого засвоєння принципів побудов та розвитку просторового мислення конструкцію архітектурних обломів та фрагментів орнаментів на обломах доцільно наочно показати з обов'язковими тривимірними побудовами в реальному часі (рис. 3). Демонстрація за допомогою CAD систем створення тривимірних декоративних архітектурних елементів із можливістю їх деталізації при вивченні елементів фасаду, які несуть не конструктивну необхідність, а зумовлені художніми вимогами й надають каркасу будівлі характер та красу: лиштви, пілястри, колони (рис. 4), з поясненням можливості отримання повного комплексу проектно-конструкторської документації розширить можливості реалізовувати власні ідеї достатньо простими інтуїтивно зрозумілими інструментами та здатність працювати в дво- та тривимірному просторі.

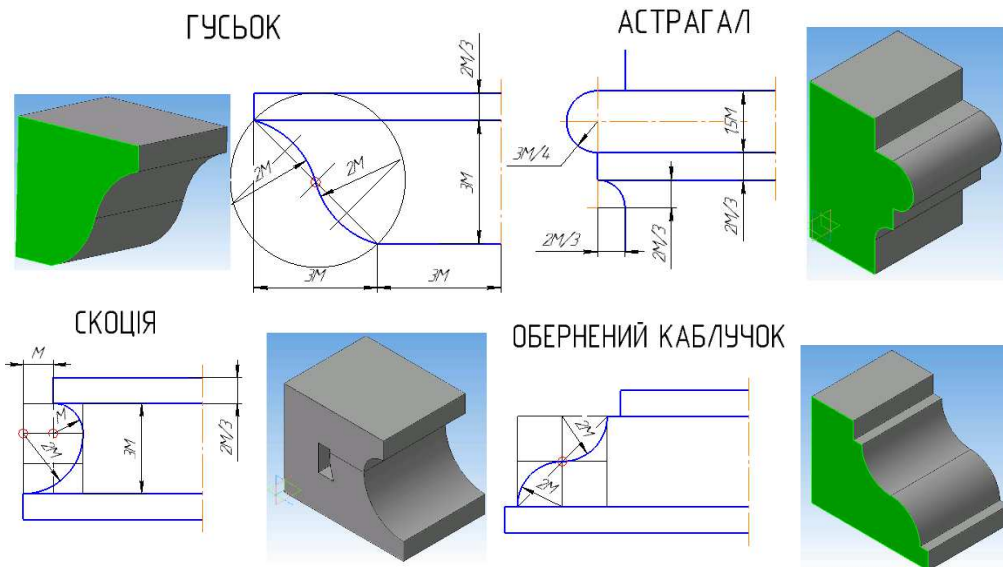
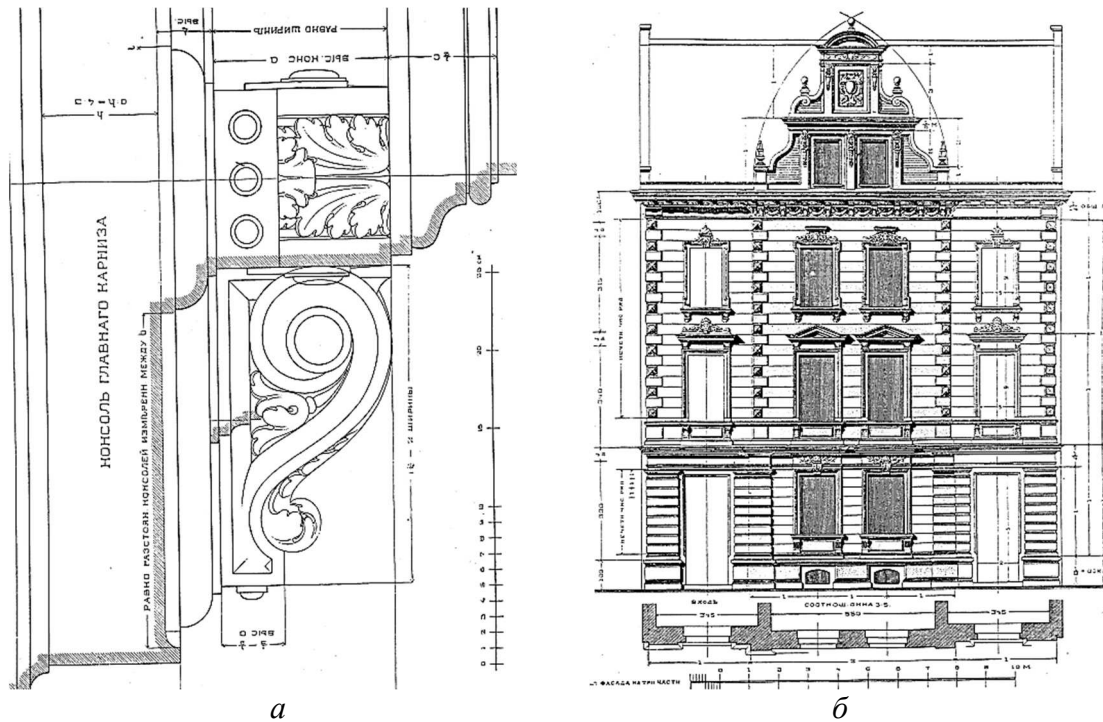


Рис. 3. Елементи оздоблюючи деталей будівлі. Архітектурні обломи

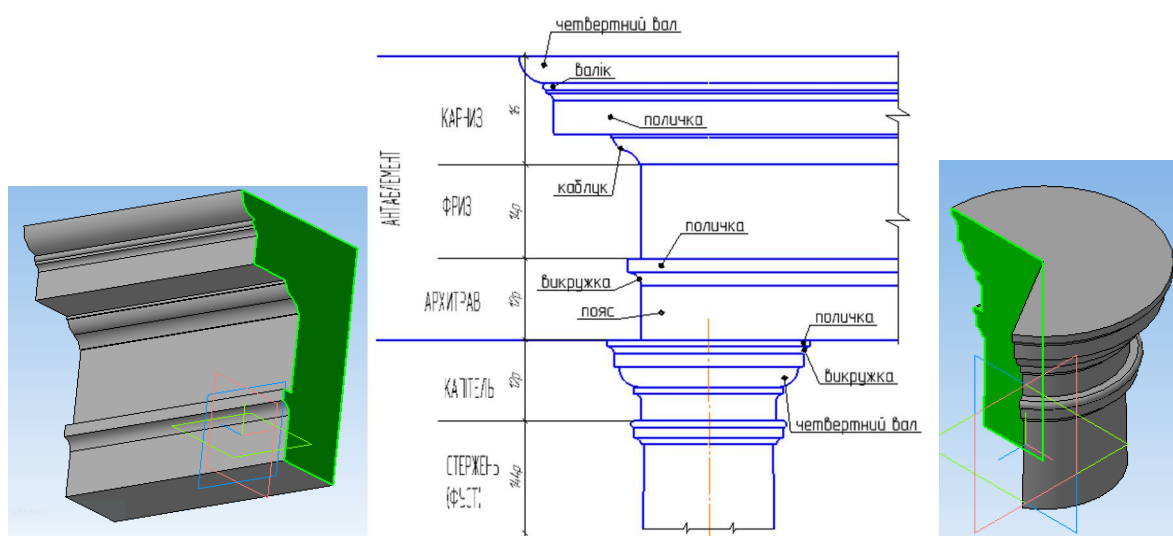




*Рис. 4. Деталі фасадів та їх членування:  
а – консоль головного карнизу; б – житловий будинок  
із середнім виступом і мансардним вікном*

Розумінню композиційних та стилістичних особливостей пам'яток архітектури сприяє засвоєння системи математичних пропорцій античних ордерів (рис. 5): тосканського, доричного, іонічного, коринфського та композитного, заснованій на довільній мірі – модулі (за Джакомо Віньолю) [3; 4]. Зображення п'яти ордерів, виконані в єдиному модулі, зобов'язують скомпонувати всі частини ордеру (антаблемент, капітель, базу, п'єдестал), застосувавши знання з структури, художніх особливостей, пропорційних відмінностей ордерів, правил побудови архітектурно-декоративних елементів (рис. 1), продумати композицію кресленика, масштаб, місце для написів шрифтом Антиква (або вузьким архітектурним шрифтом) та нанесення розмірів в модулях.

ТОСКАНСЬКИЙ ОРДЕР



*Рис. 5. Облони як складові архітектурного ордеру*

Вдосконалення навичок архітектурної графіки передусе освоєнню техніки тональної відмивки як засобу виявлення об'єму предметної форми.

Застосування знань перевіряється при виконанні побудови обрису декоративної вази. Основною проблемою при пошуку центру спряження є неможливість розчленувати заданий контур на окремі елементи і виявити лінії, які потребують спряження вказаним радіусом. Засоби комп'ютерної графіки дозволяють виконати точні побудови на відміну від креслення вручну, де у студента завжди є варіант замінити циркульну криву на лекальну при неможливості знайти центр спряження. Машинні побудови дозволяють побачити також усі можливі варіанти спряження (фантом побудов, рис. 6) для кожного окремого вертикального елемента вази.

Демонстрація побудови тривимірної моделі після завершення виконання спряжень розвиває просторову уяву, формує поняття принципів отримання комп'ютерної моделі тіла обертання через визначення осі та твірної, встановлення різниці між утворенням тіла та поверхні обертання, розуміння поняття каркасу поверхні. Це приводить до кращого розуміння утворення кінематичної поверхні як сукупності послідовних положень лінії (твірної цієї поверхні постійної або змінної форми), яка переміщується в просторі, та поняття порядку алгебраїчної поверхні як кількості точок її перетину прямою або порядку кривої по якій поверхня перетинається площиною. В архітектурно-будівельній практиці форма лінії, яка утворює поверхню, відіграє важливішу роль, ніж кінематичний закон її утворення. При проектуванні поверхні паралельними лініями утворюється проектуючий циліндр, який дотикається до поверхні по контурній лінії, проекція цієї лінії на площину і є обрисом поверхні. Контурні лінії (обрис) різні на фасаді і плані. Тривимірні побудови покажуть зображення двох частин поверхні – видимої та невидимої що унеможливить помилку яка зустрічається при графічній неточності в рішенні задач: якщо хоча б одна проекція точки лежить за межами обрису поверхні – вона даній поверхні не належить.

Перед архітектором та дизайнером завжди стоїть питання композиційного вирішення форми (рис. 6). Це досягається розробкою каркасу поверхні в процесі проектування з використанням математичного апарату або конструюванням каркасу на основі тривимірного моделювання [2] засобами систем автоматизованого проектування.

У ході розвитку творчої графічної діяльності формується творче мислення, формується розуміння, що для архітектури, як і будь-якого мистецтва, не може бути надано остаточних закономірних схем, а наведені в таблицях, наприклад, види загальної розбивки фасадів (горизонтальне та вертикальне членування) – лише відправний пункт при розробці цілого та його частин, лише приклади, при вивченні яких можна з'ясувати принципи застосування архітектури до будівельної справи [5].



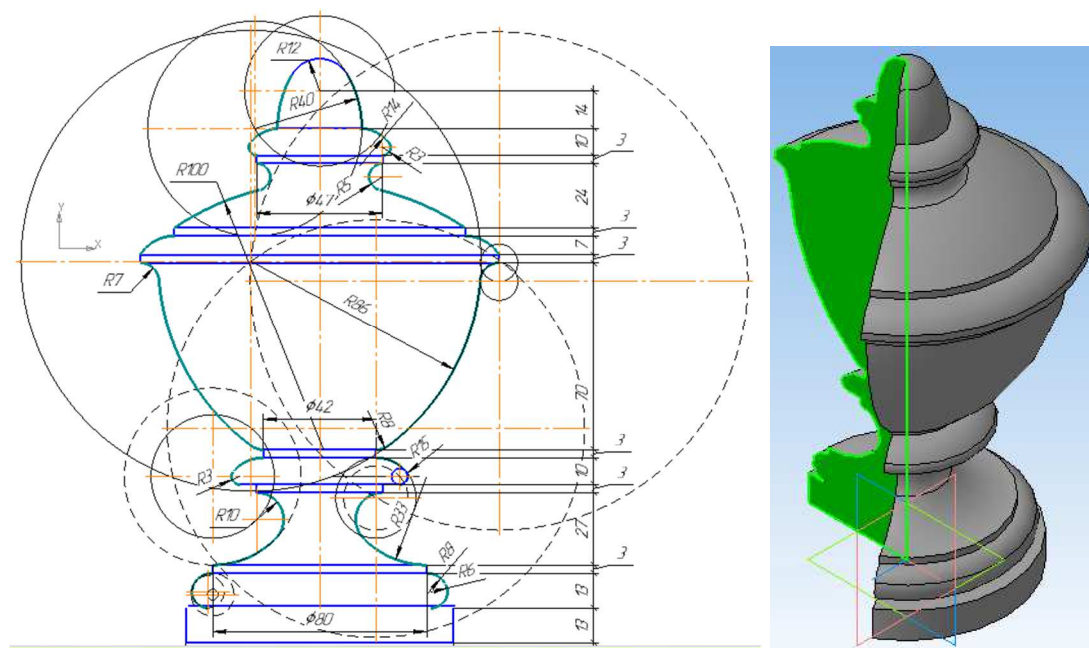


Рис. 6. Пошук форми за допомогою спряжень

**Висновки.** Уміння акуратно, красиво і грамотно креслити пов'язано для архітектора з основою його професійної діяльності – умінням проектувати. Будівля, що споруджується, реставрується або ремонтується не обходиться без детально розробленого креслення, що дає всі необхідні відомості про форму, розміри, матеріали як цілої споруди, так і окремих її частин.

У створенні художнього твору або дизайн-проекту присутні стадії безпосередньо пов'язані з креслярськими роботами. Наприклад, реалістичне зображення перспективи, розмітка декору, побудова архітектурних елементів, або просто визначення масштабу, меж і розмітка аркуша. Навички креслення, розвиток просторового мислення, уяви, виховання професійного смаку нададуть незамінну підтримку, що дозволить майбутнім фахівцям впевненіше почувати себе в роботі і реальніше представляти свої можливості.

Побудова структурно-логічної схеми навчальної дисципліни, оцінка її об'єму, змісту з врахуванням її складності, а також мети підготовки спеціалістів цього профілю та якості дозволить виявити систему змістовних зв'язків між темами та послідовністю занять, доцільно розподілити навчальний матеріал на відповідні розділи, модулі, теми, щоб виключити перевантаження студентів.

Побудова моделі дисципліни та оцінка її інформативної ємності (відбір необхідної кількості ключових понять та визначень) надасть впевненості в достатності відібраних навчальних елементів для досягнення мети підготовки, тобто оцінки формування у студентів вмінь, навичок, значущих професійних якостей та компетенцій. Такий підхід дозволить на науковій основі визначити змістову (інформаційну) складову дисципліни для забезпечення підготовки фахівців відповідно до освітньої програми та вимог стейкхолдерів.

#### Список використаних джерел

1. Гильберт Д., Кон-Фоссен С. Наглядная геометрия. Москва : Наука, 1981. 344 с.
2. Барбаш М. І. Дослідження поверхні, утвореної за умови заданого розміщення осі пакування відносно розкладника. *Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка»*. 2004. Вип. 76. С. 133-136.
3. Михайленко В. Е., Обухова В. С., Подгорный А. Л. *Формообразование оболочек в архитектуре*. Киев : Будівельник, 1972. 207 с.

4. Бароццио Д. В. Правило пяти ордеров архитектуры / перевод А. Г. Габричевского; комментарий Г. Н. Емельянова. Москва : Архитектура-С, 2005. 168 с.

5. Браузеветтер А. Архитектурные формы гражданских построек. Санкт-Петербург, 1904. 202 с.

### References

1. Gilbert, D. & Kon-Fossen, S. (1981). *Nagliadnaia geometriia [Visual geometry]*. Nauka.

2. Barbash, M. I. (2004). Doslidzhennia poverkhni, utvorenoi za umovy zadanoho rozmishchennia osi pakuvannia vidnosno rozkladnyka [Investigation of the surface formed under the condition of a given placement of the packing axis relative to the expander]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika – Applied geometry and engineering graphics*, 76, pp. 133-136.

3. Mikhailenko, V. E., Obukhova, V. S., Podgornyi, A. L. (1972). *Formoobrazovanie obolochek v arkhitekture [Formation of shells in architecture]*. Budivelnik.

4. Barozzio, D. V. (2005). *Pravilo pyati orderov arkhitektury [The rule of five orders of architecture]*. Architecture-S.

5. Brausevetter, A. (1904). *Arkhitekturnye formy grazhdanskikh postroek [Architectural forms of civil buildings]*.

UDC 514.182

Marina Barbash

## FEATURES OF DESIGNING SURFACES OF ARCHITECTURAL FORMS USING COMPUTER GRAPHICS

*Trends in the development of architectural design are focused on creating new forms using computer-aided design systems and teaching descriptive geometry using computer graphics is one of the effective ways to study the discipline in modern conditions. There is a contradiction between design desires and possibilities of engineering introduction during the decision on forming.*

*The publications on the design of surfaces of technical forms in modern conditions, including the use of computer-aided design systems of light and medium level are considered. Most of the existing literature concerns the classical teaching on descriptive geometry using hand-drawn graphics using drawing tools. Currently, there is a significant number of developments in the application of practical methods of descriptive geometry in the study of on formation for classical manual constructions. The use of computer graphics systems has certain features and requires practical recommendations, taking into account modern capabilities.*

*The research objective of this article is an analysis of the peculiarities of the use of computer graphics to build classical architectural molding as part of cornices, columns, capitals and other elements of orders.*

*The results of CAD use in the design of surfaces of architectural forms and the possibility of their use in descriptive geometry are presented. The analysis of construction of mixed conjugations is carried out. The differences of the principles of conjugation construction with the help of drawing tools and with the use of computer graphics are analyzed.*

*The proposed method allows to significantly accelerate the solution of specialized problems and practical issues in the field of architectural design. The article is a publication of scientific and methodical character.*

**Keywords:** architectural molding; conjugation; architectural orders; surface; descriptive geometry.

*Fig.: 6. References: 5.*

**Барбаш Марина Ігорівна** – старший викладач кафедри технологій зварювання та будівництва, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Barbash Marina** – Senior lecturer of welding and construction technology department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** m\_barbash@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2784-5030>

**ResearcherID:** F-4729-2016

УДК 528.482

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-215-224

Сергій Крячок

## НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЩОДО РІВНОСТІ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ В УКРАЇНІ

Розглянуто чинний наказ Державіаслужби Україна № 1346 від 22.09.2020 р. стосовно сертифікаційних вимог щодо аеродромних покриттів. Наведено технологію з визначення мезонерівностей ґрунтового поля з використанням нівеліра та розглянуто вимоги щодо рівності твердих покриттів відповідно до вимог ІКАО. Згруповано в табличному вигляді якісні та кількісні характеристики дефектів аеродромних покриттів і встановлена невідповідність допустимого значення перевищення між гранями суміжних плит покриття злітно-посадкової смуги, яка становить 25 мм та значенням 17,5 мм, зазначених у вимогах ІКАО. Стаття є публікацією науково-методичного характеру.

**Ключові слова:** вимоги ІКАО; сертифікація аеродромів; рівність аеродромних покриттів; дефекти аеродромних покриттів; безпека експлуатації аеродрому.

Табл.: 4. Рис.: 4. Бібл.: 14.

**Актуальність теми дослідження.** Україна має розвинути мережу аеропортів та є відомою у світі країною з транспортного та пасажирського літакобудування. Нині продовжує виконуватись Державна цільова програма з розвитку аеропортів на період до 2023 року (Програма) [1]. У межах Програми проводиться модернізація інфраструктури авіаційного транспорту, сертифікація аеропортів відповідно до законодавства Європейського Союзу, документів Євроконтролю, стандартів та рекомендацій Міжнародної організації цивільної авіації ІКАО.

**Постановка проблеми.** Одними з найважливіших елементів інфраструктури аеропорту є його покриття, призначені для зльоту та посадки повітряних суден – злітно-посадкова смуга (ЗПС), руління – руліжні доріжки (РД) та місць стоянок повітряних суден (МС). Від їхнього стану, а особливо від стану покриття ЗПС, багато в чому залежить безпечне перевезення пасажирів та вантажу. Тому проводиться постійний моніторинг стану поверхонь аеродромних покриттів [2]. Для вибору того чи іншого методу геодезичного моніторингу необхідно знати вимоги стосовно якісних та кількісних характеристик дефектів аеродромних покриттів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Переважна більшість аеропортів в Україні була побудована за часів СРСР. Тому їх аеродромні покриття проектувались, будувались та утримувались згідно з вимогами тодішніх нормативних документів. Так, згідно з нормативними документами [3; 4; 5] найкращим обрисом ЗПС зі штучним покриттям у поперечному перетині є двосхилий профіль із постійним поперечним ухилом по всій довжині ЗПС, а в крайньому випадку – на більшій її частині (рис. 1, а).

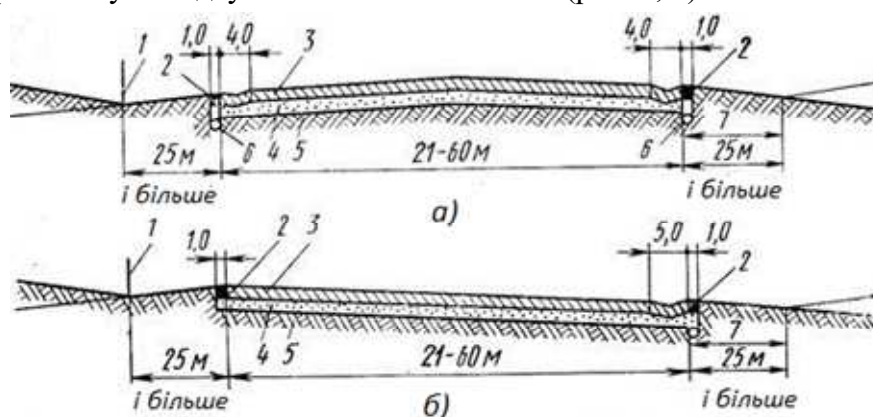


Рис. 1. Поперечний профіль ЗПС:

- а – двосхилий; б – односхилий; 1- вісь ґрунтового лотка;  
2 – перехідна ґрунто-щебнева смуга; 3 – покриття; 4 – основа;  
5 – природна основа; 6 – дрена; 7 – ґрунтова смуга

ЗПС із таким профілем надійна в експлуатації та сприяє відведенню атмосферних вод. ЗПС з односхилим профілем влаштовують в умовах виключно крутого рельєфу, який має схил понад 0,010 в один бік (рис. 1, б).

В особливих умовах рельєфу допускається використання двосхилого та односхилого профілів на одній ЗПС із плавним зміщенням гребеня покриття у плані [5].

Аналогічні підходи до двосхилого та односхилого профілів РД (рис. 2, а, б).

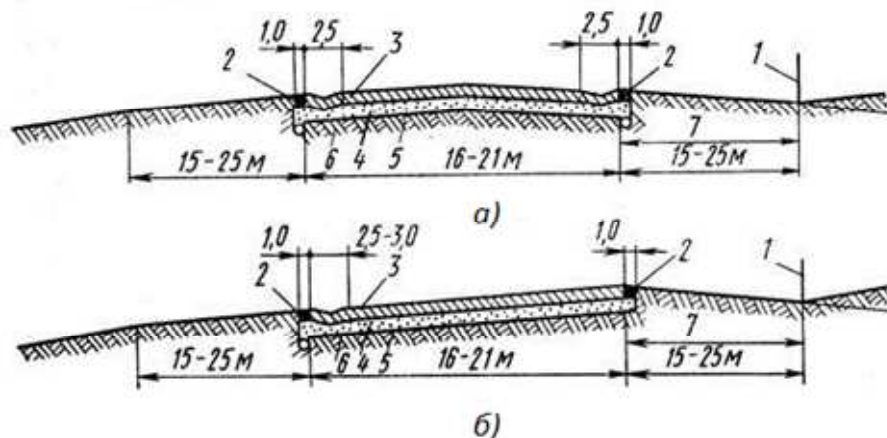


Рис. 2. Поперечний профіль РД:

а – двосхилий; б – односхилий; 1 – вісь ґрунтового лотка; 2 – перехідна ґрунто-щебнева смуга; 3 – покриття; 4 – основа; 5 – природна основа; 6 – дрена; 7 – ґрунтова смуга

Штучні покриття перонів, МС та інших площ влаштовують як із двосхилим, так і з односхилим поперечними профілями.

Найкращим обрисом поздовжнього профілю літної смуги є опукла поверхня з невеликими ухилами на кінцевих ділянках. У цьому випадку літаки будуть брати старт в оптимальних умовах за невеликих ухилів поверхні. Літак, який встиг набрати певну швидкість, легко подолає максимальний ухил у середній частині льотної смуги, а набір швидкості для відриву відбуватиметься вже під ухил. Опуклий профіль зручний також і для посадки. У цьому випадку літак приземлиться на поверхні з мінімальними ухилами. Зменшення швидкості посадки при зустрічному ухилі протікає значно швидше, і, нарешті, пробіг спокійно завершується до швидкості рулювання при попутних ухилах [5].

Згідно з нормативним документом [4] аеродромні покриття повинні відповідати вимогам рівності та шорсткості поверхні. Поняття рівності та шорсткості покриття є універсальним для аеродромного та дорожнього покриттів. Рівність покриття – якість покриття, яке визначається наявністю на ній нерівностей, що викликають коливання коліс і кузова транспортного засобу [6], а стосовно авіації – коливання шасі та фюзеляжу повітряного судна.

Шорсткість покриття – сукупність мікро- і макронерівностей на поверхні покриття, які характеризують ступінь зчеплення покриття з колесами транспортного засобу. Макрошорсткості – нерівності на поверхні покриття довжиною більше 2 мм та висотою більше ніж 0,2 мм, які формуються зернами такого мінерального заповнювача, як щебінь, гравій та ін., що входять до складу асфальтобетонної, цементобетонної чи іншої суміші, які використовуються для облаштування верхнього шару покриття (шару зношення). Мікрошорсткості – нерівності на поверхні покриття суттєво меншого розміру, ніж розміри макрошорсткостей (рис. 3) [7]. На відміну від нерівностей, які формуються внаслідок зношення та/або пошкодження покриття, шорсткість не є дефектом покриття та слугує для щеплення дорожнього покриття з пневматиками (шасі) повітряних суден чи колесами автомобілів. Коефіцієнт щеплення дорожнього покриття забезпечується переважно за рахунок макрошорсткостей, ніж

за рахунок мікрошорсткостей, а тому в практиці дорожнього будівництва і нормується як показник шорсткості покриття. Шорсткість покриття характеризується середніми (рис. 3): висотою виступів, глибиною впадин, коефіцієнтом кроку шорсткості [7].

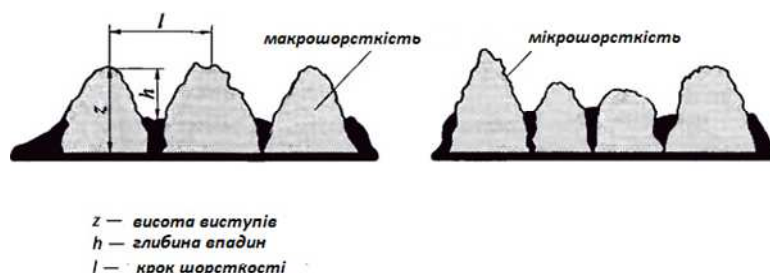


Рис. 3. Параметри макро-та мікрошорсткостей

Деформації та руйнування дорожніх одягів і покриттів поступово порушують початкову рівність покриттів, плавність їх поздовжніх та поперечних профілів [8] та спричиняють появу дефектів покриттів (табл. 1) [9].

Таблиця 1. Дефекти аеродромних покриттів

№	Тип дефекту	Розріз покриття з дефектом	Візуалізація дефекту
		Монолітні бетонні, армобетонні, залізобетонні, збірні покриття	
1	Тріщини		
2	Волосяні тріщини		
2 3	Злуцнення поверхні плит		
4	Відколи бетону біля швів		
5 5	Раковини і вибоїни на поверхні плит		
6	Оголенням стрижнів арматури		
7	Перевищення граней суміжних плит у швах		

Дефектами ґрунтової частини льотного поля є нерівності у вигляді колій та вибоїн, а також прогалини дернового покриття різних розмірів [10].

Отже, за нормативним документом [4] аеродромні покриття повинні відповідати вимогам рівності та шорсткості поверхні покриттів, наведеними у табл. 2, в період їх спорудження за часів СРСР.

Визначення рівностей аеродромних покриттів за допусками, наведеними у нормативному документі [4], виконувалось згідно з інструкцією [11].

У нормативному документі щодо сертифікаційних вимог до цивільних аеродромів України [12], який став чинним від 17.03.2006 року, наводяться наступні вимоги щодо стану аеродромних покриттів.



Таблиця 2. Нормативні вимоги щодо рівності та шорсткості аеродромних покриттів, які потрібно виконувати під час їх спорудження

Конструктивний елемент, вид робіт, параметр, що контролюється	Значення нормативних вимог для категорій нормативних навантажень на покриття		Метод контролю
	п/к, I, II, III	IV, V, VI	
2.8. Рівність по осі ряду вкладання всіх типів штучних покриттів (крім збірних бетонних) (просвіт під рейкою довжиною 3 м)	Не більше 2 %	Не більше 5 %	Згідно з ГОСТ 30412
	результатів визначень можуть мати значення щільності до		
	6 мм	8 мм	
	інші до		
	3 мм	5 мм	
2.9. Алгебраїчна різниця висотних відміток покриття по осі ряду (точок з кроком 5 м, 10 м, 20 м)	Не більше 5% результатів визначень можуть мати значення до		Нівелювання та розрахунок
	10, 16, 24 мм	14, 20, 28 мм	
	інші до		
	5, 8, 16 мм	8, 12, 16 мм	
2.10. Перевищення граней суміжних плит в швах монолітних жорстких покриттів: поперечних	Не більше 10%	Не більше 20%	Вимірювання металевою лінійкою або штагенциркулем
	результатів визначень можуть мати значення до 6 мм, інші – до 3 мм		
поздовжніх	Те ж, до 10 мм, інші – до 3 мм		Те ж
3. Збірні покриття з попередньо напружених залізобетонних плит			Згідно з ГОСТ 30412
	Не більше 2 %	Не більше 5 %	
3.1. Рівність (просвіт під рейкою довжиною 3 м)	результатів визначень можуть мати значення щільності до 10 мм, інші – до 5 мм		Вимірювання металевою лінійкою або штагенциркулем
3.2. Перевищення граней суміжних плит в швах збірних покриттів: поперечних	Не більше 10%	Не більше 20%	
	результатів визначень можуть мати значення до 6 мм, інші – до 3 мм		Те ж
поздовжніх	Те ж, до 10 мм, інші – до 5 мм		

На ЗПС зі штучним покриттям повинні бути відсутні: перевищення між суміжними плитами та крайками тріщин не більше ніж 25 мм (позиція 7, табл. 1); оголені стрижні арматури (позиція 6, табл. 1); вибоїни та раковини глибиною понад 25 мм із найменшим розміром у плані більш ніж 50 мм, не залиті мастикою (позиція 5, табл. 1); відколи крайок плит глибиною більше ніж 25 мм та завширшки більш ніж 30 мм, не залиті мастикою (позиція 4, табл. 1); хвилеутворення, що створюють просвіт між триметровою рейкою більше, ніж 25 мм, крім вершин двоскатного профілю та водоприймальних люків (позиція 3, табл. 1); напливи мастики, заввишки більше ніж 15 м.

На ґрунтовій ЗПС повинні бути відсутні: колії від шасі повітряних суден і ділянки з розпушеним та не ущільненим ґрунтом; не сплановані ділянки, на яких збирається вода після опадів і танення снігу; вибоїни та впадини на ґрунті, що можуть вплинути на керованість повітряних суден, або поломки шасі; нерівності поверхні просвітом більше за 100 мм під триметровою рейкою. Покриття РД, перону та МС повинні утримуватись так, щоб були відсутні: перевищення між сусідніми плитами або крайками тріщин понад 30 мм (позиції 1, 7, табл. 1); оголені стрижні арматури (позиція 6, табл. 1); вибоїни та раковини глибиною більше 30 мм, не залиті мастикою (позиція 5, табл. 1); відколи крайок плит глибиною більше ніж 25 мм та завширшки більш ніж 30 мм, не залиті мастикою (позиція 4, табл. 1); напливи мастики, заввишки більше ніж 15 м. Узбіччя ЗПС та РД із штучним покриттям повинні утримуватись та ремонтуватись, таким чином, щоб на їхній поверхні були відсутні: сторонні предмети й продукти руйнування покриття; оголені стрижні арматури; уступи поверхні заввишки понад 50 мм.

Обстеження фактичного стану поверхні штучних покриттів аеродрому проводиться двічі на рік.

Порівняння показників рівності за нормативними документами [4] та [12], наприклад, стосовно перевищення граней суміжних плит – 6 і 25 мм відповідно, та рівність, яка характеризується просвітом під триметровою рейкою, – 10 і 25 мм відповідно, свідчить про те, що сертифікаційним вимогам відповідали вже досить зношені аеродромні покриття, які були збудовані ще за часів СРСР.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Пошук нормативних документів стосовно рівності аеродромних покриттів навів на актуальні сертифікаційні вимоги до аеродромів України [13], датовані 22.09.2020 р.

**Постановка завдання.** Головною метою цієї статті є аналіз актуальних нормативних документів України та ІКАО стосовно характеристик рівності аеродромних покриттів

**Виклад основного матеріалу.** Вимоги щодо рівності аеродромних покриттів в актуальному нормативному документі [13] частково перекликаються з таким ж самими вимогами, наведеними в попередньому керівному документі [12]. Так, у підрозділі 10.6 «Стан покриттів аеродрому» наведено кількісні та якісні характеристики дефектів (нерівностей) аеродромних покриттів, які відповідно до нормативного документа [13], зведені в табл. 3.

Таблиця 3. Якісні та кількісні характеристики дефектів аеродромних покриттів за [13]

№	Назва дефекту	Граничне значення
ЗПС зі штучним покриттям		
1	Перевищення між сусідніми плитами й крайками тріщин	До 25 мм
2	Вибоїни та раковини, не залиті мастикою	Глибина до 25 мм, розміри в плані до 50 мм
3	Сколи крайок плит, не залиті мастикою	Глибина до 25 мм, розміри в плані до 30 мм
4	Хвилеутворення, що утворюють просвіт під триметровою рейкою (крім вершин двосхилого профілю та водоприймальних лотків)	До 25 мм
5	Напливи мастики	Висота до 15 мм
Грунтові ЗПС		
6	Нерівності поверхні просвітом під триметровою рейкою	До 100 мм
Покриття РД, перону та МС		
7	Перевищення між сусідніми плитами й крайками тріщин	До 30 мм
8	Вибоїни та раковини, не залиті мастикою	До 30 мм
9	Сколи крайок плит, не залиті мастикою	Глибина до 25 мм, розміри в плані до 30 мм
10	Напливи мастики	Висота до 15 мм
Узбіччя ЗПС та РД із штучним покриттям		
11	Уступи поверхні	Висота до 50 мм

Крім того, на ЗПС зі штучним покриттям, покриттях РД, перону та МС повинні бути відсутні: оголені стрижні арматури; сторонні предмети, або предмети руйнування покриття. На ґрунтових ЗПС були відсутні: колії від повітряних суден; ділянки з розпушеним, не ущільненим ґрунтом; не сплановані ділянки, на яких збирається вода після опадів або танення снігу; вибоїни і западини ґрунту, що можуть вплинути на керуваність повітряного судна або призвести до поломки шасі; сторонні предмети, що можуть привести до поломки шасі, ушкодити фюзеляж або гвинт, або потрапити в двигуни повітряних суден. Узбіччя ЗПС та РД із штучним покриттям повинно утримуватись та ремонтуватись таким чином, щоб на їхній поверхні були відсутні: сторонні предмети та продукти руйнування покриття; оголені стрижні арматури.

Обстеження фактичного стану поверхні штучних покриттів аеродрому проводиться двічі на рік.

У частині 10.7.9.4. нормативного документа [13] наведено, що контроль рівності поверхні ґрунтового льотного поля полягає у виявленні мікро- і мезонерівностей, які перевищують гранично допустимі значення. Мезонерівність – зміна профілю поверхні землі (хвилястість, підвищення та западини) на ділянках довжиною до 40 м.

Мікронерівності можуть бути перевірені візуально або шляхом проїзду автомобіля. Величини мікронерівностей перевіряються триметровою рейкою, просвіт під якої не повинен перевищувати 10 см. При мікронерівностях більших допустимих значень ґрунтова поверхня повинна ремонтуватися. Після ремонту мікронерівності не повинні перевищувати 3 см.

У частинах 10.7.9.5 та 10.7.9.6 нормативного документа [13] наведено наступне. ґрунтове льотне поле підлягає ремонту при досягненні граничних значень мезонерівностей:  $\Delta i_{5m} = 0,030$ ;  $\Delta i_{10m} = 0,022$ ;  $\Delta i_{20m} = 0,015$ , тобто зміні сполучних ухилів, які визначають нівелюванням профілю по одному або двох характерним напрямкам на дефектній ділянці. Ухили прямих відрізків обчислюють за формулою

$$i_a = \frac{h_n - h_{n-1}}{a}, \quad (1)$$

де  $i_a$  – ухил відрізка прямої, що з'єднує точки, віддалені на 5 м, 10 м і 20 м (має знак «+», якщо по ходу нівелювання профілю є підйом, і знак «-», якщо є зниження);

$h_{n-1}$  – відмітка початкової точки профілю мезорельєфу;

$h_n$  – відмітка точки профілю мезорельєфу, віддаленої від початкової на крок нівелювання  $a$ , який має значення: 5 м, 10 м і 20 м.

Різниця суміжних сполучних ухилів прямих відрізків дорівнює:

$$\Delta i(5, 10, 20) = i_{n-1}(5, 10, 20) - i_n(5, 10, 20), \quad (2)$$

де  $i_{n-1}$  – ухил попереднього відрізка з його знаком;

$i_n$  – ухил наступного відрізка з його знаком.

Отримані результати суміжних сполучних ухилів мезорельєфу наносять на профіль дефектної ділянки, на якому проводилось нівелювання. На профілі відзначають місця з недопустимими значеннями суміжних сполучних ухилів. Такі ділянки підлягають ремонту і плануванню [13].

У додатку 12 пункту 4 «Рівність поверхні ЗПС» сертифікаційних вимог [13] наводяться вимоги, які збігаються з основною частиною положень нормативного документа ІСАО [14], а саме з Додатком А, п. 5 «Рівність поверхні ЗПС».

До таких положень належать наступні. Рівність поверхні ЗПС на коротких відстанях близько 3 м визначається триметровою рейкою. Просвіт між основою рейки та поверхнею покриття в будь-якому місці та напрямку не повинен перевищувати 3 мм, крім вершини двоскатного ухилу та дренажних лотків. Такий допуск нерівності встановлено ймовірно тому, що у п. 4.5 робиться наголос на тому, що калюжі з шаром води близько 3 мм, а особливо, якщо вони вже вкриті льодом, можуть спричинити глісування повітряного судна по поверхні ЗПС. У табл. 4 наведено значення прийнятних, допустимих та максимальних нерівностей поверхні ЗПС.

Таблиця 4. Прийнятна, допустима та максимальна нерівності поверхні ЗПС

Нерівність поверхні, см	Довжина поверхні, м								
	3	6	9	12	15	20	30	45	60
Прийнятна висота нерівності	2,9	3,8	4,5	5	5,4	5,9	6,5	8,5	10
Допустима висота нерівності	3,9	5,5	6,8	7,8	8,6	9,6	11	13,6	16
Максимально прийнятна висота нерівності	5,8	7,6	9,1	10	10,8	11,9	13,9	17	20

Джерело: [13; 14].



Під нерівністю поверхні в цьому випадку розуміють ізольовані відхилення перевищень поверхні, які не лежать на лінії рівномірного ухилу ділянки ЗПС, що розглядається. Під «ділянкою ЗПС» необхідно розуміти сегмент ЗПС, на всій довжині якого переважають або постійний ухил вгору, або постійний ухил вниз, або ж горизонтальна поверхня. Як правило, довжина такої ділянки становить 30–60 м і може залежати від стану покриття та поздовжнього профілю ЗПС [13; 14].

Якщо значення висот нерівностей більші за прийнятні значення, але менші ніж допустимі значення на обумовленому відрізку мінімальної прийнятної довжини, що зветься допустимою зоною, то планують проведення профілактичних робіт на поверхні ЗПС. ЗПС залишається в експлуатації. Якщо значення висот нерівностей більші за допустимі значення, але менші за максимально прийнятні значення на обумовленому відрізку мінімальної прийнятної довжини, що зветься граничною зоною, то обов'язково проводяться ремонтні роботи з відновлення цієї зони. ЗПС може залишатися у експлуатації, але повинна бути терміново відремонтована. Якщо значення висот нерівностей більше максимально прийнятних значень на обумовленому відрізку мінімальної прийнятної довжини, що зветься неприйнятною зоною, то ділянка ЗПС з такими значеннями шорсткості повинна бути закрита та проведений терміновий ремонт з її відновлення [13].

Слід прийняти до уваги примітку в нормативному документі ІСАО [14] стосовно даних табл. 4, а саме «Наведені критерії відносяться до поодиноких випадків шорсткості та не стосуються ні нерівностей, викликаних довгохвильовими гармонічним ефектом, ні хвилеподібними нерівностями, що повторюються».

Графіки категорій нерівностей, побудовані за даними табл. 4 та рекомендацій, наведених у нормативному документі ІСАО [14], показано на рис. 4.

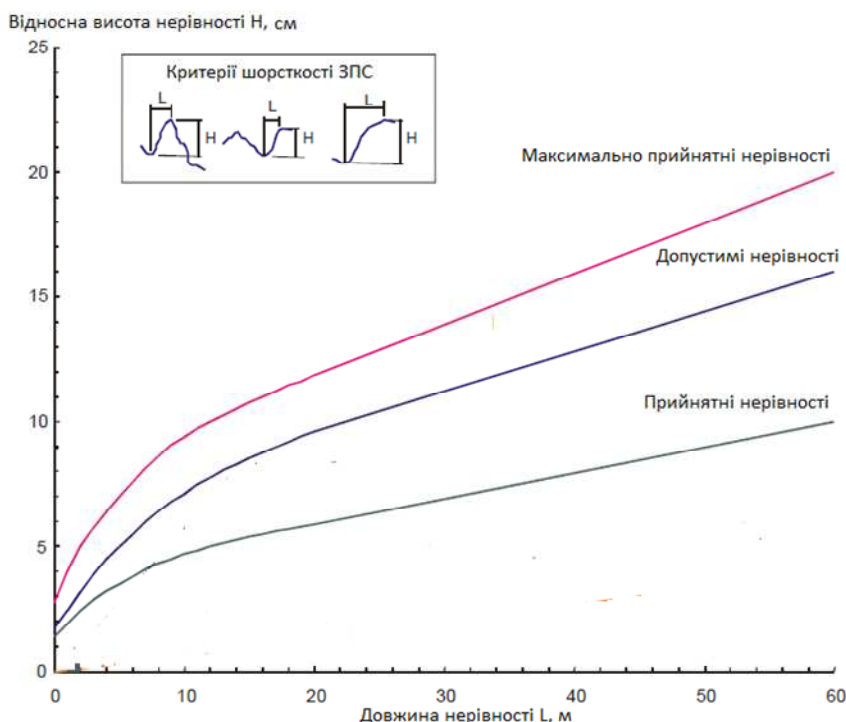


Рис. 4. Графіки категорій нерівностей ЗПС

Джерело: [14].

З рис. 4 видно, що графіки категорій нерівностей перетинають вісь відносних висот нерівностей у точках (тобто стосуються нульового значення довжини нерівності): крива максимально прийнятних висот нерівностей – у точці з висотою нерівності 3 см; крива

допустимих висот нерівностей – у точці з висотою нерівності 1,8 см; крива прийнятних висот нерівностей – у точці з висотою нерівності 1,5 см. Зважаючи на це, як у документі стосовно сертифікаційних вимог до аеродромів [13], так і у документі ІКАО [14] встановлена максимально допустима ступінчаста нерівність між суміжними плитами, яка може складати 1,75 см, що є відносною висотою нерівності на нульовій довжині поверхні ЗПС для кривої допустимих висот нерівностей. Це значення 1,75 см дещо розходиться з граничним значенням перевищення між сусідніми плитами й крайками тріщин 25 мм, наведеним у табл. 3, що репрезентують нормативні вимоги щодо штучних покриттів ЗПС у першій частині сертифікаційних вимог до аеродромів [13]. Тож достеменно не відомо, за перевищенням якого з наведених допусків проводити ремонтні роботи. Граничні значення нерівностей повинні бути однозначними, тому що, наприклад, у випадку розслідування можливої аварії повітряного судна на ЗПС, перевищення нормативних вимог є підставою для винесення осудного рішення. Також зрозуміло, що підставою для відмови у сертифікації конкретного аеродрому може стати перевищення саме менших за значенням показників нерівності ЗПС.

Крім того, у тексті нормативного документа ІКАО [14], як і на рис. 4, взятого звідти ж, поняття нерівності та шорсткості аеродромного покриття виглядають тотожними. Але нерівності покриття спричинюють незручності пасажирам та пілотам під час розбігу чи посадки повітряного судна, а у випадку перевищень нормативних значень – і його пошкодження, про що зазначено в тому ж документі [14]. А наявність шорсткості покриття, як зазначалось вище, є позитивним явищем і потрібне для щеплення шасі повітряного судна з поверхнею покриття.

**Висновки.** У результаті аналізу чинного нормативного документа стосовно сертифікації аеродромів у частині вимог до аеродромних покриттів згруповано у табличному вигляді якісні та кількісні характеристики дефектів: штучної та ґрунтової злітно-посадкових смуг, руліжних доріжок, місць стоянок та перонів аеропорту. Встановлена невідповідність стосовно допустимого значення перевищення між гранями суміжних плит покриття злітно-посадкової смуги, яка складає 25 мм в першій частині сертифікаційних вимог та значенням 17,5 мм, зазначених у другій частині документа, яка відповідає вимогами ІКАО стосовно рівності аеродромних покриттів.

#### Список використаних джерел

1. Про затвердження Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 126. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show>.
2. Крячок С. Д. Топографо-геодезичне забезпечення аеропортів. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1(11). С. 239-251.
3. СНиП 2.05.08-85 Аэродромы. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294845/4294845262.pdf>.
4. СНиП 32-03-96 Аэродромы. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854740.pdf>.
5. Основы проектирования аэродромов. URL: <https://helpiks.org/3-68298.html>.
6. Оценка ровности конструктивных слоев дорожной одежды универсальной дорожной рейкой. URL: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Y8S75NJzMVEJ:bek.sibadi.org/fulltext/epd302.pdf+&cd=7&hl=ru&ct=clnk&gl=ua>.
7. Шероховатость дорожного покрытия и его роль в обеспечении сцепных качеств. URL: <http://www.unidorstroy.kiev.ua/articles-asphalting/sherohovatos-dorozhnogo-pokrytiya.html#:~:text=>.
8. Хом'як А. Я. Інженерні вишукування у транспортному будівництві: навч. посіб. Київ: Знання, 2007. 348 с.
9. Крячок С. Д. Сучасний стан геодезичного моніторингу аеродромних покриттів в Україні. *Технічні науки та технології*. 2020. № 1(19). С. 305-314.
10. Изыскания и проектирование аэродромов / Глушков Г. И. и др.; под ред. Г. И. Глушкова. Москва, 1992. 463 с.

11. ДСТУ Б В.2.3-3-2000 (ГОСТ 30412-96). Дороги автомобільні та аеродроми. Методи вимірювань нерівностей основ і покриттів. [Чинний від 23-02-2000]. Київ, 2000. 10 с. (Стандарт Держбуду України)

12. Сертифікаційні вимоги щодо цивільних аеродромів України: Наказ Державіаслужби України № 201. [Чинний від 10.03.2006]. URL: <https://avia.gov.ua/npd/sertifikatsiya-aerodromiv-aeroportiv-ta-zpm/>.

13. Сертифікаційні вимоги до аеродромів України: Наказ Державіаслужби України № 1346. [Чинний від 22.09.2020]. URL: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2020/09/Nakaz-1346-vid-22.09.2020.pdf>.

14. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Аэродромы. Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. Издание 8. Июль 2018 г. URL: <http://www.caakz.com/wp-content/uploads/2020/03/prilozhenie-14.-aerodromy-tom-i.-proektiro>.

### References

1. *Pro zatverdzenia Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku aeroportiv na period do 2023 roku [About the statement of the State target program of development of the airport for the period till 2023]*. (February 24, 2016). <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show>.

2 Kryachok, S. D. (2018). Topografo-geodezichne zabezpechennia ayeroportiv [Topographic and geodetic maintenance of airports]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, 1 (11), pp. 239-251.

3. Aerodromy [Airfields]. (1985). SNiP 2.05.08-85 from January 1, 1986. Moskov: TsITP Gosstroy USSR. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294845/4294845262.pdf>.

4. Aerodromy [Airfields]. (1996). SNiP 32-03-96 from January 1, 1996. Moskov: GPI i NII GA «Aeroprojekt». <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854740.pdf>.

5. *Osnovy proektirovaniia aerodromov [Fundamentals of airfield design]*. <https://helpiks.org/3-68298.html>.

6. *Otsenka rovnosti konstruktivnykh sloyev dorozhnoy odezhdy universal'noy dorozhnoy reykoj [Evaluation of the flatness of structural layers of pavement with a universal road rail]*. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Y8S75NjzMVEJ:bek.sibadi.org/fulltext/epd302.pdf+&cd=7&hl=ru&ct=clnk&gl=ua>.

7. *Sherokhovatost' dorozhnogo pokrytiya i yego rol' v obespechenii stsepykh kachestv [The roughness of the road surface and its role in ensuring grip]*. <http://www.unidorstroy.kiev.ua/articles-asphalting/sherokhovatost-dorozhnogo-pokrytiya.html#:~:text=>.

8. Khomiak, A. Ya. (2007). *Inzhenerni vyshukuvannya u transportnomu budivnytstvi [Engineering research in transport construction]*. Znannia.

9. Kriachok, S. D. (2020). Suchasnyy stan heodezychnoho monitorynhu aerodromnykh pokryttiv v Ukrayini [Current state of geodetic monitoring of aerodrome surfaces in Ukraine]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, 1(19), pp. 305-314.

10. Glushkov, G. I. (Ed.). (1992). *Izyskaniia i proektirovanie aerodromov [Researches and design of airdromes]*. Transport.

11. Dorohy avtomobilni ta aerodromakh. Metody vymiryuvan nerivnostey osnov y pokryttiv [Roads of automobile and aerodromes. Methodi vimiryuvan irregularities of the basics and pokryttiv]. (DSTU B V.2.3-3-2000 (HOST 30412-96) from February 23, 2000). (2000). Standart Derzhbudu Ukrayiny. <http://profidom.com.ua/v-2/v-2-3/1583-dstu-b-v-2-3-3-2000-gost-30412-96-dorogi-avtomobilni-ta-ajerodromi-metodi-vimiruvan-nerivnostej-osnovi-pokryttiv->.

12. Sertyfikatsiini vymohy shchodo tsyvilnykh aerodromiv Ukrainy [Certification requirements for civil aerodromes of Ukraine]. (March 10, 2006). <https://avia.gov.ua/npd/sertifikatsiya-aerodromiv-aeroportiv-ta-zpm/>.

13. Sertyfikatsiini vymohy do aerodromiv Ukrainy [Certification requirements for airfields of Ukraine]. (September 22, 2020). <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2020/09/Nakaz-1346-vid-22.09.2020.pdf>.

14. *Prilozheniye 14 k Konventsii o mezhdunarodnoy grazhdanskoy aviatsii. Aerodromy. Tom 1. Proyektirovaniye i ekspluatatsiya aerodromov [Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Airfields. Volume 1. Design and operation of aerodromes]*. <http://www.caakz.com/wp-content/uploads/2020/03/prilozhenie-14.-aerodromy-tom-i.-proektiro>.

UDC 528.4

*Serhiy Kryachok***REGULATORY PROVISION ON EQUALITY  
OF AIRFIELD COVERAGE IN UKRAINE**

Ukraine has a developed network of airports and is a world-famous country for transport and passenger aircraft construction. Currently, the State Target Program for Airport Development until 2023 continues to be implemented. The Program carries out modernization of air transport infrastructure, certification of airports taking into account the legislation of the European Union, Eurocontrol documents, Standards and recommendations of the International Civil Aviation Organization ICAO.

One of the most important elements of the airport's infrastructure is its coverage, designed for takeoff and landing of aircraft - the runway, taxiing - taxiways and aircraft parking lots. The safe transportation of passengers and cargo largely depends on their condition, and especially on the condition of the runway coverage. Therefore, it is necessary to constantly monitor the condition of aerodrome surfaces. It is necessary to know the requirements for the qualitative and quantitative characteristics of airfield surface defects to choose one or another method of geodetic monitoring.

The latest open access publications, which are devoted to the regulatory requirements for the equality of aerodrome surfaces, which were applied to the introduction of the current regulatory document were considered. The search for regulatory documents on the equality of aerodrome coverage led to the current certification requirements for aerodromes of Ukraine, dated 22.09.2020.

The main purpose of this article is to analyze the current regulations of Ukraine and ICAO on the characteristics of the equality of aerodrome coverage.

The current order of the State Aviation Service of Ukraine №1346 dated 22.09.2020 on certification requirements for civil aviation aerodromes in relation to aerodrome surfaces is considered. The part of the document on coating defects sets quantitative requirements for these defects for the runway, taxiways, aircraft parking areas, platforms, sidewalks, the ground part of the airfield. These requirements overlap with similar requirements of the previous regulatory document. The technology for determining meso-irregularities of the soil field using a level instrument is presented. The other part of this document discusses the quantitative requirements for the equality of the hard surface of the runway in accordance with the requirements of ICAO.

As a result of the analysis of the current normative document on aerodrome certification in terms of aerodrome coverage requirements, qualitative and quantitative characteristics of defects are grouped in tabular form: artificial and soil runways, taxiways, parking lots and airport platforms. There is a discrepancy between the allowable value of the excess between the faces of adjacent slabs of the runway pavement, which is 25 mm and 17.5 mm, specified in the part of the document that meets the ICAO requirements for the equality of aerodrome surfaces.

The article is a publication of scientific and methodical character.

**Keywords:** ICAO requirements, certification of aerodromes, equality of aerodrome coverings, defects of aerodrome coverings, safety of operation of aerodrome.

Table: 4. Fig.: 4. References: 14.

**Крячок Сергій Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kryachok Serhiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** geodesist2015@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

**ResearcherID:** N-3061-2016

УДК 528.481

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-225-231

Богдан Джуман, Ярина Непеляк

**ПРО ПРЕДСТАВЛЕННЯ АКФ СТНА-ПОЛІНОМАМИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕГІОНАЛЬНОГО ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ**

На сьогодні метод середньої квадратичної колокації вважається одним із найкращих методів для побудови високоточної регіональної моделі геоїда. Основною складністю цього методу є підбір виразу локальної аналітичної коваріаційної функції відтворювального ядра. У цій статті пропонується обчислення цієї функції з використанням розкладу в ряд за СТНА-поліномами. Здійснено апробацію запропонованого підходу та його порівняння із класичним підходом – розкладом у ряд за поліномами Лежандра. В обох випадках коефіцієнти розкладу знайдено за моделлю Чернінга-Раппа. Обґрунтовано перевагу запропонованого методу перед існуючими.

**Ключові слова:** АКФ; регіональне гравітаційне поле; СТНА-поліноми; система висот.

Рис.: 6. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** Діюча нині в Україні Балтійська система висот є морально застарілою і потребує модернізації. У чинній Постанові Кабінету Міністрів України «Деякі питання застосування системи висот UELN/EVRS2000 (Об'єднана європейська нівелірна мережа/Європейська вертикальна референсна система 2000 року)» зазначено, що «виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт починаючи з 1 січня 2023 р. здійснюватиметься із застосуванням системи висот UELN/EVRS2000 (Об'єднаної європейської нівелірної мережі/Європейської вертикальної референсної системи 2000 року)». Для успішної інтеграції нашої системи висот в європейську необхідно побудувати високоточну модель поверхні геоїда на територію України, яка має добре узгоджуватися з моделлю Європейського геоїда EGG2015. Це дозволить використовувати прогресивні супутникові технології для визначення гравітаційнозалежних висот.

**Постановка проблеми.** До основних методів побудови глобального гравітаційного поля Землі відносять метод розкладу геопотенціалу в ряд за сферичними функціями Лежандра [2] та метод середньої квадратичної колокації (СКК) [5]. Незважаючи на різну природу цих методів, вони мають тісний взаємозв'язок. З теорії сучасної фізичної геодезії добре відомо, що існує простий аналітичний зв'язок між коефіцієнтами розкладу аналітичної коваріаційної функції (АКФ) в ряд за поліномами Лежандра та коефіцієнтами розкладу в ряд гравітаційного потенціалу за сферичними функціями Лежандра. Своєю чергою, до основних методів побудови регіонального гравітаційного поля Землі належить метод розкладу геопотенціалу в ряд за сферичними функціями з дробовими індексами (зокрема, СТНА-метод [3]) та метод СКК. Проте на сьогодні не встановлено взаємозв'язків між ними. Побудова АКФ за допомогою СТНА-поліномів, довжина хвилі яких значно менша порівняно з поліномами Лежандра і залежить від площі досліджуваного регіону, дозволить значно покращити точність регіональних моделей гравітаційного поля Землі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз публікацій [4; 5; 6], присвячених знаходженню аналітичного виразу АКФ, показує, що оптимальним шляхом є її розклад у ряд за поліномами Лежандра, які мають гармонічне продовження в просторову область. Крім цього, знаходження коефіцієнтів такого розкладу можливе із використанням моделі Чернінга-Раппа [9], яка себе добре зарекомендувала і нині використовується для побудови моделі геоїда в багатьох країнах світу [1; 7; 8]. Основним недоліком цього підходу є те, що область визначення поліномів Лежандра не збігається з областю визначення вхідних даних (трансформант геопотенціалу) для побудови регіонального гравітаційного поля.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дуже перспективним може бути підхід до побудови АКФ з використанням СТНА-поліномів саме через те, що довжина хвилі даних функцій збігається з площею досліджуваного регіону, а всі інші властивості збігаються із властивостями поліномів Лежандра. Саме тому необхідно здійснити обчислення АКФ із використанням поліномів Лежандра та СТНА-поліномів та виконати аналіз отриманих результатів.

**Мета дослідження.** Дослідити можливість використання СТНА-поліномів для побудови коваріаційних та кросковаріаційних функцій трансформант геопотенціалу за моделлю Чернінга-Раппа.

**Виклад основного матеріалу.** Для побудови моделі гравітаційного поля Землі методом СКК необхідно побудувати коваріаційні та кросковаріаційні функції. Зазвичай за функцію відтворювального ядра приймають коваріаційну функцію збурювального потенціалу  $K(P, Q)$  [5]:

$$K(P, Q) = \sum_{n=N_{max}+1}^{\infty} k_n \left( \frac{R^2}{rr'} \right)^{n+1} P_n(\cos\psi), \quad (1)$$

де  $R$  – середній радіус Землі,  $\psi$  – сферична відстань між біжучими точками  $P$  та  $Q$ ,  $r$  та  $r'$  – сферичні координати точок  $P$  та  $Q$  відповідно,  $P_n$  – поліноми Лежандра,  $\tilde{k}_n$  – коефіцієнти розкладу. Це досить зручно, адже практично всі трансформанти гравітаційного потенціалу можна представити через функцію збурювального потенціалу з використанням лінійних функціоналів [6]:

$$\begin{aligned} N &= \frac{T}{\gamma}, & \Delta g &= - \left[ \frac{\partial T}{\partial r} \right]_{Q_0} - \frac{2T_{Q_0}}{r_{Q_0}}, \\ \xi &= - \frac{1}{\gamma r} \frac{\partial T}{\partial \theta}, \\ \eta &= - \frac{1}{\gamma r \sin \theta} \frac{\partial T}{\partial \lambda}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $T$  – збурювальний потенціал,  $N$  – висота поверхні геоїда над нормальним еліпсоїдом,  $\gamma$  – нормальне значення прискорення сили тяжіння,  $Q_0$  – точка на телуроїді,  $\xi$  і  $\eta$  – відхилення прямовисних ліній у площині меридіанного еліпса і першого вертикалу.

У такому випадку довільна коваріаційна функція  $C$  може бути представлена як [6]

$$C_{ij}(P, Q) = L_i^P L_j^Q K(P, Q), \quad (3)$$

де  $L_i^P$  –  $i$ -ий лінійний функціонал у точці  $P$ ,  $L_j^Q$  –  $j$ -ий лінійний функціонал у точці  $Q$ . Застосовуючи формули (1), (2) та (3) не важко показати, що між коефіцієнтами коваріаційних функцій висот геоїда  $\tilde{k}_n$  та збурювального потенціалу  $k_n$  має місце залежність:

$$k_n = \gamma^2 \tilde{k}_n. \quad (4)$$

Не важко знайти вирази для коваріаційних функцій

$$\begin{aligned} \tilde{C}(P, Q) &= \text{cov}[T(P), \Delta g(Q)], \\ C(P, Q) &= \text{cov}[\Delta g(P), \Delta g(Q)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Використавши формули (1), (2) та (3), отримаємо

$$\begin{aligned} \tilde{C}(P, Q) &= \sum_{n=N_{max}+1}^{\infty} \frac{n-1}{r'} k_n \left( \frac{R^2}{rr'} \right)^{n+1} P_n(\cos\psi), \\ C(P, Q) &= \sum_{n=N_{max}+1}^{\infty} \frac{(n-1)^2}{rr'} k_n \left( \frac{R^2}{rr'} \right)^{n+1} P_n(\cos\psi). \end{aligned} \quad (6)$$

Для визначення коефіцієнтів  $k_n$  можна використати добре відому модель Чернінга-Раппа [9]:

$$k_n = \frac{A}{(n-1)(n-2)(n+B)} s^{n+2}. \quad (7)$$

а  $s$  задається формулою

$$s = \frac{R_B^2}{R^2}, \quad (8)$$

де  $R_B$  – сфера Б'єрхаммара.

У моделі Чернінга-Раппа невідомими слугують чотири параметри:  $N_{max}$ ,  $A$ ,  $B$  та  $s$ . Їх визначають методом підбору на основі емпіричної коваріаційної функції (ЕКФ).

Спробуємо розкласти коваріаційні функції в ряд за СТНА-поліномами. Нагадаємо, що загальний вигляд СТНА-поліномів наступний [3]:

$$\left. \begin{aligned} P_{km}(\theta) &= \sin^m(\theta_0 - |\theta - \theta_{mean}|) \cdot F\left(m - n_k, n_k + m + 1, 1 + m, \frac{1 - \cos(\theta_0 - |\theta - \theta_{mean}|)}{2}\right), \\ &\text{якщо } \theta_{min} \leq \theta \leq \theta_{mean} \\ P_{km}(\theta) &= (-1)^{k+m} \sin^m(\theta_0 - |\theta - \theta_{mean}|) \cdot F\left(m - n_k, n_k + m + 1, 1 + m, \frac{1 - \cos(\theta_0 - |\theta - \theta_{mean}|)}{2}\right), \\ &\text{якщо } \theta_{mean} \leq \theta \leq \theta_{max} \end{aligned} \right\}, (9)$$

де  $\theta_{min}, \theta_{max}, \lambda_{min}, \lambda_{max}$  – координати вершин досліджуваної трапеції,  $\theta_{mean} = \frac{\theta_{min} + \theta_{max}}{2}$ ,  $\theta_0 = \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{2}$ .

Для розкладу розглянутих вище коваріаційних функцій у ряд за СТНА-поліномами (9) спершу задамо жорстку умову  $\theta_{min} = 0$ . У такому випадку функцію відтворювального ядра (коваріаційну функцію збурювального потенціалу)  $K(P, Q)$  запишемо як

$$K(P, Q) = \sum_{l=L_{min}}^{L_{max}} k_l \left(\frac{R^2}{rr'}\right)^{n_l+1} P_{n_l}(\cos\psi). \quad (10)$$

Коефіцієнти розкладу в ряд коваріаційної функції висот геоїда  $\tilde{k}_l$  можна знайти за формулою (4). Формули (6) набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} \tilde{C}(P, Q) &= \sum_{l=L_{min}}^{L_{max}} \frac{n_l-1}{r'} k_l \left(\frac{R^2}{rr'}\right)^{n_l+1} P_{n_l}(\cos\psi), \\ C(P, Q) &= \sum_{l=L_{min}}^{L_{max}} \frac{(n_l-1)^2}{rr'} k_l \left(\frac{R^2}{rr'}\right)^{n_l+1} P_{n_l}(\cos\psi). \end{aligned} \quad (11)$$

Обчислення коефіцієнтів коваріаційної функції збурювального потенціалу також можливе з використанням моделі Чернінга-Раппа в такій редакції:

$$k_l = \frac{A}{(n_l-1)(n_l-2)(n_l+B)} s^{n_l+2}. \quad (12)$$

Для апробації запропонованого алгоритму знайдено коваріаційні функції  $cov[T(P), T(Q)], cov[N(P), N(Q)], cov[T(P), \Delta g(Q)]$  та  $cov[\Delta g(P), \Delta g(Q)]$  за моделлю Чернінга-Раппа з використанням поліномів Лежандра та СТНА-поліномів за ЕКФ, побудованою на основі 213 значень висот геоїда, отриманих із GNSS-спостережень на пунктах ДГМ I, II та III класів на території Львівської області (рис. 1).

Для обчислення ЕКФ за вимірами  $l(\theta, \lambda)$  на обмеженій території, пари вимірів  $l_i$  та  $l_j$  формують у класи  $p$ , що залежать від сферичної відстані [4]:

$$\psi_{p-1} < \psi_{ij} < \psi_p. \quad (13)$$

Тоді ЕКФ можна записати у вигляді:

$$ЕКФ(p) = \frac{1}{N_p} \sum_{ij}^{N_p} l_i l_j. \quad (14)$$

У випадку поліномів Лежандра розклад в ряд відбувався від 361 до 600 порядку, в той час як у випадку СТНА-поліномів – від 3 до 8 порядку. Параметри при використанні поліномів Лежандра:  $A = 50001,2; B=24; s = 0,9997$ , а параметри при використанні СТНА-поліномів:  $A = 129855,6; B=24; s = 0,9997$ . На рис. 2 зображено ЕКФ та АКФ, побудовані з використанням поліномів Лежандра, а на рис. 3-6 відображено отримані коваріаційні функції.

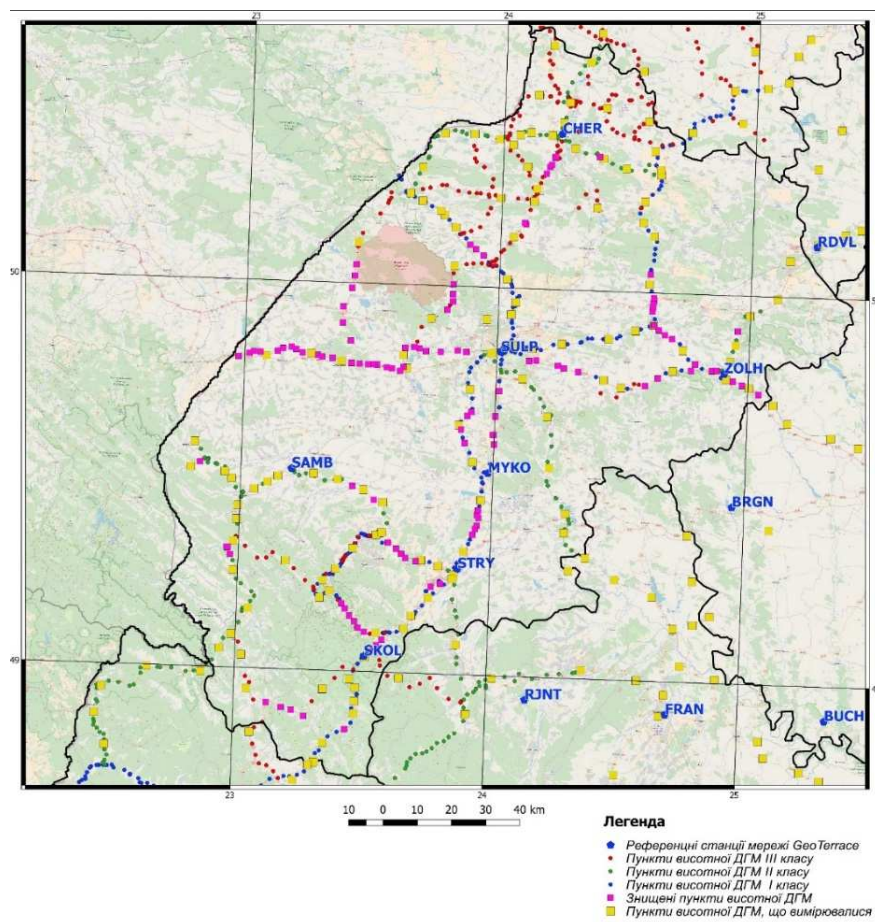


Рис. 1. Спостережувані пункти висотної ДГМ та референцні станції мережі GeoTerrace на території Львівської області

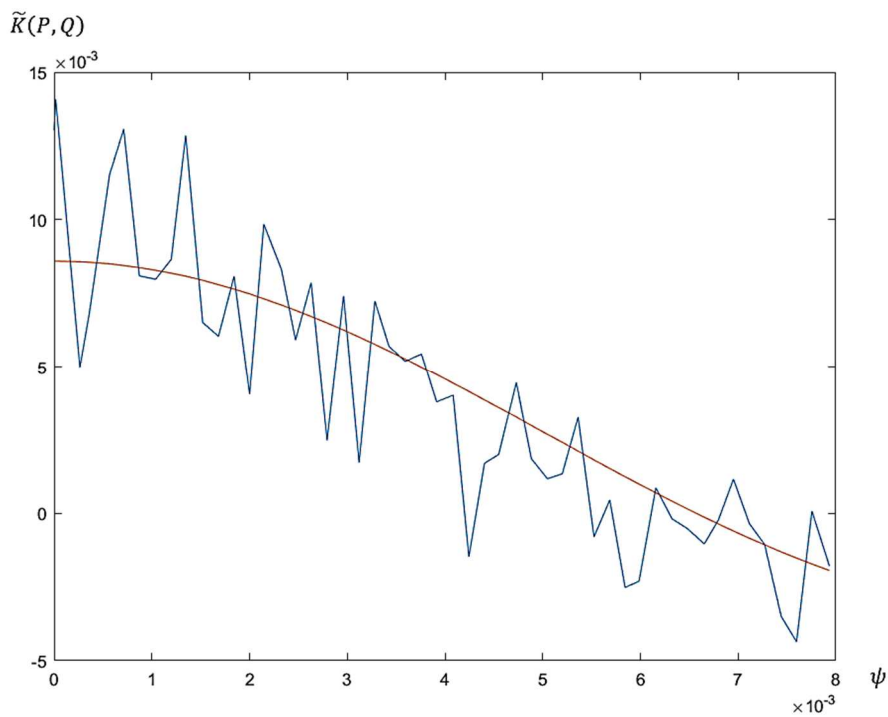


Рис. 2. ЕКФ (синя крива) та АКФ (червона крива)



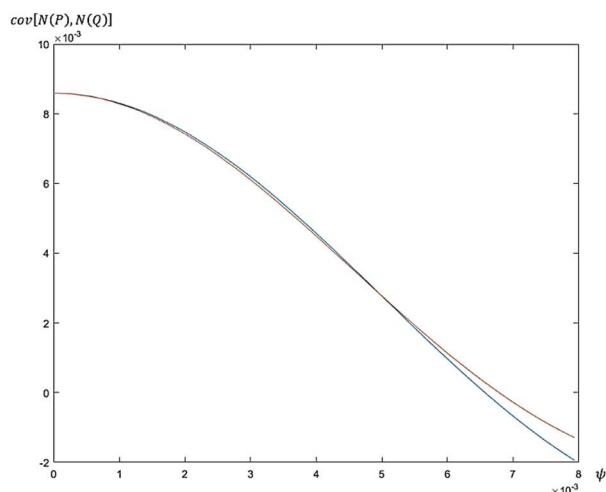


Рис. 3. Коваріаційна функція  $cov[N(P), N(Q)]$ , розкладена в ряд за поліномами Лежандра (синя крива) та СТНА-поліномами (червона крива)

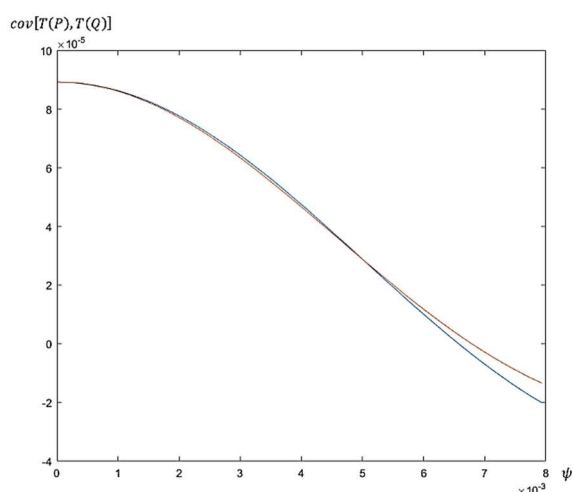


Рис. 4. Коваріаційна функція  $cov[T(P), T(Q)]$ , розкладена в ряд за поліномами Лежандра (синя крива) та СТНА-поліномами (червона крива)

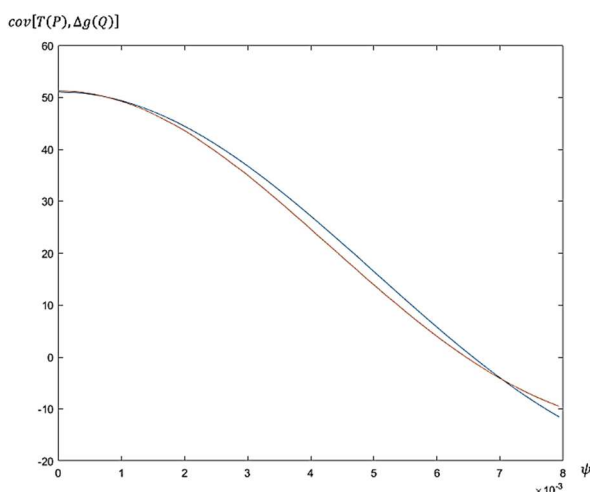


Рис. 5. Коваріаційна функція  $cov[T(P), \Delta g(Q)]$ , розкладена в ряд за поліномами Лежандра (синя крива) та СТНА-поліномами (червона крива)

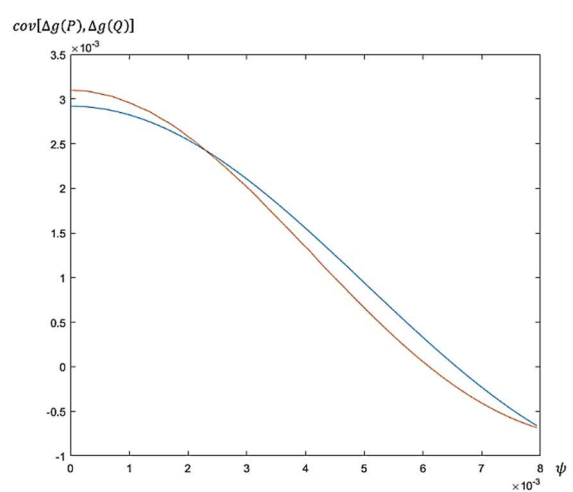


Рис. 6. Коваріаційна функція  $cov[\Delta g(P), \Delta g(Q)]$ , розкладена в ряд за поліномами Лежандра (синя крива) та СТНА-поліномами (червона крива)

**Висновки.** Проаналізовано особливості побудови регіонального гравітаційного поля Землі методом СКК. Запропоновано під час представлення АКФ використовувати замість поліномів Лежандра СТНА-поліноми. Для апробації даної методики обчислено коваріаційні та кросковаріаційні функції на основі ЕКФ, побудованої за значеннями висот геоїда, отриманих із GNSS-спостережень на пунктах ДГМ I, II та III класів на території Львівської області. Встановлено, що в цьому випадку СТНА-поліноми є значно ефективнішими за поліноми Лежандра, оскільки їх область визначення збігається з областю досліджуваного регіону. Для прикладу показано, що для Львівської області розклад коваріаційних функцій у ряд за поліномами Лежандра до 600 порядку є еквівалентний розкладу в ряд за СТНА-поліномами до 8-го порядку.

**Список використаних джерел**

1. Agren J., Kempe C., Jivall L. (2018). Noggrann hojdbestamning med den nya nationella geoidmodellen SWEN17\_RH2000 (in Swedish). Presented at the conference Kartdagarna, 20-22 March 2018, Linkoping, Sweden.
2. Barthelmes, F. & Köhler, W., 2016: International Centre for Global Earth Models (ICGEM). Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J. et al., *The Geodesists Handbook 2016, Journal of Geodesy*. 2016. Vol. 90(10). Pp. 907-1205. DOI: 10.1007/s00190-016-0948z
3. Dzhuman B.B. Modeling of the Earth gravitational field using spherical functions. *Geodesy, cartography and aerial photography*. 2018. Vol. 86. Pp. 5-10.
4. Knudsen P. Estimation and modelling of the local empirical covariance function using gravity and satellite altimeter data. *Bulletin géodésique*. 1987. Vol. 61(2). Pp. 145–160. doi:10.1007/BF02521264.
5. Moritz H. Integral formulas and Collocation. *Man. Geod.* 1, 1976. Pp. 1-40.
6. Moritz H. (1980) *Advanced physical geodesy*. Wichmann, Karlsruhe.
7. Pail R., Kühtreiber N., Wiesenhofer B., Hofmann-Wellenhof B., Ullrich C., Höggerl N., Ruess D., Imrek E. The official Austrian geoid solution 2008: Data, Method and Results. Poster presented at the EGU General Assembly, Vienna, 2009.
8. Schwabe J., Liebsch G., Schirmer U. (2016). Refined computation strategies for the new German Combined Quasigeoid GCG2016. Symposium on Geoid. *Gravity and Height Systems (GGHS2016)*. 19-23 September 2016, Thessaloniki, Greece.
9. Tscherning C. C., Rapp R. H. (1974). Closed covariance expressions for gravity anomalies, geoid undulations, and deflections of the vertical implied by anomaly degree variance models. Report Department of Geodetic Science, no. 208, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

**References**

1. Agren, J., Kempe, C., Jivall, L. (2018). Noggrann hojdbestamning med den nya nationella geoidmodellen SWEN17\_RH2000 (in Swedish). *Presented at the conference Kartdagarna*, 20-22 March 2018, Linkoping, Sweden.
2. Barthelmes, F. & Köhler, W. (2016). International Centre for Global Earth Models (ICGEM), in: Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J. et al., *The Geodesists Handbook 2016, Journal of Geodesy* (2016), 90(10), pp 907-1205, doi: 10.1007/s00190-016-0948z.
3. Dzhuman, B. B. (2018). Modeling of the Earth gravitational field using spherical functions. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 86, pp. 5-10.
4. Knudsen, P. (1987). Estimation and modelling of the local empirical covariance function using gravity and satellite altimeter data. *Bulletin géodésique*, 61(2), pp. 145–160. doi:10.1007/BF02521264.
5. Moritz, H. (1976). Integral formulas and Collocation. *Man. Geod.* 1, pp. 1-40.
6. Moritz, H. (1980) *Advanced physical geodesy*. Wichmann, Karlsruhe.
7. Pail, R., Kühtreiber, N., Wiesenhofer, B., Hofmann-Wellenhof, B., Ullrich, C., Höggerl, N., Ruess, D., Imrek, E. (2009). The official Austrian geoid solution 2008: Data, Method and Results. Poster presented at the EGU General Assembly, Vienna.
8. Schwabe, J., Liebsch, G., Schirmer, U. (19-23 September 2016). Refined computation strategies for the new German Combined Quasigeoid GCG2016. Symposium on Geoid. *Gravity and Height Systems (GGHS2016)*. Thessaloniki, Greece.
9. Tscherning, C. C., Rapp, R. H. (1974). Closed covariance expressions for gravity anomalies, geoid undulations, and deflections of the vertical implied by anomaly degree variance models. *Report Department of Geodetic Science*, 208, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

UDC 528.481

*Bohdan Dzhuman, Yaryna Nepeliak***ON THE REPRESENTATION OF ACF BY STHA-POLYNOMIALS  
FOR MODELING THE REGIONAL GRAVITATIONAL FIELD OF THE EARTH**

*The current Baltic height system in Ukraine is outdated and requires modernization. The current resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine states that "the implementation of topographic, geodetic and cartographic works starting from January 1, 2023 will be carried out using the UELN/EVRS2000 height system." For the successful integration of our height system into the European one, it is necessary to construct a high-precision model of the geoid surface on the territory of Ukraine, which should fit well with the European geoid model EGG2015. This will allow using advanced satellite technologies to determine gravity-dependent heights.*

The main methods of constructing the regional gravitational field of the Earth include the method of geopotential decomposition into series of spherical functions with fractional indices (in particular, the STHA-method) and least-squares collocation method. However, to date, no relationship has been established between them. The construction of ACF using STHA-polynomials, which wavelength is much shorter than the Legendre polynomials and depends on the area of the studied region, will significantly improve the accuracy of regional models of the Earth's gravitational field.

The approach to the construction of ACF using STHA-polynomials can be very promising precisely because the wavelength of these functions coincides with the area of the studied region, and all other properties coincide with the properties of Legendre polynomials. That is why it is necessary to perform ACF calculations using Legendre polynomials and STHA-polynomials and analyze the results.

The solution of this problem is realized by constructing and analyzing the covariance and cross-covariance functions of the geopotential functionals using Legendre polynomials and STHA-polynomials according to the Tscherning-Rapp model. A number of covariance and crossover-covariance functions are calculated and compared using Legendre polynomials and STHA-polynomials according to the Tscherning-Rapp model. The values of geoid heights obtained from GNSS-observations at the points of SGN of I, II and III classes in the territory of Lviv region are taken as input data.

A method for constructing a local ACF using STHA-polynomials is proposed and tested. STHA-polynomials have been found to be significantly more efficient than Legendre polynomials because their domain coincides with that of the region under study. For example, it is shown that for the Lviv region the decomposition of covariance functions in a series by Legendre polynomials up to order 600 is equivalent to the decomposition in a series by STHA-polynomials up to order 8.

**Keywords:** ACF; regional gravitational field; STHA-polynomials; height system.

**Fig.:** 6. **References.:** 9.

**Джуман Богдан Богданович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої геодезії та астрономії, Національний університет «Львівська політехніка» (вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна).

**Dzhuman Bohdan** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University (12 S. Bandery Str., 79000 Lviv, Ukraine).

**E-mail:** teojuman@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2483-6833>

**SCOPUS Author ID:** 57205169776

**Непеляк Ярина Жданівна** – провідний інженер кафедри геодезії та землеустрою, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна).

**Nepeliak Yaryna** – Leading Engineer of the department of Geodesy and Land Management, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (12 S. Bandery Str., 79000 Lviv, Ukraine).

**E-mail:** yarinanepeliak@gmail.com

УДК 629.12.011

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-232-238

Олена Дакі, Роман Гімпель, Віталій Ткаченко, Ольга Бажак

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ МОРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ  
ПРИ ХИТАВИЦІ**

У статті розроблено математичну модель для розв'язання комплексної задачі гідродинаміки та динаміки морських об'єктів довільної форми на хитавиці. Для моделювання гідродинаміки судна на хвилюванні доцільно використовувати математичні моделі єдиного двохфазного середовища повітря – вода. Такі моделі дозволять ефективно моделювати структуру потоку навколо морських об'єктів та коректно враховувати сили, які діють з боку в'язкого середовища для математичного моделювання руху вільного тіла в рідині. Модель хвилювання побудована з використанням функцій релаксацій на границях чисельного басейну, параметри якого були обґрунтовані в процесі проведення серії розрахунків з варіюванням розмірів розрахункових сіток.

**Ключові слова:** гідродинаміка; зони релаксації; модель; морський об'єкт; хитавиця.

Рис.: 1. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** В умовах глобалізації економічних процесів, збільшення населення планети, вичерпності корисних копалин на суходолі, світовий океан, який займає більшу частину нашої планети, являє собою зону виключних економічних інтересів країн. Уже нікого не дивують морські нафто- та газовидобувні платформи, морські трубопроводи та комунікації, морський старт космічних апаратів зі складних морських об'єктів. Тобто, крім класичних суден, з'являються об'єкти нових конструктивних типів, призначених для рішення складних завдань освоєння водного простору. Для конструювання таких складних об'єктів необхідне точне прогнозування їхньої поведінки при зовнішніх впливах морського середовища, в тому числі й хитавиці.

**Постановка проблеми.** З метою розроблення практичних проєктних рекомендацій необхідно правильно моделювати динамічне поведіння морських об'єктів складної форми, тобто отримувати оцінки амплітудно-частотних та фазово-частотних характеристик (при розв'язанні задач у частотній області), отримувати характеристики динамічних процесів (при розв'язанні задач у часовій області). Існуючі математичні моделі стосовно морських об'єктів складної форми в наш час засновані на теорії ідеальної рідини, що значно звужує область можливого практичного застосування. Урахування в'язкісних характеристик рідини особливо необхідно при рішенні завдань, в яких необхідно враховувати складності фізичного процесу хвилеутворення, плівкові ефекти, кавітацію, відносно малу товщину прикордонного шару рідини. Задачі прогнозування динаміки поведінки морських об'єктів при хитавиці також вимагають урахування в'язкості, що і визначає актуальність цієї статті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теорія хитавиці розвивається з робіт Л. Ейлера та Д. Бернуллі. Ці роботи були розвинені В. Фрудом та А. Криловим. У середині ХХ століття була розроблена гідродинамічна теорія хитавиці (Н. Кочін та М. Хаскінд) [1; 2].

На теперішній час для визначення гідродинамічних характеристик морських об'єктів, зокрема й складних форм широко використовуються методи обчислювальної гідродинаміки, засновані на рішенні рівнянь Нав'є-Стокса в різних постановках.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** При розробці сучасних теорій і методів розрахунку хитавиці морських об'єктів на хвилюванні характерно широке застосування паралельних обчислень, хмарних технологій. Застосування сучасних інформаційних технологій дозволило отримати якісно нові результати, засновані на уточнених математичних моделях спільної задачі гідродинаміки і динаміки судна. Однак на сьогодні для врахування деяких параметрів хитавиці морських об'єктів, таких як в'язкісні коефіцієнти, широко використовуються емпіричні формули, отримані експериментальним шля-

хом. Один з методів, заснований на моделі ідеальної рідини, – панельний метод, який застосовується до об'єктів довільної форми з нульовою швидкістю ходу [3]. Таке спрощення прийнятне для більшості закріплених або плавучих об'єктів, що використовуються на сьогодні в морській індустрії. У роботі [4] розроблено підхід для моделювання руху судна при хитавиці. У цьому методі використовується гібридна модель взаємодії хвиль і тіла. Хвильовий рух моделюється на основі потенційної теорії, у той час як рух рідини поблизу ділянки об'єкта, наприклад, корми, розглядається як в'язкий, та описується усередненим за Рейнольдсом рівняннями Нав'є-Стокса. У роботі [5] використовувалася модель в'язкої рідини, в основі якої лежать рівняння Нав'є-Стокса, доповнені методом визначення об'єму рідини. Для моделювання хитавиці автори запропонували використовувати функцію джерела маси в рівнянні нерозривності. Метод був використаний у декількох чисельних експериментах для різних типів хвиль та показав гарні результати щодо генерації хвиль у стиснутій області (каналі) [6]. Однак більшість розрахунків було проведено у двомірній постановці задачі.

З огляду на наявні дослідження, питання моделювання динаміки морських об'єктів при хитавиці можна зробити висновок, що для моделювання гідродинаміки судна на хвилюванні доцільно використовувати математичні моделі єдиного двохфазного середовища повітря – вода, в основі якого лежать рівняння руху в'язкої рідини. Такі моделі дозволять ефективно моделювати структуру потоку навколо морських об'єктів та коректно враховувати сили, які діють з боку в'язкого середовища для математичного моделювання руху вільного тіла в рідині.

**Мета статті.** Розробка математичної моделі для розв'язання комплексної задачі гідродинаміки та динаміки морських об'єктів довільної форми на хитавиці.

**Виклад основного матеріалу.** Розробимо математичну модель руху вільного тіла в рідині. Оскільки тверде тіло має у загальному випадку шість ступенів свободи, то загальна система рівнянь руху повинна містити шість незалежних рівнянь. Їх можна представити у вигляді, який визначає похідні за часом від двох векторів: імпульсу та моменту тіла. Для опису руху твердого тіла можна користуватися трьома координатами його центра ваги та трьома ейлеровими кутами, які визначають орієнтацію даних осей  $x, y, z$  рухомої системи координат відносно нерухомої системи  $X, Y, Z$ .

Нехай на тіло діє результуюча сила виду:

$$\vec{F} = \vec{F}_g + \vec{F}_A + \vec{F}_p, \quad (1)$$

яка складається з сили тяжіння  $\vec{F}_g = m\vec{g}$ , сила Архімеда  $\vec{F}_A$  та основного вектору гідродинамічних сил  $\vec{F}_p$ , а також результуюча пара

$$\vec{M}_c = \vec{M}_c^A + \vec{M}_c^P \quad (2)$$

у вигляді моментів сили Архімеда  $\vec{M}_c^A$  та головного моменту гідродинамічних сил відносно центру мас  $\vec{M}_c^P$ .

Перенесений поступальний рух визначається трьома рівняннями руху в проекціях на глобальні осі координат:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{X}_c &= F_X = F_{pX}; \\ m\ddot{Y}_c &= F_Y = F_{pY}; \\ m\ddot{Z}_c &= F_Z = mg + F_A + F_{pZ}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де  $m$  – маса тіла.

Відносний обертальний рух тіла в проекціях на локальні рухомі осі визначається динамічними рівняннями Ейлера [7]:

$$\left. \begin{aligned} J_x \dot{\omega}_x - (J_y - J_z) \omega_y \omega_z &= M_x; \\ J_y \dot{\omega}_y - (J_z - J_x) \omega_z \omega_x &= M_y; \\ J_z \dot{\omega}_z - (J_x - J_y) \omega_x \omega_y &= M_z. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Якщо систему (4) доповнити кінематичними рівняннями Ейлера з точністю до малих першого порядку, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} J_x \ddot{\theta} &= M_x + (J_y - J_z) \omega_y \omega_z; \\ J_y \ddot{\psi} &= M_y + (J_z - J_x) \omega_z \omega_x; \\ J_z \ddot{\varphi} &= M_z + (J_x - J_y) \omega_x \omega_y, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де  $J_x, J_y, J_z$  – головні центральні моменти інерції маси твердого тіла відносно рухомих центральних осей  $x, y, z$ ,  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – проєкції кутової швидкості судна та  $M_x, M_y, M_z$  – проєкції головного моменту всіх сил на вісі  $x, y, z$ ;  $\theta$  – кут крену;  $\psi$  – кут диференту;  $\varphi$  – кут рискання, а  $\ddot{\theta}, \ddot{\psi}$  та  $\ddot{\varphi}$  – відповідні кутові прискорення.

Системи диференціальних рівнянь (3) та (4) визначають рух вільного твердого тіла. Перша з них характеризує поступальний рух разом з центром мас щодо глобальних нерухомих осей, а друга описує обертальний рух навколо центра мас та містить моменти  $M_x, M_y$  та  $M_z$  зовнішніх сил щодо рухомих осей.

#### Моделювання в'язкої рідини.

Рух натурального судна на спокійній воді відбувається при досить високих значеннях числа Фруда  $F_r = u/\sqrt{gL}$ , як наслідок, при достатньо високих значеннях числа Рейнольдса:  $R_e = uL/\nu > 10^8$ , де  $u$  – швидкість руху морського об'єкта,  $L$  – його характерна довжина;  $\nu$  – кінематична в'язкість рідини. У цьому випадку рух рідини носить турбулентний характер. Нині є чотири методи обчислення параметрів турбулентного руху рідини [8], які наведені на рис. 1.

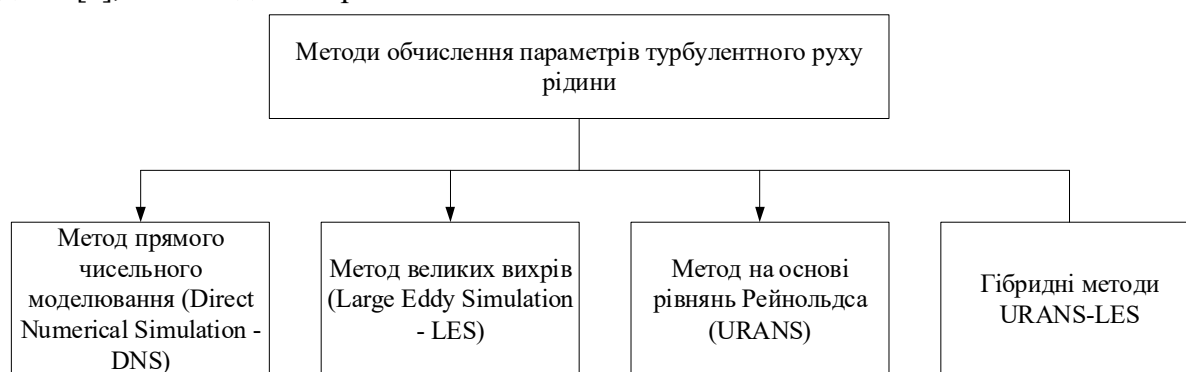


Рис. 1. Методи обчислення параметрів турбулентного руху рідини [8]

У цьому дослідженні використовується метод URANS у зв'язку з тим, що він має добру східність для розв'язання інженерних задач обчислювальної гідродинаміки, пов'язаних з обчисленнями турбулентного обтікання морських об'єктів.

#### Моделювання вільної поверхні.

На теперішній час існує два основних методи для моделювання вільної поверхні. У першому методі вільна поверхня представляє собою границю розрахункової області, що змінюється з часом. На границі ставляться кінематичні та динамічні граничні умови, які визначають її еволюцію. При цьому вважається, що поверхня розділу фаз вода-повітря змінюється не суттєво. У літературі цей напрям відомий за назвою методу спостереження за інтерфейсом (interface-tracking method). Інший метод отримав назву методу за-

хоплення (або фіксації) інтерфейсу (interface-capturing), газ та краплинна рідина розглядається як багатофазне середовище, яке являє собою єдину субстанцію, але що має різні властивості [9].

**Математична гідродинамічна модель.**

Турбулентна течія в'язкої нестискаємої рідини може бути описана усередненими рівняннями нерозривності та Рейнольдса:

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0;$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = \frac{-\partial \langle p \rangle}{\rho \partial x_j} + \frac{\partial^2 \langle u_i \rangle}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial \langle u_i' u_j' \rangle}{\partial x_j} + g_i + F_\sigma, \quad (6)$$

де  $F_\sigma$  – сила поверхневого натягу рідини.

Розглядається абсолютний рух рідини та область руху переміщується відносно нерухомої системи координат. Границя розділу фаз повітря – вода може бути ефективно описана за допомогою методу об'ємної фракції рідини VoF [10].

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \alpha_q}{\partial x_j} = \frac{-\partial \langle \alpha_q (1 - \alpha_q) U_r \rangle}{\partial x_j}, \quad (7)$$

де  $U_r$  – поле швидкості стискання границі, а фактично – антидифузія. Введений параметр  $\alpha_q(1 - \alpha_q)$  активний лише поблизу границі.

Для замикання рівняння Рейнольдса використовується градієнтно-дифузійна гіпотеза:

$$\langle u_i' u_j' \rangle = 2\nu_t \langle S_{ij} \rangle, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right), \quad (8)$$

де  $\nu_t$  – турбулентна в'язкість, локально ізотропна та  $k - \omega$  SST модель турбулентності [11]:

$$\nu_t = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1, \omega, SF_2)}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = P_k - \beta k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + \sigma_k \nu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]; \quad (10)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha S^2 - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + \sigma_\omega \nu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \sigma_\omega^2 \frac{\partial k \partial \omega}{\omega \partial^2 x_i}, \quad (11)$$

де

$$F_2 = \tanh \left[ \left( \max \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta \omega y}; \frac{500v}{y^2 \omega} \right) \right)^2 \right]; \quad (12)$$

$$P_k = \min \left( \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}; 10\beta k \omega \right); \quad (13)$$

$$F_1 = \tanh \left[ \left\{ \min \left( \max \left[ \frac{2\sqrt{k}}{\beta \omega y}; \frac{500v}{y^2 \omega} \right]; \frac{4\sigma_\omega k}{CD_{k\omega} y^2} \right) \right\}^2 \right]; \quad (14)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left( 2\rho \sigma_\omega^2 \frac{\partial k \partial \omega}{\omega \partial^2 x_i}; 10^{-10} \right); \quad (15)$$

$$\phi = \phi_1 F_1 - \phi_2 (1 - F_1) \quad (16)$$

з коефіцієнтами:  $\alpha_1 = \frac{5}{9}$ ;  $\alpha_2 = 0,44$ ;  $\beta_1 = 3/40$ ;  $\beta_2 = 0,0828$ ;  $\sigma_{k1} = 0,85$ ;  $\sigma_{k2} = 1$ ;  $\sigma_{\omega 1} = 0,85$ ;  $\sigma_{\omega 2} = 0,856$ .

Методика моделювання турбулентного руху в'язкої рідини з вільною поверхнею представлена та підтверджена в [12].

Початкові умови. У початковий момент часу покладається, що відомі компоненти вектора швидкості, тиск, кінетична енергія турбулентності та швидкість її дисипації, розподіл об'ємної фракції рідини.

**Моделювання хвилювання.**

Для чисельного моделювання потоків із гравітаційними хвилями звичайно використовуються два різних методи. Один із них заснований на гіпотезі безвихрового (потенційного) руху. Для моделювання потоку використовується спектральна теорія або застосовуються граничні інтегральні рівняння. Інший метод заснований на рівняннях Навьє-Стокса або Ейлера, які розв'язуються без явних спрощень [2; 8].

Потенційним потоком можна точно описати нестационарні гравітаційні хвилі кінцевих амплітуд, що можуть моделюватися з усіма нелінійними ефектами та без якого-небудь істотного хвильового загасання [9]. Однак взаємодія хвиль із течіями, зокрема, з полями кутових швидкостей, таким методом описати складно через властиві спрощення. Вплив в'язкості або турбулентності на рух хвилі також не може бути врахований.

При розв'язанні рівнянь Навьє-Стокса такі обмеження, пов'язані з відсутністю кутових швидкостей, в'язкості й турбулентності, не накладаються. Водночас розв'язання нестационарних рівнянь Навьє-Стокса для опису вільної поверхні звичайно призводять до порівняно великих числових помилок, що не дозволяє проводити точні довгострокові реалізації гравітаційних хвиль. Ці помилки виявляються головним чином у таких випадках.

По-перше, дуже складно точно описати геометрію вільної поверхні та її еволюцію в часі, якщо тільки область рідини не дискретизована досить точно в межах її границь, наприклад, використовуючи метод спостереження за вільною поверхнею. У цьому випадку граничні умови повинні бути сформульовані в рухомій системі координат, що призводить до значного збільшення часу на проведення чисельного моделювання. Такий підхід був введений у роботі Чана [13], який часто називають методом рухомої сітки (Arbitrary Lagrangian-Eulerian – ALE).

По-друге, для умов нестисливого потоку граничні умови звичайно модифікують, щоб забезпечити коректний зв'язок між полем швидкості і полем тиску. Це робиться або шляхом введення в граничні умови параметрів, що моделюють штучну стискальність, або з використанням методів, заснованих на SIMPLE/PISO алгоритмах, методах маркерів (MAC) або дробового кроку.

Реалізація граничних умов щодо тиску для твердих стінок у цих методах відносно проста, однак, на вільній поверхні вони працюють обмежено, оскільки необхідне точне визначення абсолютного значення тиску для правильного опису переносу між потенційною та кінетичною енергією в хвильовому русі.

Для рішень даних проблем використовується модифікована версія методу VoF [10], що зводиться до введення штучного члена для піджимання інтерфейсу поблизу вільної поверхні, а для виключення чисельних помилок, накопичених згодом при моделюванні гравітаційних хвиль, вводяться зони релаксації.

**Висновки.** Для коректного розв'язання задачі урахування хитавиці морського об'єкту необхідне повне урахування всіх складових зовнішніх впливів. Насамперед це стосується параметрів моделі турбулентності, що визначають величину результуючої сили.

Сьогодні усі методи, які використовуються в обчислювальній гідродинаміці для розв'язання рівнянь руху в'язкої рідини, поєднують під одною загальною назвою – проєкційний метод. Таке узагальнення пов'язане насамперед із тим, що будь-яку апроксимацію можна розглядати як спосіб побудови мінімізуючої послідовності похибок рішення на множині проєкційних функцій.

Модель хвилювання побудована з використанням функцій релаксації на границях чисельного басейну, параметри якого були обґрунтовані в процесі проведення серії розрахунків з варіюванням розмірів розрахункових сіток.

**Список використаних джерел**

1. Кочин Н. Е. Введение в теоретическую гидромеханику. Москва : Гостехтеоритиздат, 1932. 418 с.



2. Хаскинд М. Д. Гидродинамическая теория качки корабля на волнении. *ПММ*. 1946. Т. X. Вып. 1. С. 3-37.
3. Journee, J.M.J. & Massie, W.W. 2001. *Offshore Hydromechanics*. Delft University of Technology.
4. Luquet, Romain & Alessandrini, B., Ferrant, P., Gentaz, L. (2004). Simulation of the viscous Flow past a Ship in Waves using the SWENSE Approach.
5. Lin P., Liu P.L.-F. Internal wave-maker for Navier-Stokes equations models. *J. Waterway Port Coastal and Ocean Eng.* 1999. Vol. 125. № 4. Pp. 207-215.
6. Lin P., Karunarathna S.A.S. Numerical study of solitary wave interaction with porous breakwaters. *J. Waterway Port Coastal Ocean Eng.* 2007. Vol. 133. № 5. Pp. 352-363.
7. Шахверди Г.Г. Исследование ударного взаимодействия твёрдых тел с жидкостью потенциальным методом конечных элементов. Казань, 2005. Том 1. Изд-во Казанского ун-та, С. 110–118.
8. Pope S.B. *Turbulent flow*. Cambridge Uni. Press, 2005. P. 771.
9. Carrica P., Wilson R., Stern F. Single-phase level set method for unsteady viscous free surface flows. *Mecanica Computacional*. 2004. V. XXIII. Pp. 1613-1631.
10. H. Rusche, Computational fluid dynamics of dispersed two-phase flows at high phase fractions (Ph.D. thesis), Imperial College of Science, Technology and Medicine, 2002.
11. F. Menter. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAAJ*. 1994. № 32. Pp. 1598-1605.
12. Елизарова Т. Г. Численное моделирование колебаний жидкости в топливных баках. *Математическое моделирование*. 2013. Т. 25, № 3. С. 75–88.
13. R.K.C. Chan, A generalized arbitrary Lagrangian–Eulerian method for incompressible flows with sharp interfaces. *J. Comput. Phys.* 1975. № 17. Pp. 311–331.

### References

1. Kochin, N.E. (1932). *Vvedenie v teoreticheskuiu gidromekhaniku [Introduction to theoretical fluid mechanics]*. Gostekhteorizdat.
2. Khaskind, M. D. (1946). *Gidrodinamicheskaya teoriya kachki korablia na volnenii [Hydrodynamic theory of the rocking of a ship on waves]*. *PMM – PMM*, X(1), pp. 3-37.
3. Journee, J.M.J. & Massie, W.W. (2001). *Offshore Hydromechanics*. Delft University of Technology.
4. Luquet, Romain & Alessandrini, B., Ferrant, P., Gentaz, L. (2004). *Simulation of the viscous Flow past a Ship in Waves using the SWENSE Approach*.
5. Lin, P., Liu, P.L.-F. (1999). *Internal wave-maker for Navier-Stokes equations models*, (4), pp. 207-215.
6. Lin, P., Karunarathna, S.A.S. (2007). *Numerical study of solitary wave interaction with porous breakwaters*, (5), pp. 352-363.
7. Shakhverdi, G. G. (2005). *Issledovanie udarnogo vzaimodeistviya tverdykh tel s zhidkostiu potencialnym metodom konechnykh elementov [Investigation of the shock interaction of solids with a liquid by the potential finite element method]* (pp. 110-118).
8. Pope, S.B. (2005.). *Turbulent flow*. Cambridge Uni.
9. Carrica, P., Wilson, R., Stern, F. (2004). *Single-phase level set method for unsteady viscous free surface flows*. *Mecanica Computacional* (pp. 1613-1631).
10. H. Rusche. (2002). *Computational fluid dynamics of dispersed two-phase flows at high phase fractions*. Technology and Medicine.
11. F. Menter. (1994). *Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications*. *AIAAJ*, 32, pp. 1598-1605.
12. Elizarova, T. G. (2013). *Chislennoe modelirovanie kolebanii zhidkosti v toplivnykh bakakh [Numerical Simulation of Fluid Oscillations in Fuel Tanks]*. *Matematicheskoe modelirovanie – Math modeling*, 25(3), pp. 75–88.
13. R.K.C. Chan. (1975). A generalized arbitrary Lagrangian–Eulerian method for incompressible flows with sharp interfaces. *Phys*, (17), pp. 311–331.

UDC 629.12.011

*Olena Daki, Roman Gimpel, Vitaliy Tkachenko, Olga Bazhak*  
**MATHEMATICAL MODELS OF DYNAMICS  
OF MARINE OBJECTS DURING SHIP MOTIONS**

*In order to develop practical design recommendations, it is necessary to model correctly the dynamic behavior of marine objects of complex shape, to obtain estimates of amplitude-frequency and phase-frequency characteristics (when solving problems of the frequency domain), to obtain characteristics of dynamic processes (when solving problems of the time domain). Analysis of research and publications on this issue has shown that the existing mathematical models for marine objects of complex shape are currently based on the theory of an ideal fluid, which significantly narrows the scope of practical application. The aim of the article is to develop a mathematical model for solving a complex problem of hydrodynamics and dynamics of marine free-shape objects during ship motions. The paper notes that taking into account the viscosity characteristics of the fluid is especially necessary when solving problems that require consideration of the complexity of the physical process of wave formation, film effects, cavitation, relatively small thickness of the boundary layer of the fluid. In order to correctly solve the problem of taking into account the oscillation of a marine object, it is necessary to fully take into account all the components of external influences. This primarily applies to the parameters of the turbulence model, which determine the magnitude of the resulting force. At present, all the methods used in computational hydrodynamics to solve the equations of motion of a viscous fluid are united under one common name - the projection method. This generalization, first of all, is due to the fact that any approximation can be considered as a way to construct a minimizing sequence of solution errors on the set of projection functions. The article for the first time develops a mathematical model for solving a complex problem of hydrodynamics and dynamics of marine free-shape objects during ship motions. The wave model was constructed using relaxation functions at the boundaries of a numerical basin, which parameters were substantiated in the process of conducting a series of calculations with variations in the sizes of the calculation grids.*

*The wave model was constructed using relaxation functions at the boundaries of a numerical basin, the parameters of which were substantiated in the process of conducting a series of calculations with variations in the sizes of the calculation grids.*

**Keywords:** hydrodynamics, relaxation zones, model, marine object, ship motions.

*Fig. : 1. Reference: 13.*

**Дакі Олена Анатоліївна** – доктор технічних наук, доцент, директор Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Daki Olena** – Doctor of Technical Sciences Associate Professor, Director of Danube Institute of Water Transport, State University of Infrastructure and Technologies (7 Fanagoriyska Str., 68600 IZMAIL, Ukraine).

**E-mail:** daki-olena@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>

**Гімпель Роман Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті. Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Gimpel Roman** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Navigation and Operation of Technical Systems on Water Transport. Danube Institute of Water Transport of the State University of Infrastructure and Technology (7 Fanagoriyska Str., 68600 IZMAIL, Ukraine).

**E-mail:** roma.gimpel@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0546-6654>

**Ткаченко Віталій Володимирович** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті. Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Tkachenko Vitaliy** – Senior Lecturer of the Department of Navigation and Operation of Technical Systems on Water Transport. Danube Institute of Water Transport of the State University of Infrastructure and Technology (7 Fanagoriyska Str., 68600 IZMAIL, Ukraine).

**E-mail:** vvt1960@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9142-0515>

**Бажак Ольга Валеріївна** – асистент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті. Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій (вул. Фанагорійська, 7, м. Ізмаїл, 68600, Україна).

**Bazhak Olga** – Assistant of the Department of Navigation and Operation of Technical Systems on Water Transport. Danube Institute of Water Transport of the State University of Infrastructure and Technology (7 Fanagoriyska Str., 68600 IZMAIL, Ukraine).

**E-mail:** olyabazhak@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0598-5235>

## РОЗДІЛ V. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 623.746.-519

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-239-248

*Андрій Лось, Сергій Рудніченко, Василь Соболев, Олександр Велігорський*

### ОГЛЯД ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ СУЧАСНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗЬОТУ ТА ПОСАДКИ

*Здійснено огляд систем електроживлення двох сучасних військових безпілотних літальних апаратів з системою вертикального зльоту та посадки та мультикоптерів відповідно до останніх проведених досліджень та випробувань. Наведено перелік основного бортового обладнання таких безпілотних літальних апаратів та їхні потужності споживання. Наведено розрахунок часу польоту з урахуванням бортових джерел електроживлення.*

*Представлена у статті інформація має оглядовий характер.*

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати; система електроживлення; система вертикального зльоту й посадки.

*Рис.: 6. Бібл.: 7.*

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні безпілотні літальні апарати (далі – БпЛА) вертикального зльоту та посадки мають систему електроживлення, яка забезпечує значну кількість обладнання починаючи від системи автоматизованого управління і закінчуючи гіростабілізованою оптико-електронною системою [1] (далі – ГЕОС). Останнім часом у зв'язку зі зростанням попиту на БпЛА ударної дії [2] та БпЛА вертикального зльоту і посадки [3], разом з одночасним розширенням діапазона їх застосування, збільшується і кількість додаткового обладнання на борту БпЛА. Нині актуальною є оцінка впливу встановленого обладнання БпЛА на час перебування в повітрі.

**Постановка проблеми.** Огляд результатів досліджень БпЛА вертикального зльоту й посадки дозволить розробникам та дослідникам отримати актуальні дані щодо електроспоживання обладнання та його впливу на час польоту БпЛА. Це, відповідно, дасть можливість оптимізувати параметри енергоспоживання та збільшити тривалість польоту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За час з 2019 по 2021 роки Державним науково-дослідним інститутом випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки проведено ряд випробувань безпілотних авіаційних комплексів (далі – БпАК) вертикального зльоту та посадки, серед яких – визначальні відомчі випробування БпАК мультироторного типу та визначальні відомчі випробування тактичного БпАК з системою вертикального зльоту і посадки. Відповідно до програм випробувань було проведено оцінювання систем електроспоживання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дослідникам на даний час доступні тільки теоретичні розрахунки системи електроспоживання, однак випробування різних типів БпАК дозволяє отримати об'єктивну інформацію щодо реального часу польоту БпЛА з бортовими системами електроживлення, з урахуванням роботи всіх споживачів та порівняти її з результатами теоретичних розрахунків.

**Мета статті.** Теоретична та експериментальна оцінка систем електроживлення, розрахунок часу польоту вітчизняних БпЛА з системою вертикального зльоту та посадки (мультикоптерів) з урахуванням проведених випробувань.

**Виклад основного матеріалу.** БпАК мультироторного типу умовно поділяються на кілька категорій, причому за різними ознаками. Наприклад, їх можна класифікувати за кількістю двигунів. На визначальні відомчі випробування був наданий БпАК мультироторного типу Y подібної схеми з шістьма двигунами [4]. Приклад Y подібного БпАК мультироторного типу зображено на рис. 1. Заявлені характеристики БпАК мультироторного типу (рис. 1) наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Тактико-технічні характеристики БпАК мультироторного типу

Тактичний радіус, км	8
Максимальна злітна маса, кг	11,5
Двигун, кількість (тип)	6 (електричні)
Максимальна тривалість польоту, хв	40
Максимальна допустима швидкість, км/год	80



Рис. 1. Загальний вигляд БпЛА У подібної схеми з шістьма двигунами [5]

Система електроживлення БпЛА призначена для живлення споживачів постійним струмом номінальною напругою 29,6 В. Джерелом електричного струму є батарея живлення (далі – АКБ) ємністю 35000 мАг, споживачами є: шість безщіткових двигунів, шість контролерів керування двигунами, плата комутації, модуль приймача каналу телеметрії (далі – приймач LRS), модуль автоматизованої системи управління (далі – АСУ-2), два сервоприводи випуску шасі (далі – сервоприводи), модуль передачі відео PDDL900 (далі – PDDL900), модуль автоматичного залежного спостереження - радіомовного ADS-B (далі – ADS-B), система лазерних датчиків (далі – LIDAR), гіростабілізована оптико-електронна система (далі – ГОЕС).

Інженерний аналіз достатності потужності джерел електроживлення БпАК проводився на підставі паспортних даних електричних характеристик споживачів електроенергії.

Під час випробувань для достатності потужності систем електроживлення необхідне виконання рівняння (1):

$$P_{\text{СП}} < P_{\text{ДЖ}}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{СП}}$  – сума потужностей усіх споживачів електричної енергії (складових частин БпЛА), Вт;

$P_{\text{ДЖ}}$  – сума потужностей усіх джерел живлення (АКБ, генератори та інше), Вт.

Потужності джерел живлення, з урахуванням технологічного залишку потужності батарей, повинно бути достатньо для живлення всіх споживачів БПЛА на визначений час роботи за призначенням. Технологічний залишок потужності батареї – це величина потужності, нижче якої, згідно з інструкцією з експлуатації на батарею, її заборонено розряджати.

Таким чином, у розрахунках балансу потужність АКБ береться з відніманням від номінальної потужності відсотка технологічного залишку:

$$P_{дж} = \sum_{j=1}^m k_{джj} (P_{ном джj} - P_{тоj}), \quad (2)$$

де  $P_{ном джj}$  – номінальна потужність  $j$ -го джерела живлення, Вт;

$P_{тоj}$  – технологічний залишок потужності  $j$ -го джерела живлення, Вт;

$k_{джj}$  – кількість  $j$ -х джерел живлення, од.;

$m$  – кількість видів джерел живлення, од.

При розрахунку потужності споживання бортового обладнання потрібно врахувати час роботи всіх споживачів, для чого застосовано інженерний аналіз роботи складових частин обладнання за одиницю часу:

$$K_{чpi} = T_{oi}/60, \quad (3)$$

де  $K_{чpi}$  – коефіцієнт часу роботи  $i$ -го обладнання;

$T_{oi}$  – час роботи  $i$ -го обладнання протягом одиниці часу, хв;

60 – кількість хвилин в годині.

Розрахункова споживча потужність обладнання дорівнює:

$$P_{сп} = \sum_{i=1}^n P_{спi} = \sum_{i=1}^n k_{спi} K_{чpi} P_{ном спi}, \quad (4)$$

де  $k_{спi}$  – кількість  $i$ -х споживачів енергії, од.;

$P_{ном спi}$  – номінальна потужність споживання  $i$ -го споживача енергії, Вт;

$n$  – кількість видів споживачів енергії, од.

Для розрахунку часу роботи  $T_{пол}$  БПАК в годинах було визначено відношення допустимої витрати потужності джерела живлення  $P_{дж}$  до розрахункової споживчої потужності обладнання:

$$T_{пол} = P_{дж}/P_{сп}. \quad (5)$$

У результаті математичних підрахунків отриманий результат порівнюють з заявленими характеристиками і перевіряється під час льотних випробувань.

Перевірка значень потужностей, що споживає БПЛА проводиться за логами польоту. Фіксацію даних значень можливо здійснювати за показаннями на моніторі наземної станції керування.

Результати аналізу потужності бортового обладнання у відповідності до паспортних даних наведено в таблицях 2 та 3. Коефіцієнт часу роботи обладнання враховує час використання цього обладнання щодо загального часу польоту БПЛА.

Теоретичні розрахунки показали, що при наявних акумуляторних батареях БПЛА здатен знаходитися в повітрі 42 хвилини.

З метою підтвердження теоретичних розрахунків були проведені льотні випробування БПЛА та оцінено різницю між розрахунковим часом польоту БПЛА та практичним. При виконанні польотів здійснювалась перевірка достатності потужності джерел електроживлення на максимально заявлений (40 хвилин) час у повітрі, який становив 48 і 44 хвилин.

Таблиця 2. Перелік бортового обладнання з урахуванням розрахункової потужності споживання

№ з/п	Найменування обладнання	Кількість $k_{СПі}$	Номинальна напруга обладнання, $V_{СПі}$	Струм споживання, $I_{СПі}$	Номинальна потужність $P_{ном\ СПі}$	Коефіцієнт часу роботи обладнання, $K_{чрі}$	Розрахункова потужність обладнання $P_{СПі}$	
		од.	В	А	Вт		Вт	
1	Двигун + контролер	6	32	7	224	1	1344	
2	Плата комутації	1	12	0,01	0,12	1	0,12	
3	Приймач LRS	1	5	0,06	0,3	1	0,3	
4	АСУ-2	1	4,5	0,1	0,45	1	0,45	
5	Сервопривід	2	4,5	0,01	0,045	0,1	0,09	
6	PDDL900	1	4,5	0,01	0,045	1	0,045	
7	ADS-B	1	4,5	0,01	0,045	1	0,045	
8	LIDAR	1	3,3	0,01	0,033	1	0,033	
9	ГОЕС	1	15	1,1	16	1	16	
		Всього						1361,083

Таблиця 3. Технічні характеристики акумуляторної батареї БпЛА

Найменування акумуляторної батареї	Номинальна напруга батареї	Ємність батареї	Номинальна потужність батареї, $P_{ном\ дж}$	Мінімальна залишкова ємність батареї (10%), $P_{10\%}$		Допустима ви-грата потужності батареї, $P_{ном\ дж}$ – $P_{10\%}$		Розрахункова потужність обладнання, $P_{СП}$	Час польоту, $T_{пол}$
	В	А·год	Вт	А·год	Вт	А·год	Вт	Вт	год
Виріб 35000 мАгод	29,6	35	1036	3,5	106	32,5	962	1361,08	0,71 (42,6 хв.)

Для контролю рівня зарядженості й зарядки АКБ до складу комплексу включено комплект для заряду АКБ (рис. 2).





*Рис. 2. Комплект для заряду АКБ: блок живлення, зарядний пристрій, кабель живлення від мережі 220В*

Наступним зразком, що був наданий на визначальні відомчі випробування, став БпАК з системою вертикального зльоту і посадки (далі – СВЗП). БпЛА переходить у горизонтальний політ після досягнення визначеної висоти з використанням СВЗП. Приклад БпАК з СВЗП зображено на рис. 3. Заявлені характеристики БпАК з СВЗП наведені в табл. 4.

*Таблиця 4. Тактико-технічні характеристики БпАК з СВЗП*

Тактичний радіус, км	100
Максимальна злітна маса, кг	55
Двигун, кількість (тип)	4 (електричні)
Максимальна тривалість польоту, хв	10
Максимальна допустима швидкість, км/год	140



*Рис. 3. БпАК з СВЗП [6]*

Система електроживлення призначена для живлення споживачів постійним струмом номінальною напругою 24 В в процесі передпольотної підготовки, запуску двигуна та на всіх етапах польоту. Джерелом електричного струму є батарея живлення (рис. 4), зарядку якої під час польоту здійснює система запуску та енергопостачання двигуна Saito FG-100TS. Параметри системи живлення наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Параметри акумуляторної батареї БпЛА

Характеристика	Значення
Тип АКБ	LiPo
Кількість елементів живлення	6
Тип з'єднання елементів живлення в АКБ	Послідовне
Номінальна напруга, В	22,2
Повністю заряджений, В	25,2
Режим збереження	22,8
Повністю розряджений (мінімально допустимий розряд), В	20,4
Ємність батареї, мАгод	5400



Рис. 4. Акумуляторна батарея БпЛА

Споживачами системи електроживлення є: система автоматичного управління польотом, обладнання навігаційне (GPS приймач та дальномір), GPS трекер, електронне запалення двигуна внутрішнього згорання, модуль приймача сервосигналів, система світлової сигналізації, система керування сервоприводами, модем телеметрії, відеомодулятор, підсилювач каналу відео, система підігріву акумуляторної батареї СВЗП, модуль фотокамери SonyAlpha 7R, відео процесорний блок VPB-1M, гіростабілізована оптико-електронна система USG-212 (далі – ГЕОС USG-212) Розрахунок балансу потужностей БпЛА проведений методом інженерного аналізу, наведено в таблицях 6 та 7.

Таблиця 6. Розрахунок потужностей обладнання БпЛА

Електронне обладнання	Напруга вхідна, В	Струм споживання, А	Потужність споживання, Вт
Система автоматичного управління польотом	24	0,2	4,8
Обладнання навігаційне (GPS приймач та дальномір)	5	0,3	1,5
GPS трекер	5	0,2	1
Електронне запалення	8	0,4	3,2
Модуль приймача сервосигналів	24	0,1	2,4
Система світлової сигналізації	24	1,7	40,8
Система керування сервоприводами	24	1,3	31,2
Модем телеметрії	24	0,2	4,8
Відеомодулятор	24	0,4	9,6
Підсилювач каналу відео	24	0,7	16,8
Система підігріву АКБ СВЗП	24	2,1	50,4
Модуль фотокамери SonyAlpha 7R	24	0,8	19,2
Відео процесорний блок VPB-1M	24	0,9	21,6
Гіростабілізований підвіс USG-212	24	1,3	31,2
Розрахункова потужність споживання			<b>238,5</b>

Джерелами живлення бортового обладнання і цільового навантаження на БпЛА є бортовий акумулятор і генератор, який входить до складу бензинового двигуна Saito FG-100TS. Розрахунок потужностей джерел живлення наведений у табл. 7.



Таблиця 7. Розрахунок потужностей джерел живлення БпЛА

Джерело живлення	Напруга, В	Струм, А	Потужність, Вт
Генератор	24,4	10	244
АКБ	24	5,4	130
Сумарна потужність			<b>374</b>

З розрахунків потужностей споживачів БпЛА і бортових джерел електроенергії не складно зробити висновки, що сумарна потужність джерел електроенергії перевищує потужність споживачів на 135 Вт. При цьому потужність генератора літака повністю покриває потребу в потужності для живлення бортового обладнання, а відповідно, акумуляторна батарея може використовуватися в якості додаткового накопичувача енергії для режимів різкого збільшення споживання або ж тимчасового зменшення вироблення енергії генератором.

Можливість вертикального зльоту та посадки БпЛА забезпечують модулі СВЗП за рахунок вертикальної тяги, що створюється чотирма повітряними гвинтами, які приводяться в рух чотирма електродвигунами. Керування режимами вертикального зльоту і посадки виконує САУ БпЛА.

АКБ СВЗП обладнано системою підігріву, яка забезпечує підтримання постійної оптимальної температури літій-полімерних акумуляторних батарей під час виконання польоту. Батареї живлення модулів СВЗП в процесі польоту не заряджаються від генератора БпЛА. Розрахунок балансу потужностей БпЛА, проведений методом інженерного аналізу, надається в табл. 8.

Таблиця 8. Визначення розрахункової потужності СВЗП

Найменування обладнання	Кількість $k_{спі}$	Номінальна напруга обладнання, $V_{спі}$	Струм споживання, $I_{спі}$	Номінальна потужність $P_{ном\ спі}$	Коефіцієнт часу роботи обладнання, $K_{црі}$	Розрахункова потужність обладнання $P_{спі}$
	од.	В	А	Вт		Вт
Двигун	4	48	94,3	4560	1	18240
	<b>Усього</b>					<b>18240</b>

Живлення двигунів здійснюється від двох літій-полімерних акумуляторних батарей ємністю 6000 мА·год і номінальною напругою 25,9 В (рис. 5), які розміщені в балках і з'єднані послідовно.



Рис. 5. Акумуляторна батарея системи вертикального зльоту та посадки  
Технічні характеристики джерела живлення СВЗП наведено в табл. 9.

Таблиця 9. Технічні характеристики джерела живлення СВЗП [7]

Найменування акумуляторної батареї	Кількість, $k_{дж}$	Номінальна напруга батареї	Ємність батареї	Номінальна потужність батареї, $P_{ном дж}$	Мінімальна залишкова ємність батареї (10%), $P_{тој}$		Допустима ви-трага потужності батареї, $P_{ном дж} - P_{тој}$		Розрахункова потужність обладнання, $P_{сп}$	Час польоту, $T_{пол}$
					А·год	Вт	А·год	Вт		
Виріб 6000 МА·год	2	25,9	6	1036	1,5	259	4,5	777	18240	0,09 (5 хв.)

З метою підтвердження теоретичних розрахунків були проведені льотні випробування БПЛА з СВЗП, що дозволило оцінити різницю між розрахунковим часом польоту БПЛА та практичним. З урахуванням безпеки польотів було здійснено політ з використанням СВЗП тривалістю 2 хвилини 30 секунд, максимальний струм розряду АКБ склав 124,57 А, а середній часовий розряд АКБ 97,33 А/год.

Зарядка акумуляторних батарей відбувається за допомогою автоматичного зарядного пристрою Q200 (рис. 6). Два автоматичні зарядні пристрої, що входять до складу БпАК, забезпечують автоматичне регулювання напруги та струму зарядки за двофазним циклом “сталий струм – стала напруга”.



Рис. 6. Акумуляторна батарея системи вертикального зльоту та посадки

Зарядний пристрій забезпечує автоматичне балансування (вирівнювання напруги) комірок батареї. При зарядці акумуляторних батарей обов'язкове використання балансувального кабелю батареї, який має бути підключений до відповідного роз'єму зарядного пристрою. Режим зарядки акумуляторних батарей має відповідати параметрам, вказаним на їхньому корпусі.

**Висновки.** Здійснено огляд систем електроживлення та часу польоту сучасних БПЛА із системою вертикального зльоту та посадки та мультикоптерів з урахуванням останніх проведених досліджень та випробувань.

У результаті розрахунків отримані дані щодо часу польоту БПЛА з СВЗП що склало 5 хвилин. Експериментально доведено що для посадки в автоматичному режимі достатньо половини цього часу, а саме 2 хвилини 30 секунд. Для БПЛА мультироторного типу розрахунковий час польоту склав 42 хвилини. Цей час включає в себе зліт, посадку та політ за маршрутом. Експериментально доведено що час польоту складає в середньому 45 хвилин.

Отримані результати досліджень показують, що основними споживачами електроживлення сучасних БПЛА є двигун та гіростабілізована оптико-електронна система. З метою збільшення часу польоту та використання переваг вертикального зльоту та посадки виробники застосовують систему вертикального зльоту та посадки з живленням від основної системи живлення, що знижує навантаження на основні системи БПЛА.

### Список використаних джерел

1. Yu S., Heo J., Jeong S., Kwon Y. Technical Analysis of VTOL UAV. *Journal of Computer and Communications*. 2016. № 04(15). Pp. 92-97.
2. Ільєнко В. М., Ісаченко О. О., Лось А. М., Герашченко М. М., Рудніченко С. В. Особливості оцінки параметрів каналів зв'язку безпілотних авіаційних комплексів I та II класу. *Наукові праці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2020. № (3). С. 41-48. URL: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.3.2020.06>.
3. Daeil Jo, Yongjin Kwon. Analysis of VTOL UAV Propellant Technology. *Journal of Computer and Communications*. 2017. № 5(7). Pp. 76-82.
4. Rahman S. M. Mahbobur, Mashud Mohammad, Assad-Uz-Zaman Md. Design and implementation of a Y-copter: Aerobatic version. *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1851, Issue 1. id.020089.
5. New UAP-2 Y6. URL: <https://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?2011279-New-UAP-2-Y6>.
6. *i.pinimg.com*. URL: <https://i.pinimg.com/originals/af/1a/f6/af1af62954140b9f1b660a2b736a22c5.jpg>.
7. T-Motor U12 II KV120. *RCcopter.ru*. URL: <https://rccopter.ru/product/t-motor-u12-ii-kv120>.

### References

1. Yu, S., Heo, J., Jeong, S., Kwon, Y. (2016). Technical Analysis of VTOL UAV. *Journal of Computer and Communications*, (04(15)), pp. 92-97.
2. Ільєнко, В., Ісаченко, О., Лось, А., Герашченко, М., Рудніченко, С. (2020). Osoblyvosti otsinky parametriv kanaliv zviazku bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv I ta II klasu [Special aspects of the parameters assessment of communication channels of unmanned aerial systems class I and II]. *Naukovi pratsi Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viyskovoï tekhniki – Scientific works of the State Research Institute of Arms and Military Equipment Testing and Certification*, (3(3)), pp. 41-48. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.3.2020.06>.
3. Daeil, Jo, Yongjin, Kwon (2017). Analysis of VTOL UAV Propellant Technology. *Journal of Computer and Communications*, 5(7), pp. 76-82.
4. Rahman, S. M. Mahbobur, Mashud, Mohammad, Assad-Uz-Zaman, Md. (2017). Design and implementation of a Y-copter: Aerobatic version. *AIP Conference Proceedings*, 1851(1), id.020089.
5. New UAP-2 Y6. <https://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?2011279-New-UAP-2-Y6>.
6. *i.pinimg.com*. <https://i.pinimg.com/originals/af/1a/f6/af1af62954140b9f1b660a2b736a22c5.jpg>.
7. T-Motor U12 II KV120. *RCcopter.ru*. <https://rccopter.ru/product/t-motor-u12-ii-kv120>.

UDC 623.746.-519

Andrii Los, Serhii Rudnichenko, Vasyly Soboliev, Oleksandr Velihorskyi

## OVERVIEW OF THE MAIN PARAMETERS OF THE ELECTRICITY CONSUMPTION SYSTEM OF MODERN UAVS FOR VERTICAL TAKE-OFF AND LANDING

Currently, the assessment of the impact of the installed UAV equipment on the time spent in the air is relevant.

Review of the results of UAV vertical take-off and landing will allow developers and researchers to obtain relevant data on the power consumption of equipment and its impact on the flight time of UAVs, and, accordingly, will optimize energy consumption and increase flight duration.

Currently, only theoretical calculations of the power consumption system are available to researchers, but testing different types of UAVs allows obtaining objective information on the real flight time of UAVs with onboard power supply systems, taking into account the work of all consumers and comparing it with theoretical calculations.

In accordance with the defining departmental tests of the multi-rotor UAV and the defining departmental tests of the tactical UAV with the vertical take-off and landing system, the power consumption systems were evaluated.

*The aim of the article is theoretical and experimental evaluation of power supply systems, calculation of flight time of domestic UAVs with a system of vertical take-off and landing (multicopters) taking into account the tests.*

*A review of power supply systems and flight time of modern UAVs with a system of vertical take-off and landing (multicopters), taking into account the latest research and testing.*

*As a result of calculations, data on the flight time of UAVs with VTLS (UAV of multirotor type) were obtained.*

*The obtained research results show that the main consumers of power supply of modern UAVs are the engine and gyro-stabilized optoelectronic system. In order to increase the flight time and take advantage of vertical take-off and landing, manufacturers use a vertical take-off and landing system powered by the main power supply system, which reduces the load on the main UAV systems. Presented in the article information is an overview.*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicles, power supply system, vertical take-off and landing system.*

*Fig.: 6. References: 7.*

**Лось Андрій Миколайович** – молодший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Los Andrii** – Junior Researcher, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** andriilos91@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0076-1745>

**Рудніченко Сергій Володимирович** – провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Rudnichenko Serhii** – Lead Researcher, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** jekarud@meta.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1810-142X>

**Соболев Василь Васильович** – науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Soboliev Vasyl** – Researcher, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** sobolvas@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4137-8360>

**Велігорський Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри радіотехнічних та вбудованих систем, Національний університет “Чернігівська політехніка” (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Velihorskyi Oleksandr** – PhD in Technical science, Associate Professor, Head of the Department of Radio Engineering and Embedded Systems, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** oleksandr.veligorsky@inel.stu.cn.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8256-7339>

УДК 621.31:621.383

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-1(23)-249-264

Олександр Глушко, Сергій Степенко

## ПАРАМЕТРИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ І ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У СКЛАДІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

*Забезпечення автономної, високоефективної та надійної генерації електроенергії системами на основі фотоелектричних перетворювачів є актуальним завданням. Недостатньо уваги приділено факторам, що впливають на ефективність і надійність роботи таких систем. Відповідно до розглянутих факторів впливу, найбільш критичним є перегрівання. Для запобігання перегріванню необхідно забезпечити достатнє тепловідведення, збільшити розмір з'єднувальної коробки для кращого розсіювання тепла назовні. Крім того, варто використовувати діоди з меншим струмом витоку.*

**Ключові слова:** електроенергетичні системи; ефективність; надійність; параметри; фактори впливу; фотоелектричні перетворювачі; характеристики.

*Рис.: 20. Бібл.: 17.*

**Актуальність теми дослідження.** Національний екологічний центр України наголошує, що нині глобальна зміна клімату – одна з найгостріших екологічних проблем, що стоять перед людством. Найрозвиненіші країни відповідають на цей виклик активними кроками з декарбонізації енергетики, впровадженням альтернативних джерел енергії. Окрім екологічного, в Україні мають місце економічні та геополітичні чинники, що додатково загострюють ситуацію. Енергоємність ВВП України у 2015 році становила 0,98 т н.е./тис. дол США ВВП, що в 4,7 рази вище, ніж у сусідніх європейських країнах. Надвисока частка імпорту нафти й газу робить державу заручником зовнішнього постачальника і переводить питання енергонезалежності у площину національної безпеки. Нова Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» спрямована на вирішення проблем енергетичної безпеки в умовах виживання держави за обставин зовнішньої агресії. Головна мета розвитку енергетики на період до 2035 року – забезпечення енергетичної безпеки і перехід до енергоефективного та енергозощадливого використання і споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій.

**Постановка проблеми.** Поточні дослідження виконуються в межах науково-дослідної роботи молодих вчених № 0120U101554 «Автономні електроенергетичні системи з високою ефективністю, покращеними масогабаритними характеристиками та підвищеною надійністю для спеціальних застосувань». Наукова робота присвячена розробці комплексу методів та засобів для забезпечення автономної, високоефективної та надійної генерації електроенергії у несприятливих умовах зовнішнього середовища. У результаті виконання проєкту планується реалізувати експериментальний зразок автономної електроенергетичної системи потужністю близько 3 кВт, що може бути базовим для подальшої комерціалізації.

Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) у складі електроенергетичних систем можуть зазнавати атмосферного та фізичного впливу, що знижуватиме ефективність або перешкоджатиме нормальній роботі. Одним із можливих впливів є затінення фотоелектричних панелей. Вибір складових елементів для побудови фотоелектричної системи має поєднувати в собі надійність, простоту експлуатації та помірну ціну. Для врахування цих вимог при побудові автономної електроенергетичної системи необхідно детально розглянути параметри та характеристики ФЕП, а також виділити основні фактори, що впливають на ефективність і надійність їхньої роботи у складі таких систем [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [2] описується процес, при якому фотоелектричні панелі зазнають неоднорідного рівня опромінення, окремі захисні діоди можуть увімкнутись, що може суттєво вплинути на загальне виробництво електроенер-

гії. Збільшення потужності, що продукується цілим масивом, можна отримати за допомогою його електричної реконфігурації, тобто зміни послідовно-паралельного з'єднання між панелями, з яких він складається. Розрахунок електричного з'єднання між панелями, що забезпечує максимальну потужність, що продукується, є комбінаторною проблемою, що вимагає потужних методів оптимізації. В [2] основна увага присвячена формулюванню процедури оптимізації для визначення найкращої електричної конфігурації панелей. Запропонований алгоритм потребує відносно простих математичних розрахунків і використовує векторизовану структуру; таким чином, підходить для реалізації у будь-якій вбудованій системі з метою реконфігурації масиву ФЕП у реальному часі. Алгоритм пояснюється на пілотному прикладі, а його ефективність демонструється шляхом застосування до реального масиву фотопанелей. Результати показують, що алгоритм розраховує оптимізовану конфігурацію з низьким обчислювальним навантаженням. Робота [3] присвячена параметричній ідентифікації фотоелектричних модулів. Запропонований підхід застосовується до значної кількості характеристик ФЕП, що отримані експериментальним шляхом.

Тривалі гарантії фотоелектричних модулів (25 років) є життєво важливим фактором економічної життєздатності фотоелектричних систем [4]. Проте нещодавні дослідження показали, що модулі можуть зазнати ранньої деградації, яка обертається зменшенням виробництва електроенергії або навіть пошкодженням всього фотомодуля. Авторами [4] представлений метод, спрямований на виявлення деградації модуля. Він виявляє та визначає кількісну оцінку деградації за допомогою двох показників, які спрямовані на оцінку приросту опору послідовності модулів. Цей параметр є одним із тих, що зазнають найбільшого впливу під час деградації. Збільшення значення послідовного опору оцінюється шляхом визначення похибки прогнозування положення точки максимальної потужності. Це значення отримується шляхом порівняння експериментальних вимірювань з однодіодною моделлю ФЕП [3]. Запропонований метод перевірений експериментально і його порівнюють з іншими методами, представленими в літературі. Результати показують, що запропоновані показники здатні точно оцінити прирости послідовного опору при низькій чутливості до значень освітленості та температури. Ця функція підвищує точність та надійність діагностичних процесів та систем моніторингу.

У сучасній літературі пропонуються деякі підходи, що використовують безпосередні рівняння для ідентифікації п'яти параметрів однодідної моделі, що описує фотоелектричну панель [5]. Ці методи дозволяють уникнути ітеративного вирішення нелінійної системи рівнянь, збіжність яких дуже чутлива до розв'язку. Тому вони особливо придатні для ідентифікації параметрів у реальному часі та для впровадження на недорогих платформах з невисокою продуктивністю. У роботі аналізується застосовність деяких безпосередніх методів, попередньо затверджених у стандартних умовах випробувань, для великого класу панелей в робочих умовах, що відрізняються від стандартних. У дослідженні розглядається як зведений метод перетворення параметрів моделі ФЕП, так і новий підхід. Аналіз дозволяє оцінити найбільш підходящі рівняння перетворення параметрів для кожного з розглянутих методів явної ідентифікації, підкресливши ефективність таких явних підходів в різних умовах експлуатації. Наведені результати на основі експериментальних даних щодо двох комерційних фотоелектричних панелей підтверджують аналіз.

Робота [6] присвячена моделювання масивів ФЕП з метою оцінки ефективності системи. У публікації [7] увага зосереджена на фотоелектричній системі, що базується на трирівневому квазіімпедаансному інверторі з фіксованою нейтральною точкою. Алгоритм відстеження точки максимальної потужності (MPPT) на основі зворотного зв'язку

$dP/dV$  був використаний у фотоелектричній системі для регулювання тривалості активних станів силових ключів та досягнення максимальної потужності. Коректна робота системи у випадку різних ступенів опромінення демонструється моделюванням у програмному забезпеченні Matlab/Simulink.

У статті [8] було розглянуто застосування фотоелектричних систем у несприятливих умовах. Зазначається, що використання альтернативних джерел енергії на основі фотоелектричних перетворювачів у провідних арміях світу набуває все більшої актуальності за рахунок прогресу сучасних технологій виробництва самих фотоелектричних перетворювачів, покращення їх масогабаритних показників та непомітності (безшумності) роботи. Досвід проведення антитерористичної операції на сході України (нині – Операція об'єднаних сил) вказує на крайню необхідність розробки автономних систем електроживлення на основі, альтернативних джерел енергії для використання їх як на стаціонарних віддалених об'єктах так і з комплексами бойової екіпіровки.

У роботі [9] представлені результати експериментального дослідження ефективності та температурних параметрів інвертора з напівпровідниковими елементами на основі карбїду кремнію (SiC). Дослідження проводилось у системі електроживлення з джерелом однофазного постійного струму. Інвертор, побудований з використанням квазі-імпедансної топології на основі SiC діодів та SiC транзисторів (MOSFET) демонструє експериментально підтверджену ефективність 97,1 %. Були представлені та обговорені результати, що підтверджують ефективну роботу перетворювача. Завдяки своїй високій ефективності та безпечній експлуатації при високих температурах напівпровідникових приладів розроблене рішення є можливим для застосування у фотоелектричних системах. Досліджено температурну поведінку напівпровідників, а також представлені детальні результати. У дослідженні встановлено номінальну потужність 1,8 кВт, однак інвертор був перевірений на безпечну роботу та продемонстрував прийнятну ефективність при навантаженні до +33 % від номінальної потужності.

Публікація [10] присвячена фотоелектричній системі з тривірневим квазі-імпедансним інвертором з фіксованою нейтральною точкою. Алгоритми відстеження точки максимальної потужності на основі зворотного зв'язку  $dP/dV$ , збурення та спостереження, інкрементної провідності були адаптовані та перевірені в цій топології, використовуючи активний стан наскрізної провідності як змінну управління. Представлені результати моделювання за допомогою SimPowerSystem у складі Matlab/Simulink.

Основна увага в статті [11] зосереджена на двоступеневих фотоелектричних мікроінверторах із використанням перетворювача постійного струму. Широкий діапазон вхідної напруги фронтального перетворювача дозволяє працювати в затінених умовах, але призводить до посередніх характеристик у типовому діапазоні напруги. Такими мікроінверторами можна керувати за допомогою фіксованих або змінних методів контролю напруги постійного струму. В останньому випадку значно покращується ефективність перетворювача в діапазоні найбільш імовірних значень точки максимальної потужності (MPP). Однак, процес підвищення напруги фронтального перетворювача призводить до помітних коливань ефективності в діапазоні вхідної напруги. Як результат, звичайні зважені показники ефективності не можуть бути використані для прогнозування річного виробництва енергії мікроінверторами. У роботі пропонується нова методологія оцінки річного виробництва енергії на основі річних профілів сонячного опромінення та температури навколишнього середовища. Використовуючи цю методологію, надається кількісна оцінка щорічного виробництва енергії для двох географічних розташувань.

У роботі [12] представлено порівняльне дослідження двох сонячних інверторів на основі квазі-імпедансної топології (Quasi-Z-Source – QZS). Перше рішення включає дворівневий інвертор QZS з усіма силовими елементами на основі SiC, а друге рішення побудовано на основі трирівневого QZS-інвертора із фіксованою нейтральною точкою з транзисторами (Si MOSFET). Було враховано кілька критеріїв: розмір пасивних елементів, теплова конструкція та розміри радіаторів, перенапряга в напівпровідниках та показники ефективності. Масив фотопанелей потужністю 1,8 кВт був обраний як система тематичного дослідження.

Стаття [13] представляє техніко-економічне обґрунтування підходу з використанням здвоєного інвертора з квазіімпедансною ланкою. Як правило, здвоєння часто використовується для підвищення ефективності та щільності потужності, що дозволяє подолати проблему великих пасивних елементів перетворювачів на основі квазіімпедансної топології. Основна увага приділяється застосуванню методу здвоєння з точки зору порівняння кількох важливих параметрів інвертора. Аналіз включає втрати, розміри конденсатора та індуктивності, а також витрати напівпровідників. Теоретичне порівняння базується на моделі інвертора та моделі втрат. Надано моделювання та експериментальну перевірку теоретичних положень. Було встановлено, що можна досягти зменшення обсягу індуктора на 40 %, а також підвищення ефективності на 15–20 %.

Останніми роками спостерігається різке збільшення використання поновлювальних джерел електроенергії. Основні топології перетворювачів добре розглянуті та досліджені [14]. Проте мало уваги приділяється методам керування двонаправлених перетворювачів для малої потужності. Тому є потреба в аналізі та порівнянні методів керування неізолюваних перетворювачів для подальшого виявлення і застосування найбільш оптимальних. Результати порівняння показують, що метод передбачення по моделі показує кращі динамічні характеристики, однак вимагає більших затрат на розрахунки, що варто враховувати при проектуванні системи загалом.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням забезпечення автономної, високоефективної та надійної генерації електроенергії електроенергетичними системами на основі ФЕП, що працюють у несприятливих умовах зовнішнього середовища, приділяється значна увага. У публікаціях [15; 16; 17] розглядаються складові частини автономних електроенергетичних систем на основі ФЕП, зокрема акумуляторні батареї та фотоелектричні панелі. Аналізуються деякі параметри та характеристики цих елементів, однак недостатньо уваги приділено виділенню та узагальненню факторів, що впливають на ефективність і надійність роботи таких систем.

**Метою статті** є розгляд фотоелектричних перетворювачів, їх параметрів та характеристик, а також основних факторів, що впливають на ефективність та надійність роботи фотоелектричних панелей у складі електроенергетичних систем.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 пояснюються визначення основних елементів фотоелектричної частини [2]. Комірка (Cell) – це найменша невідима частина фотоелектричної панелі, яка перетворює сонячну енергію в електричну. Модуль (Module) – це фотоелектрична панель з послідовно з'єднаних комірок, які утворюють єдину структуру. Ряд (String) – це серія послідовно з'єднаних фотоелектричних модулів. Масив (Array) – це паралельне з'єднання рядів.



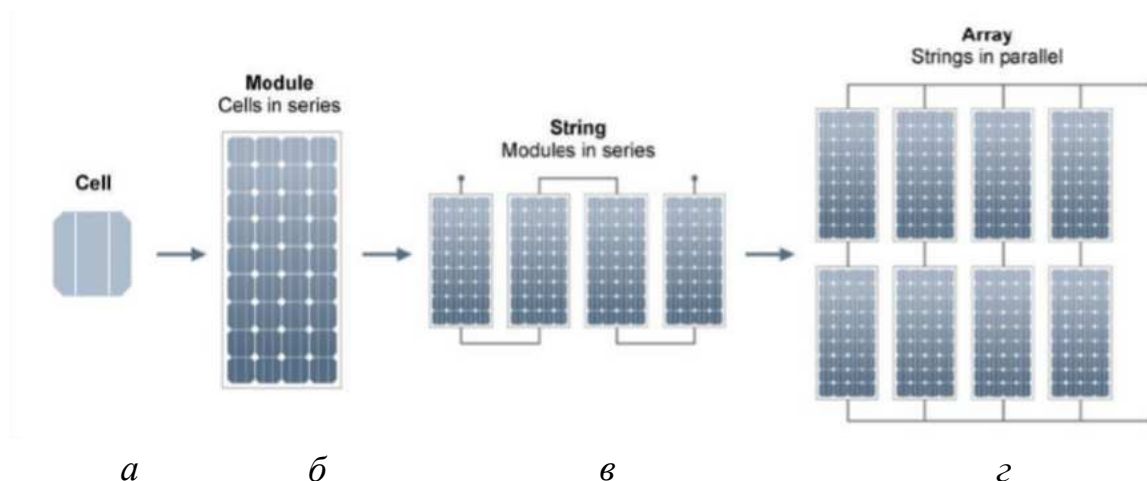


Рис. 1. Від комірки до масиву:

*a – комірка; б – модуль; в – ряд; г – масив*

На рис. 2 представлений принцип фотоелектричного ефекту, що відбувається в комірці, коли на неї потрапляє сонячне випромінювання.

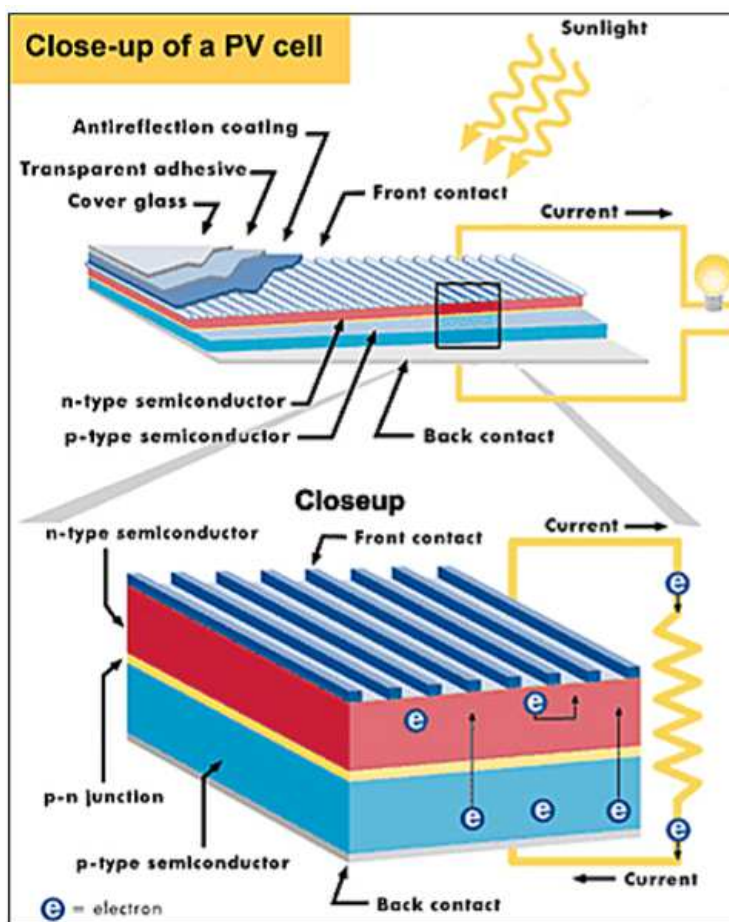


Рис. 2. Фотоелектричний ефект у комірці

Фотоелектрична комірка складається зі скла (cover glass), прозорого клею (transparent adhesive), антивідбиваючого покриття (antireflection coating), верхнього контакту (front contact), напівпровідника n-типу (n-type semiconductor), напівпровідника p-типу (p-type semiconductor), нижнього контакту (back contact).

Між напівпровідниками n-типу та р-типу існує тонка область, яка називається р-n переходом (p-n junction). При сонячному опроміненні з верхнього та нижнього контактів знімається струм.

На рис. 3 представлені складові частини фотоелектричного модуля.

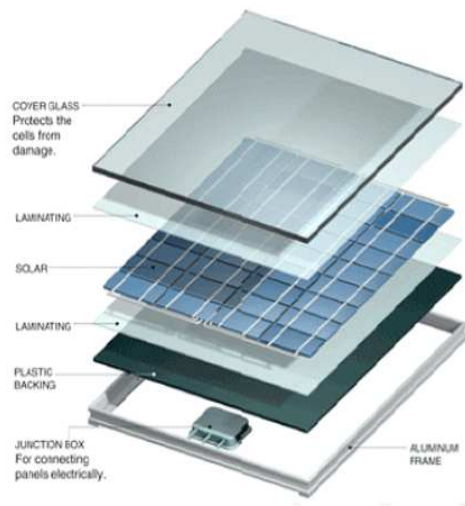
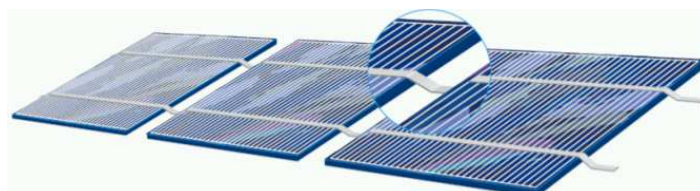


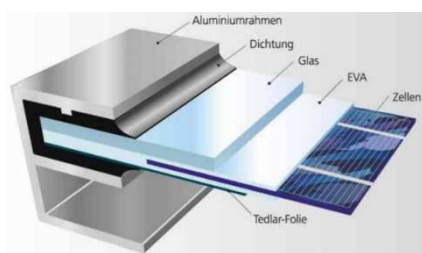
Рис. 3. Структура фотоелектричного модуля

Покриття зі скла (cover glass) забезпечує захист комірок від пошкодження, ламінування (laminating), фотоелектричний шар (solar), пластикова підкладка (plastic backing), з'єднувальна коробка для електричного підключення панелей (junction box for connecting panels electrically), рама з алюмінію (aluminum frame).

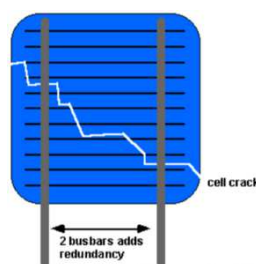
На рис. 4 представлена конструкція фотоелектричної панелі в розрізі, а також її конструктивні особливості.



а



б



в

Рис. 4. Структура фотоелектричної панелі:

а – загальний вигляд комірок; б – структура панелі у розрізі; в – комірка з шинами

Структура фотоелектричної панелі у розрізі виглядає наступним чином: алюмінієва рама (aluminiumrahmen), ущільнювач (dichtung), скло (glas), прозора плівка (EVA), комірки (zellen), тедларова фольга (tedlar folie). Збірні шини комірок (cell busbars) утримують їх разом навіть з тріщиною безпосередньо на самій комірці. Реалізована надлишковість шляхом введення двох паралельних шин для забезпечення надійності.

На рис. 5 представлені графіки залежності потужності фотоелектричної панелі від напруги при різних значеннях температури.

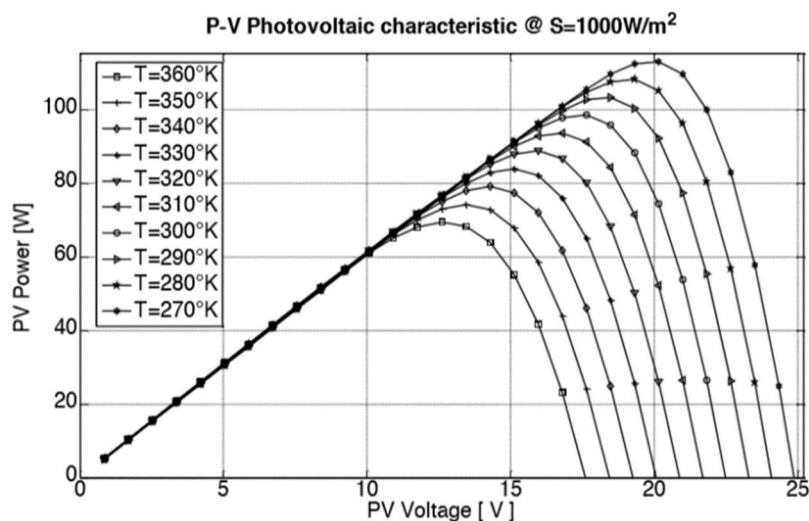


Рис. 5. Фотоелектрична характеристика панелі при сталій інтенсивності випромінювання ( $S=const$ )

З наведених залежностей видно, що при підвищенні температури панелі її вихідна потужність знижується.

На рис. 6 представлені графіки залежності потужності фотоелектричної панелі від напруги при різних інтенсивностях випромінювання ( $S = 100, 200, \dots, 1000 \text{ W/m}^2$ ) та сталій температурі ( $T_{amb} = 298 \text{ K}$ ).

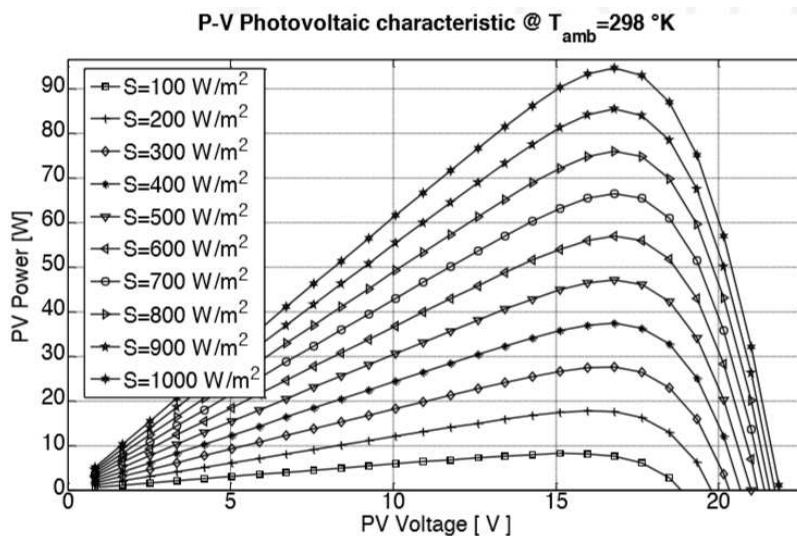


Рис. 6. Фотоелектрична характеристика панелі при сталій температурі  $T=const$

З даних залежностей видно, що при збільшенні інтенсивності випромінювання, вихідна потужність панелі збільшується.

При дослідженні характеристик, наведених на рис. 5 та рис. 6 можна бачити, що постійна робоча напруга не забезпечує максимальну потужність у будь-яких робочих умовах.

На рис. 7 представлені графіки залежностей потужності від напруги при різних комбінаціях інтенсивностей випромінювання ( $S$ ) та температури ( $T$ ).

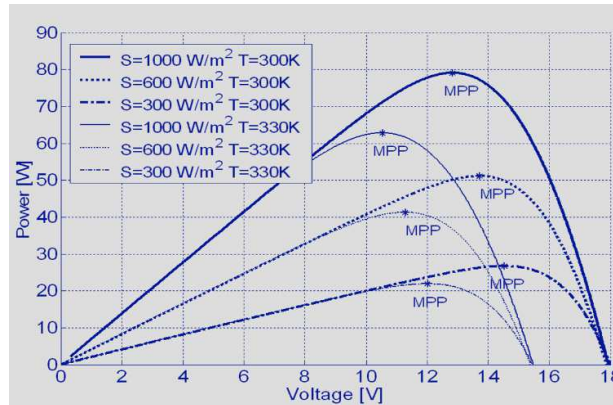


Рис. 7. Графіки залежностей потужності від напруги

На рис. 8 представлена однодіодна модель фотоелектричної комірки [2] без втрат енергії.

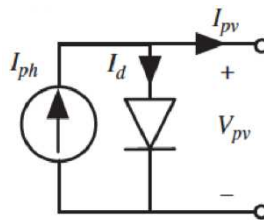


Рис. 8. Модель однієї комірки без втрат:

$I_{ph}$  – струм фотоіндукції;  $I_d$  – струм діода;  $V_{pv}$  – напруга комірки

Рівняння струму до моделі комірки без втрат представлене формулою (1).

$$i(v) = I_{ph} - I_s \cdot (e^{\frac{q}{kT}v} - 1), \tag{1}$$

де  $I_{ph}$  – струм фотоіндукції,  $I_s$  – струм насичення,  $q$  – заряд електрона,  $k$  – стала Больцмана,  $T$  – температура,  $V$  – напруга.

На рис. 9 представлена модель однодіодного фотомодуля [3].

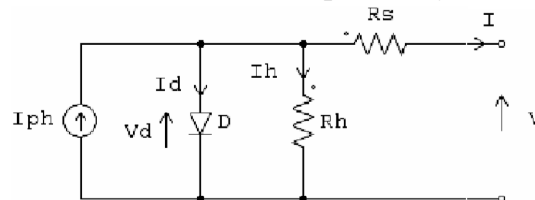


Рис. 9. Matlab модель однодіодного фотомодуля:

$I_{ph}$  – струм фотоіндукції;  $R_s$ ,  $R_h$  – втрати, пов'язані зі струмом та напругою;

$I_d$ ,  $V_d$  – струм та напруга на діоді;  $I_h$ ,  $I$  – струми на опорах  $R_h$  та  $R_s$  відповідно

**Фактори, що знижують продуктивність фотоелектричних панелей.** На рис. 10 представлено спосіб розташування фотопанелей, коли їх масив орієнтований під різними кутами до сонця.



Рис. 10. Спосіб розташування масиву фотопанелей під різними кутами до сонця



Перевага такого розташування фотопанелей полягає в тому, що сонячне випромінювання впродовж дня постійно потрапляє на певну частину панелей. Недоліком такого розташування є те, що не всі панелі задіяні для максимального виробництва електроенергії в певні відрізки часу через різний кут повороту до сонця. Так, зранку задіяна більшою мірою одна частина панелей, в обід – друга, ввечері – третя.

Розглянемо явище затінення та його вплив на функціонування фотоелектричних перетворювачів. Земля постійно обертається навколо Сонця і кут падіння сонячного випромінювання до земної поверхні постійно змінюється впродовж світлового дня. Об'єкти, які розміщені неподалік масиву фотопанелей, у певний момент часу можуть дати тінь, тим сам знижуючи загальну продуктивність системи при отриманні електроенергії. Тінь від таких об'єктів можна розділити на статичну (дерева, будинки тощо) (рис. 11, а) та швидко змінювану – динамічну (тінь від паруса при русі такого човна по воді, тінь від птаха, що сів на фотопанель тощо) (рис. 11, б).



а

б

Рис. 11. Приклад об'єктів, що створюють тінь:

а – статична тінь; б – швидко змінювана тінь

Якщо масив фотопанелей розташований статично, то кут між площиною панелі та площиною падаючого сонячного випромінювання постійно змінюється, змінюючи тим самим отримувану потужність. Таким чином, при установці рядів із масивами панелей необхідно врахувати цей кут та відстань між рядами, щоб тінь сусіднього ряду не падала на попередній впродовж світлового дня. Приклади, як не потрібно та як потрібно розташовувати ряди, представлені на рис. 12.



а

б

Рис. 12. Розташування рядів PV-панелей:

а – неправильне розташування ряду; б – правильне розташування ряду

На рис. 13 показано підключення фотоелектричних модулів із використанням об'єднаних та блокуючих діодів.

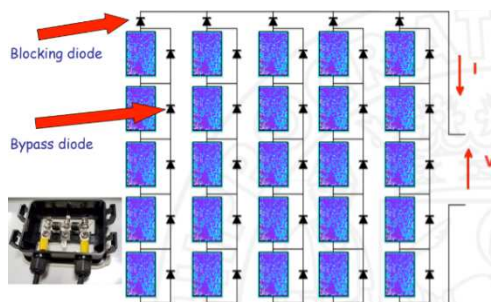


Рис. 13. Підключення фотоелектричних модулів

Блокуючий діод (blocking diode) не дає струму протікати у зворотньому напрямку. Обхідний діод (bypass diode) необхідний тоді, коли один з модулів знаходиться в тіні або не може генерувати електроенергію. Оскільки модулі з'єднані послідовно, щоб електричне з'єднання не переривалося, а струм протікав далі, для цього слугує обхідний діод.

Умовно поведінку затіненої комірки можна описати як вузьке місце в трубопроводі. При затіненні комірки фотоелектричний струм зменшується в порівнянні з номінальним струмом при нормальній роботі комірки.

Визначимо таке поняття як глобальна точка максимальної потужності GMPP (global maximum power point). Припустимо, що існують дві точки максимальної потужності (MPP), де фотопанель (або масив фотопанелей) здатні ефективно генерувати енергію, тоді рівняння для незатіненого модуля буде мати вигляд:

$$P_{MPP1} = I_1 \cdot \frac{V_{OS}}{2}, \quad (2)$$

де  $I_1$  – струм від незатіненого модуля,  $V_{OS}$  – напруга холостого ходу модуля.

Рівняння для затіненого модуля буде мати такий вигляд:

$$P_{MPP1} = I_2 \cdot V_{OS}, \quad (3)$$

де  $I_2$  – струм від затіненого модуля,  $V_{OS}$  – напруга холостого ходу модуля.

Залежності струму та напруги I-V для незатіненого та затіненого модуля представлено на рис. 14.

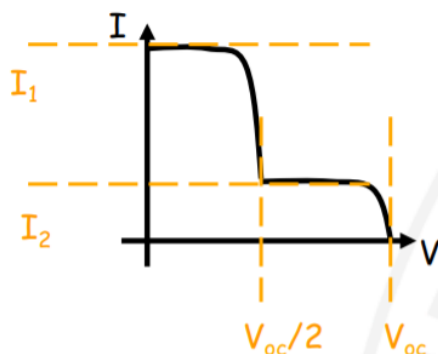


Рис. 14. Залежність I-V

де  $I_1$  – струм від незатіненого модуля,  $I_2$  – струм від затіненого модуля,  $V_{OS}$  – напруга холостого ходу модуля.

Взаємозв'язок між двома потужностями залежить від сили струмів, зокрема, від рівня затіненості. Ця залежність відображається формулою (4).

$$\Rightarrow I_1 > 2 \cdot I_2 \Leftrightarrow P_{MPP1} > P_{MPP2}, \text{ інакше } P_{MPP2} > P_{MPP1} \quad (4)$$

де  $I_1$  – струм від незатіненого модуля;  $I_2$  – струм від затіненого модуля;  $P_{MPP1}$  – потужність для максимальної точки потужності незатіненого модуля;  $P_{MPP2}$  – потужність для максимальної точки потужності затіненого модуля.

Коли виникає часткове затінення модулів, то деякі ряди фотопанелей можуть продовжувати виробляти енергію, а деякі (ті, що знаходяться в тіні) – її поглинатимуть. Тому використання блокуючих діодів є корисним.

Розглянемо комірку прямого та зворотного зміщення. На рис. 15 представлено графік потужності комірки, що виробляється та поглинається нею.

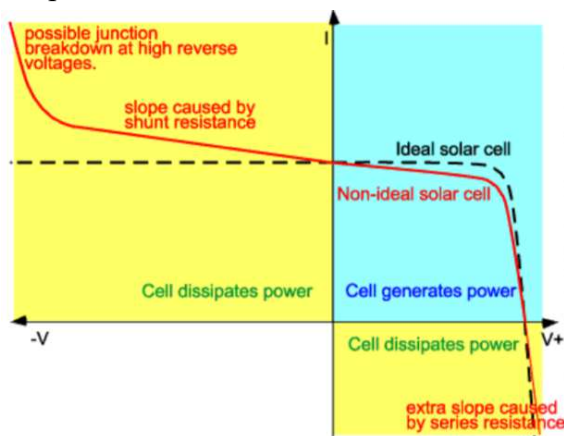


Рис. 15. Потужність, що виробляється та поглинається коміркою

Вертикальна вісь – це струм, горизонтальна вісь – це від’ємна та додатна напруга. Пунктиром показана крива ідеальної фотоелектричної комірки (ideal solar cell). Неперервна крива – характеристика реальної фотоелектричної комірки. Ліва частина від вертикальної осі та нижня частина від горизонтальної осі (виділено жовтим кольором) демонструють, що комірка розсіює енергію. Права частина від вертикальної осі (виділено блакитним кольором) демонструє, що комірка виробляє енергію. Ділянка кривої зліва – це можливе пошкодження з’єднання при високих зворотних напругах (possible junction breakdown at high reverse voltages). Ділянка кривої правіше попередньої демонструє вплив шунтуючого опору (slope caused by shunt resistance). Ділянка кривої справа демонструє вплив послідовного опору (extra slope caused by series resistance). Таким чином, щоб розрахувати потужність, потрібно обчислити площу під необхідною ділянкою кривої.

На рис. 16 представлений графік, на якому показані криві струму та напруги (I-V) модуля, що складається із 42 послідовно з’єднаних комірок, 9 з яких затінені, а 33 – повністю освітлені.

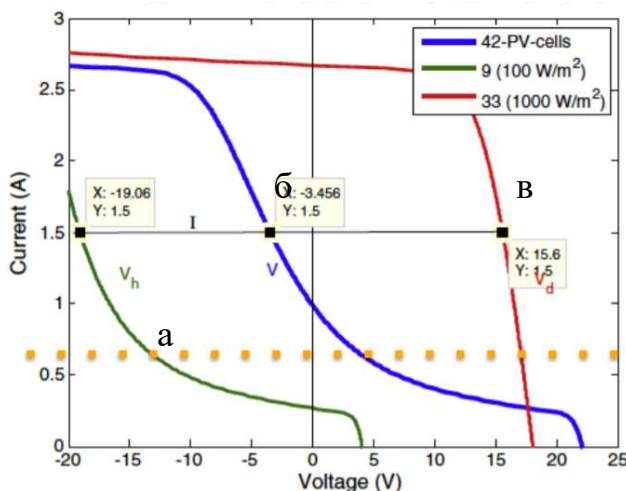


Рис. 16. Графік (I-V) частково затіненого модуля:

a – крива 9 затінених комірок; б – загальна залежність для модуля загалом із 42 комірок; в – крива 33 освітлених комірок

**Локальний перегрів.** Термін «пошкодження від гарячої точки» (hot spot damage) – це постійне пошкодження або деградація фотокомірки, що є прямим результатом високотемпературних плям. Увесь ряд комірок здатен виробляти енергію, але деякі комірки її поглинають, внаслідок цього поглинання комірка може локально перегрітися та вийти з ладу.

На рис. 17 представлено фото працюючого модуля зроблене за допомогою тепловізора.

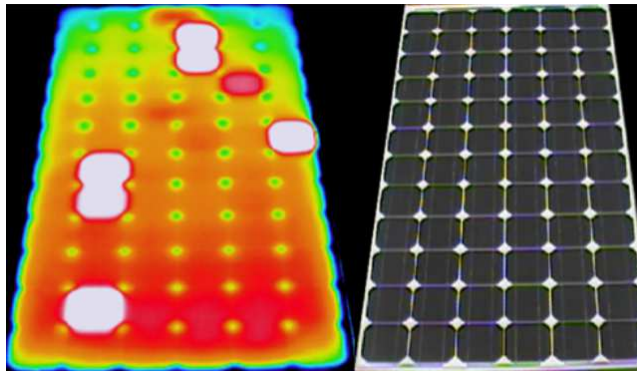


Рис. 17. Видяд модуля через тепловізор

Яскраві плями – це перегріті комірки, які можуть вийти з ладу. На рис. 18 представлено фото пошкоджених комірок від перегріву.

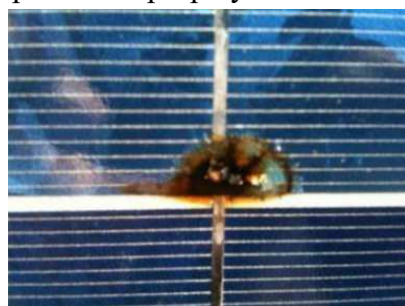
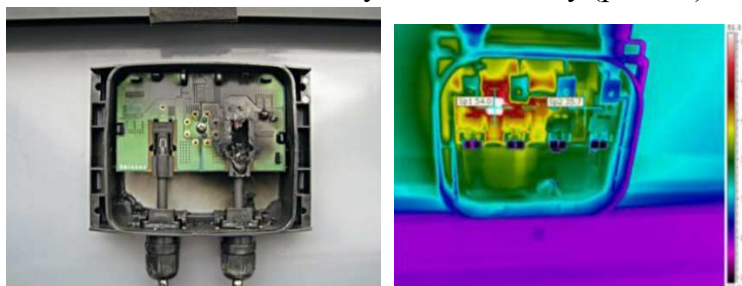


Рис. 18. Фото модуля з пошкодженими комірками

При підвищенні температури, тепло не розподіляється, а локалізується, внаслідок цього може виникнути ризик пожежі. При температурі комірки більше  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  відбувається локальний термічний пробій. При температурі  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище пошкоджується герметик, що може викликати інші серйозні проблеми. Типова комірка має напругу пробою приблизно від  $-15\text{ В}$  до  $-20\text{ В}$ . Для комірок другого покоління Махеоп напруга пробою сонячної комірки становить близько  $-5,5\text{ В}$  та  $-2,5\text{ В}$  для комірок Махеоп третього покоління. При менших напругах зворотного зміщення виділяється менше енергії, а отже, і менше тепла в ній розсіюється. Чергування освітлення і затінення фотоелектричної панелі сильно навантажує обхідні діоди, внаслідок чого вони можуть вийти з ладу (рис. 19).



а

б

Рис. 19. Руйнування обхідного діоду внаслідок перегріву:  
а – зруйнований обхідний діод внаслідок перегріву;  
б – обхідний діод у режимі роботи (вид через тепловізор)



Як видно з рис. 19, б, температура обхідного діоду при його роботі може досягати 54 °С і вище. Як обхідний діод використовують діоди Шотткі. Тепловий вихід з ладу таких діодів може виникнути при чергуванні станів сонце/тінь. Під час затінення (діод увімкнено) температура діода зростає, коли тінь зникає, він все ще гарячий, тому має великий струм витоку, при цьому його температура знову підвищується. Якщо втрати електроенергії, викликані струмом витоку вище, ніж у прямому режимі, тоді діод переходить у тепловий відсік допоки не відбудеться незворотній процес пошкодження.

На рис. 20, а зеленим зображена крива, яка показує, що тепла потужність вузла може розсіюватися (Heat power the junction can dissipate), синім зображена крива втрат провідності (Conduction losses), червоним зображена крива зворотних втрат (reverse losses). При температурі обхідного діоду до 70 °С немає ризику, що він вийде з ладу. При температурі обхідного діоду вище 152 °С відбувається тепловий відсік (рис. 20, б).

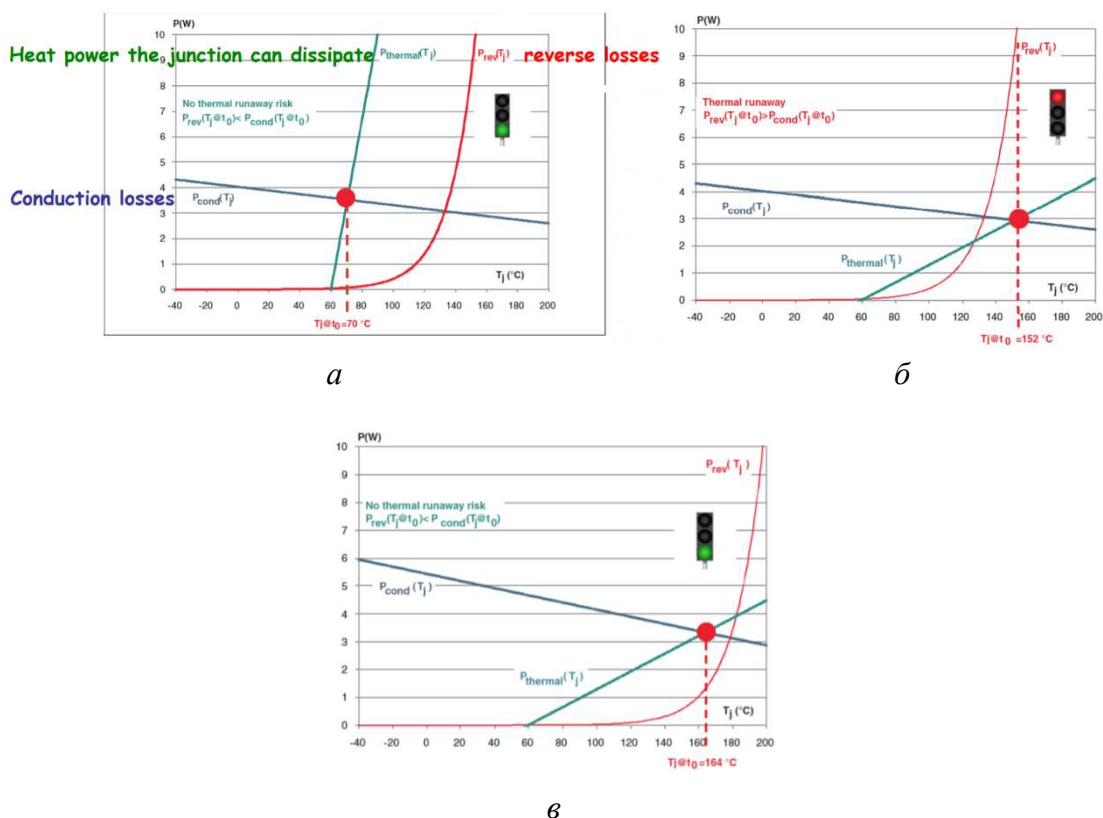


Рис. 20. Графік роботи обхідного діода:

а – нормальна робота обхідного діоду; б – критичні умови для роботи обхідного діода; в – внесення конструктивних змін

**Висновки.** Відповідно до розглянутих факторів впливу, можна стверджувати, що найбільш критичним є перегрівання. Для запобігання перегріванню необхідно забезпечити достатнє тепловідведення (збільшити розмір з'єднувальної коробки для кращого розсіювання тепла назовні). Крім того, варто використовувати діоди з меншим струмом витоку. Вони будуть мати більш високе падіння прямої напруги і розсіювання потужності, тому температура його р-п переходу при вимиканні стане вищою, але загальний ефект буде позитивним. Такий підхід дозволяє діоду залишатися в робочому стані при більш високій температурі (рис. 20, в).

Розмір рядів має вирішальне значення для збереження фотоелектричних комірок від пошкодження при перегріванні. Також можуть вийти з ладу обхідні діоди, тому необхідно це враховувати на стадії проектування. Важливе значення для їх збереження та надійності роботи відіграє конструкція з'єднувальної коробки.

#### Список використаних джерел

1. Pless S., Deru M., Torcellini P., Hayter S. Technical Report National Renewable Energy Laboratory. 2005. 52 p.
2. Orozco-Gutierrez M. L., Spagnuolo G., Ramirez-Scarpetta J. M., Petrone G., Ramos-Paja C. A. Optimized Configuration of Mismatched Photovoltaic Arrays. *IEEE Journal of Photovoltaics*. 2016. Vol. 6, № 5. Pp. 1210-1220.
3. Spagnuolo G., Lappalainen K., Valkealahti S., Manganiello P. Photovoltaic Module Parametric Identification. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*. Otranto, Italy, 2019. Pp. 302-305.
4. Bastidas-Rodríguez J. D., Franco E., Petrone G., Ramos-Paja C. A., Spagnuolo G. Model-Based Degradation Analysis of Photovoltaic Modules Through Series Resistance Estimation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2016. Vol. 62, № 11. Pp. 7256-7265.
5. Di Piazza M. C., Luna M., Petrone G., Spagnuolo G. Translation of the Single-Diode PV Model Parameters Identified by Using Explicit Formulas. *IEEE Journal of Photovoltaics*. 2017. Vol. 7, № 4. Pp. 1009-1016.
6. Orozco-Gutierrez M. L., Spagnuolo G., Ramos-Paja C. A., Ramirez-Scarpetta J. M., Ospina-Agudelo B. Enhanced simulation of total cross tied photovoltaic arrays. *Mathematics and Computers in Simulation*. 2019. Vol. 158. Pp. 49-64.
7. Roncero-Clemente C., Stepenko S., Husev O., Miñambres-Marcos V., Romero-Cadaval E., Vinnikov D. Three-Level Neutral-Point-Clamped Quasi-Z-Source Inverter with Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems. *Technological Innovation for the Internet of Things. DoCEIS 2013. IFIP Advances in Information and Communication Technology / Camarinha-Matos L.M., Tomic S., Graça P. (Eds.). Springer, Berlin, Heidelberg. 2013. Vol. 394.*
8. Степенко С. А., Башинський К. В. Оцінка можливості використання альтернативних джерел енергії на основі фотоелектричних перетворювачів у Збройних Силах України. *Системи озброєння і військова техніка*. 2016. № 4. С. 50-56.
9. Stepenko S., Husev O., Vinnikov D., Pimentel S. P., Prystupa A. Experimental Efficiency and Thermal Parameters Evaluation in Full-SiC Quasi-Z-Source Inverter. *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. Riga, Latvia, 2019. Pp. 1-6.
10. Roncero-Clemente C., Husev O., Miñambres-Marcos V., Stepenko S., Romero-Cadaval E., Vinnikov D. Comparison of three MPPT algorithms for three-level neutral-point-clamped qz-source inverter. *2013 International Conference-Workshop Compatibility And Power Electronics*. Ljubljana, Slovenia, 2013. Pp. 80-85.
11. Chub A., Vinnikov D., Stepenko S., Liivik E., Blaabjerg F. Photovoltaic Energy Yield Improvement in Two-Stage Solar Microinverters. *Energies*. 2019. № 12. P. 3774.
12. Stepenko S., Husev O., Vinnikov D., Roncero-Clemente C., Sergio Pires Pimentel, Santasheva E. Experimental Comparison of Two-Level Full-SiC and Three-Level Si-SiC Quasi-Z-Source Inverters for PV Applications. *Energies*. 2019. № 12. P. 2509.
13. Stepenko S., Husev O., Vinnikov D., Fesenko A., Matiushkin O. Feasibility Study of Interleaving Approach for Quasi-Z-Source Inverter. *Electronics*. 2020. Vol. 9(2). P. 277. <https://doi.org/10.3390/electronics9020277>.
14. Тительмаєр К., Хоменко М. Порівняння методів керування двофазним двонаправленим перетворювачем постійної напруги з чергуванням фаз. *Технічні науки та технології*. 2018. № 3(13). С. 196–208.
15. Рева К., Степенко С. Дослідження характеристик елементів автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. *Технічні науки та технології*. 2017. № 2. С. 162-171.
16. Фесенко А. П., Єршов Р. Д., Степенко С. А. Огляд та обґрунтування вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. *Технічні науки та технології*. 2017. № 1 (7). С. 177-186.

17. Захарченко Д., Степенко С. Огляд та обґрунтування вибору накопичувачів електроенергії для роботи електроенергетичних об'єктів. *Технічні науки та технології*. 2020. № 4(22). С. 198-209.

### References

1 Pless, S., Deru, M., Torcellini, P., Hayter, S. (2005). *Technical Report National Renewable Energy Laboratory*.

2. Orozco-Gutierrez, M. L., Spagnuolo, G., Ramirez-Scarpetta, J. M., Petrone, G., Ramos-Paja, C. A. (2016). Optimized Configuration of Mismatched Photovoltaic Arrays. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 6(5), pp. 1210-1220.

3. Spagnuolo, G., Lappalainen, K., Valkealaht, S., Manganiello, P. (2019). Photovoltaic Module Parametric Identification. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)* (pp. 302-305).

4. Bastidas-Rodríguez, J. D., Franco, E., Petrone, G., Ramos-Paja, C. A., Spagnuolo, G. (2016). Model-Based Degradation Analysis of Photovoltaic Modules Through Series Resistance Estimation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(11), pp. 7256-7265.

5. M Di Piazza M. C., Luna M., Petrone G., Spagnuolo G. (2017). Translation of the Single-Diode PV Model Parameters Identified by Using Explicit Formulas. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 7(4), pp. 1009-1016.

6. Orozco-Gutierrez, M. L., Spagnuolo, G., Ramos-Paja, C. A., Ramirez-Scarpetta, J. M., Ospina-Agudelo B. (2019). Enhanced simulation of total cross tied photovoltaic arrays. *Mathematics and Computers in Simulation*, 158, pp. 49-64.

7. Roncero-Clemente, C., Stepenko, S., Husev, O., Miñambres-Marcos, V., Romero-Cadaval, E., Vinnikov, D. (2013). Three-Level Neutral-Point-Clamped Quasi-Z-Source Inverter with Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems. In *Camarinha-Matos L.M., Tomic S., Graça P. (Eds.) Technological Innovation for the Internet of Things. DoCEIS 2013. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 394.

8. Stepenko, S. A., Bashynskiy, K. V. (2016). Otsinka mozhlivosti vykorystannia alternatyvnykh dzherel enerhii na osnovi fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv u Zbroinykh Sylakh Ukrainy [Assessment of the possibility of using alternative energy sources based on photovoltaic converters in the Armed Forces of Ukraine]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika – Weapons systems and military equipment*, (4), pp. 50-56.

9. Stepenko, S., Husev, O., Vinnikov, D., Pimentel, S. P., and Prystupa, A. (2019). Experimental Efficiency and Thermal Parameters Evaluation in Full-SiC Quasi-Z-Source Inverter. *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)* (pp. 1-6).

10. C Roncero-Clemente, C., Husev, O., Miñambres-Marcos, V., Stepenko, S., Romero-Cadaval, E., Vinnikov, D. (2013). Comparison of three MPPT algorithms for three-level neutral-point-clamped qz-source inverter, *2013 International Conference-Workshop Compatibility And Power Electronics* (pp. 80-85).

11. Chub, A., Vinnikov, D., Stepenko, S., Liivik, E., Blaabjerg, F. (2019). Photovoltaic Energy Yield Improvement in Two-Stage Solar Microinverters. *Energies*, (12), p. 3774.

12. Stepenko S., Husev O., Vinnikov D., Roncero-Clemente C., Sergio Pires Pimentel, Santasheva E. (2019). Experimental Comparison of Two-Level Full-SiC and Three-Level Si-SiC Quasi-Z-Source Inverters for PV Applications. *Energies*, (12), p. 2509.

13. Stepenko, S., Husev, O., Vinnikov, D., Fesenko, A., Matiushkin, O. (2020). Feasibility Study of Interleaving Approach for Quasi-Z-Source Inverter. *Electronics*, 9(2), p. 277. <https://doi.org/10.3390/electronics9020277>.

14. Tytelmaier, K., Khomenko, M. (2018). Porivniannia metodiv keruvannia dvofaznym dvonapravlenym peretvoriuvachem postiinoi napruhy z chervuvanniam faz [Comparison of control methods for two-phase bidirectional DC-DC converter with phase alternation]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (3(13)), pp. 196–208.

15. Reva, K., Stepenko, S. (2017). Doslidzhennia kharakterystyk elementiv avtonomnykh system elektrozhyvlennia na osnovi fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv [Research of characteristics of elements of autonomous power supply systems on the basis of photoelectric converters]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (2), pp. 162-171.

16. Fesenko, A. P., Yershov, R. D., Stepenko, S. A. (2017). Ohliad ta obruntuvannia vyboru akumuliatornykh batarei dlia avtonomnoi systemy elektrozhyvleniia na osnovi fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv [Review and justification of the choice of batteries for autonomous power supply system based on photovoltaic converters]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (1(7)), pp. 177-186.

17. Zakharchenko, D., Stepenko, S. (2020). Review and Justification of the Energy Storage Devices Selection for Electric Power Facilities Operation. *Technical Sciences and Technologies*, (4 (22)), pp. 198-209.

UDC 621.31:621.383

*Oleksandr Hlushko, Serhiy Stepenko*

## ANALYSIS OF PARAMETERS AND CHARACTERISTICS OF PHOTOVOLTAIC CONVERTERS

*The main goal of energy development for the period up to 2035 is to ensure energy security and the transition to energy efficient and energy-saving use and consumption of energy resources with the introduction of innovative technologies.*

*Photovoltaic converters in power systems can be exposed to weathering and physics, which will reduce efficiency or interfere with normal operation. One of the possible effects is shading of photovoltaic panels. The choice of components for the construction of a photovoltaic system should combine reliability, ease of operation and reasonable price.*

*Considerable attention is paid to the issue of providing autonomous, highly efficient and reliable electricity generation by electric power systems based on photoelectric converters. The publications consider the components of autonomous power systems based on photovoltaic converters, in particular, batteries and photovoltaic panels. Some parameters and characteristics of these elements are analyzed, but not enough attention is paid to the selection and generalization of factors that affect the efficiency and reliability of such systems.*

*The aim of the article is to consider photovoltaic converters, their parameters and characteristics, as well as the main factors influencing the efficiency and reliability of their operation in power systems.*

*According to the considered factors of influence, it is possible to state that overheating is the most critical. To prevent overheating, it is necessary to ensure sufficient heat dissipation (increase the size of the junction box for better heat dissipation to the outside). In addition, you should use diodes with a lower leakage current. They will have a higher direct voltage drop and power dissipation, so the p-n junction temperature at shutdown will be higher, but the overall effect will be positive. This approach allows the diode to remain in working condition at a higher temperature.*

**Keywords:** *electric power systems; efficiency; reliability; parameters; impacting factors; photovoltaic converters; characteristics.*

*Fig.: 20. References: 17.*

**Глушко Олександр Володимирович** – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальної техніки, метрології та фізики, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).  
**Hlushko Oleksandr** – graduate student of Information and Measurement Engineering, Metrology and Physics Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).  
**E-mail:** sashahlushkovo@gmail.com

**Степенко Сергій Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальної техніки, метрології та фізики, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Stepenko Serhiy** – PhD in Technical science, Associate Professor of Information and Measurement Engineering, Metrology and Physics Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ  
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ  
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

**Шановні дописувачі!**

Для подання статті необхідно спочатку надіслати на електронну адресу [tst.technical.sj@gmail.com](mailto:tst.technical.sj@gmail.com) Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів) для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології».

Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість публікації і відправити весь пакет документів.

Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком;
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів;
- квитанцію (скановану) про сплату вартості публікації наукової статті.

Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **60 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією.

**УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ  
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ  
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»:**

**<http://tst.stu.cn.ua/>**

**Контактна інформація.**

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Контактна особа: Кормило Ірина Миколаївна.

Тел. роб.: (0462) 66-51-15

Тел. моб.: (093) 592-78-12

E-mail: [tst.technical.sj@gmail.com](mailto:tst.technical.sj@gmail.com)

**Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.  
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи,  
що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.**

*Редакція розглядає надходження публікації та супровідних документів (рецензії, довідки про авторів тощо) як згоду дописувача (ів) щодо передачі авторського права на використання твору (тиражування, розповсюдження тощо).*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ*

*№ 1(23)*

Відповідальний за випуск  
Редактор  
Комп'ютерне складання та верстання

С. П. Сапон  
О. С. Смєлова  
Т. М. Колот

Підписано до друку 30.03.2021. Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. – 30,92.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 12/21.

---

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.